

## ANEXO A. RADIODIFUSIÓN SONORA EN FM Y SITUACIÓN ACTUAL DE UNICAUCA ESTÉREO

A continuación se expondrán el funcionamiento, problemas y características más sobresalientes de un sistema de radiodifusión sonora en FM con el fin de generar bases conceptuales que permitan entender este sistema. Además, se expondrá más detalladamente las características técnicas de los equipos del sistema de radiodifusión de Unicauca Estéreo.

### 1.1 FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN SONORA ANALÓGICO

Para el envío de señales de audio desde un sitio de transmisión hasta un destino o receptor se realiza el siguiente proceso. Las señales que contienen la información que se ha de transmitir son acústicas provenientes de la voz o un instrumento generador de sonido, estas son captadas y convertidas a señales eléctricas por medio de un transductor, el cual transforma las vibraciones mecánicas del aire y genera señales de las mismas características con lo referente a la información pero en señales tipo eléctricas, estas por tener un nivel bajo de potencia es necesario amplificarlas. Luego se realiza la modulación la cual puede ser en amplitud o en frecuencia, en la modulación se modifica la amplitud o frecuencia de una señal portadora de acuerdo a las características de la señal de información. Después de realizarse la modulación la señal es nuevamente amplificada y enviada a la antena de transmisión, la cual emite al espacio señales electromagnéticas. Ya en recepción la antena receptora capta la señal electromagnética emitida y la transforma a señales tipo eléctricas, las cuales posteriormente son amplificadas y demoduladas de acuerdo al tipo de modulación llevado a cabo en transmisión. La señal resultado de la demodulación es pasada a un altavoz o parlante el cual genera finalmente las ondas de sonido. La figura 1 representa el diagrama de bloques de un sistema de radiodifusión analógico. [1] [2]

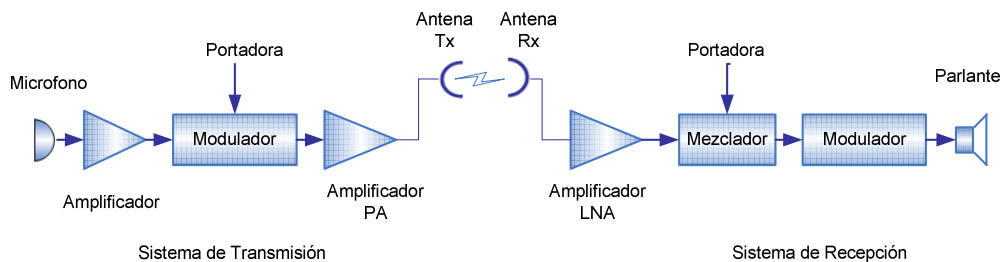


Figura 1. Diagrama de Bloques de un Sistema de Radiodifusión Sonora Analógico. [2]

Los pasos más importantes que se llevan a cabo en esta cadena de transmisión son:

- La transmisión, la cual comienza en los estudios y termina en el sitio de transmisión, concretamente en la antena.
- La propagación de la señal por el espacio libre. El alcance de la señal está directamente relacionado con la potencia de transmisión y la modulación llevada a cabo.
- La recepción de las ondas. Llevada a cabo por el receptor el cual transforma las ondas moduladas en señales de audio frecuencia.

### 1.2 RADIODIFUSIÓN SONORA EN FM

La radiodifusión sonora en FM ocupa el rango de frecuencias comprendido entre los 88 MHz y 108 MHz, se caracteriza por brindar audio de mayor calidad con respecto a la radiodifusión sonora en AM. En FM la información está contenida en la frecuencia de la portadora, lo cual indica que a mayores amplitudes de la moduladora se transmite una portadora modulada cuya frecuencia es mayor que la frecuencia nominal de la portadora y cuando la amplitud de la moduladora es baja ocurre el caso contrario. El ancho de banda utilizado es de 200 KHz. [1] [2]

Considerando la regla de Carson, el ancho de banda de una señal de FM necesario para asegurar una transmisión de información de calidad requerida en condiciones específicas es:

$$BW \geq 2(B + \varphi) \quad (1)$$

Donde B es el ancho de banda de la señal moduladora y  $\varphi$  es la desviación instantánea de la frecuencia portadora a causa de la modulación, la cual considerando una frecuencia de sonido de 15 KHz su valor es 75 KHz. [1]

### 1.2.1 Modulación en Frecuencia

La modulación en frecuencia es un proceso mediante el cual se varía la frecuencia de una señal portadora de frecuencia relativamente alta, en proporción con el valor instantáneo de la amplitud de la señal modulante (señal de información), permaneciendo constante la amplitud, la modulación en frecuencia es el proceso de combinar una señal de audio frecuencia con otra señal de radio frecuencia en el rango de frecuencias de 87.5 MHz a 108 MHz. El circuito que realiza este proceso es denominado modulador en FM al cual ingresan dos señales, una señal portadora de alta frecuencia y una señal moduladora de baja frecuencia, este entrega a la salida una señal denominada modulada.

La demodulación es el proceso contrario a la modulación, simplemente convierte una onda de frecuencia modulada nuevamente a la fuente original de información.

### 1.2.2 Canalización de la Banda de FM

En Colombia la banda de frecuencia para el servicio de radiodifusión sonora en FM, la cual va desde 88 MHz hasta 108 MHz, se ha dividido en 199 canales, numerados desde el uno (1 => 88.1 MHz) al ciento noventa y nueve (199 => 107.9 MHz) con una separación de 100 KHz por cada canal. [3]

### 1.2.3 Intensidad de Campo Utilizable

Es el valor mínimo utilizable de la intensidad de campo para delimitar el área de servicio en radiodifusión en FM, permite obtener una determinada calidad aceptable en recepción en presencia de ruidos naturales y artificiales, pero en ausencia de interferencias debidas a otros sistemas de radiodifusión, este ha sido definido en  $66dB\mu V / m$ . [3]

### 1.2.4 Clase de Emisiones en FM

En radiodifusión en FM se pueden realizar tres tipos de transmisiones, estas son: monofónica (180KF8E), estereofónica (256KF8E) y multiplex (302KF8E). En la transmisión monofónica se efectúa la transmisión de un solo canal de audio frecuencia a través de un canal de radiodifusión en FM, en la transmisión estereofónica se transmiten dos canales de audio frecuencia independientes, uno como canal principal (suma de los dos canales Left y Right) y otro como subcanal el cual corresponde a la diferencia de los canales mencionados, por medio de un canal único de radiodifusión en FM y en transmisión multiplex se realiza la transmisión simultánea de dos o más señales por un solo canal. [3]

### 1.2.5 Potencia de Operación

La potencia de operación para las estaciones de radiodifusión sonora en Colombia, está determinada de acuerdo a la clasificación de la estación. Se han establecido cuatro clasificaciones las cuales son A, B, C y D. Las estaciones clase A pueden utilizar una potencia mínima de 15 KW y máximo 100 KW de P.R.A en la dirección de máxima ganancia de la antena, las estaciones clase B superior a 5 KW e inferior a 15 KW, las estaciones clase C superior a 250 W y máximo 5 KW y clase D 250 vatios. [3]

### 1.2.6 Límites de Exposición

El servicio de radiodifusión sonora es un servicio de telecomunicaciones el cual debe asegurar que en las distintas zonas de exposición a campos electromagnéticos, el nivel de emisión no exceda el límite máximo de exposición correspondiente a su frecuencia de operación a fin de proteger la vida y la salud de las personas. Las zonas de exposición a campos electromagnéticos son: Zona de Público General y Zona Ocupacional. En la tabla 1 se presenta los límites máximos de exposición según la frecuencia de operación.

Tabla 1. Límites Máximos de Exposición Según la Frecuencia de Operación

Tipo de Exposición	Gama de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico E (V/m)	Intensidad de Campo Magnético H (A/m)	Densidad de Potencia de Onda Plana Equivalente (s)(W/m <sup>2</sup> )
Ocupacional	10-400	61	0.16	10
Publico General	10-400	28	0.073	2

### 1.2.7 Ventajas y Limitaciones de la Radiodifusión en FM

Dentro de las ventajas y limitaciones de los sistemas de radiodifusión sonora en FM se pueden considerar las siguientes:

- La modulación en frecuencia logra mayor calidad de audio con respecto a la modulación AM.
- La señal transmitida presenta mayor inmunidad a las interferencias eléctricas y fenómenos atmosféricos.
- Por la longitud de onda (ondas métricas) se pueden utilizar pequeñas antenas en los equipos de recepción.
- El ruido originado por el hombre es la mayor fuente de interferencia, particularmente en ambientes urbanos.
- La propagación de la señal en la banda de VHF (ondas métricas) se caracteriza por su direccionalidad y cobertura limitada.
- Las señales se ven afectadas por los efectos de multitrayectoria.

### 1.3 DIAGRAMA DE UN TRANSMISOR EN FM

La figura 2 presenta el diagrama de bloques de un transmisor FM. El codificador estéreo permite la emisión de las señales de audio en formato mono como estéreo, la señal es modulada con una portadora de alta frecuencia, la cual es generada por un oscilador que entrega una portadora entre 88 MHz y 108 MHz, para garantizar estabilidad y que no haya variaciones de frecuencia de la portadora se utiliza un circuito de Lazo de Fase Sincronizada PLL, el cual es básicamente un oscilador controlado por un cristal. La señal después del proceso de modulación es amplificada para ser transmitida, la primera etapa de amplificación recibe el nombre de excitador FM la cual proporciona una señal de potencia suficiente para excitar el amplificador de potencia.

El proceso de amplificación genera frecuencias indeseables las cuales son denominadas armónicos por lo cual es necesario la utilización de filtros. Es necesario incorporar además, un acoplador direccional para evaluar la Relación de Ondas Estacionarias ROE y regular la ganancia del excitador.

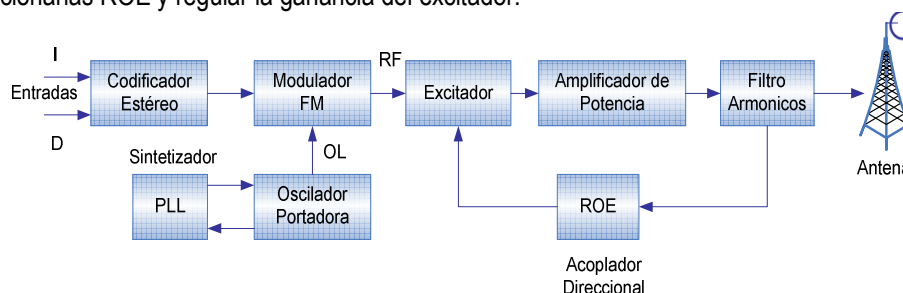


Figura 2. Diagrama de Bloques de un Transmisor FM. [1]

La señal FM a transmitir se forma específicamente al:

- Sumar el canal izquierdo (Left) y derecho (Right) del sonido, obteniendo de esta manera la componente (L + R). Esta es la única componente que un receptor no estéreo podrá decodificar.
- Generar un tono piloto de 19 KHz, para diferenciar entre mono/estéreo.
- Modular la señal (L- R) acentuada del otro tono de 38 KHz.
- Cancelar la portadora de 38 KHz y sumar la señal L+R acentuada, el tono piloto, y la señal L-R modulada resultante.
- Modular en frecuencia el resultado anterior sobre alguna frecuencia de transmisión.

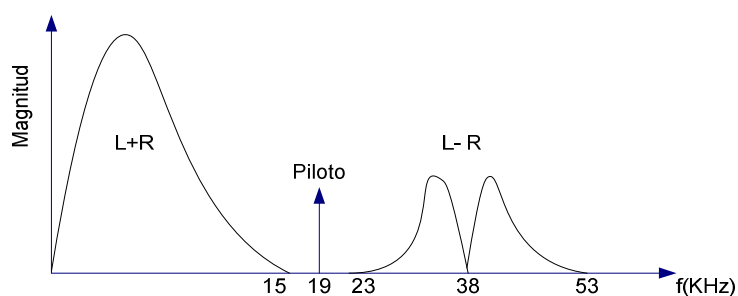


Figura 3. Espectro de la Señal de FM sin Modular. [1]

## 2. CLASIFICACIÓN DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA

El servicio público de radiodifusión sonora en Colombia se clasifica de acuerdo al decreto 1446 de 1995 en función de los siguientes criterios: [4]

### 2.1 GESTIÓN DEL SERVICIO

- Gestión Directa: cuando el estado ofrezca el servicio de radiodifusión sonora por medio de entidades públicas y a través de una licencia otorgada directamente por el Ministerio de Comunicaciones. [4]
- Gestión Indirecta: Cuando el estado presta el servicio de radiodifusión sonora por medio de comunidades organizadas o personas jurídicas, debidamente constituidas en Colombia, cuya dirección y control este a cargo de personas con nacionalidad colombiana y su capital pagado sea un 75% de origen colombiano. [4]

### 2.2 ORIENTADO A LA PROGRAMACIÓN

- Radiodifusión Comercial: cuando la programación está orientada a la satisfacción del oyente y el servicio se presta con ánimo de lucro, sin excluir el propósito educativo, recreativo, cultural e informativo. [4]
- Radiodifusión de Interés Público: Cuando la programación es orientada a potenciar el nivel educativo, cultural y difundir los valores cívicos de la comunidad a todos los habitantes del territorio colombiano. [4]
- Radiodifusión Comunitaria: cuando la programación está destinada a satisfacer las necesidades de una comunidad organizada. [4]

### 2.3 NIVEL DE CUBRIMIENTO

En razón al nivel de cubrimiento, el servicio se clasifica y se define, según la clase de estación y los parámetros de operación establecidos en los planes técnicos de la siguiente manera: [1]

- De Cubrimiento Zonal: Estaciones clase A y B
- De Cubrimiento Zonal Restringido: Estaciones clase C.
- De Cubrimiento Local Restringido: Estaciones clase D.

## **2.4 TECNOLOGIA DE TRANSMISIÓN**

- Radiodifusión en Amplitud Modulada: cuando es utilizada la modulación en amplitud para modular la portadora principal para la emisión de la señal. [4]
- Radiodifusión en Frecuencia Modulada: cuando la portadora principal se modula en frecuencia o fase (F.M) para la emisión de la señal. [4]
- Radiodifusión Digital y Nuevas Tecnologías: En esta se contemplan modalidades de transmisión digital terrestre y por satélite, así como las resultantes de desarrollos tecnológicos aplicables a la radiodifusión diferente a las anteriores A.M. y F.M. Se incluyen aquellas tecnologías que permiten el uso compartido de las bandas de frecuencias atribuidas a los servicios de radiodifusión analógica. [4]

## **3. CONDICIONES TECNICAS DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN SONORA DE UNICAUCA ESTÉREO**

A continuación se describirán las especificaciones técnicas de Unicauca Estéreo concernientes a la situación actual de los equipos utilizados.

### **3.1 CONCESIÓN DE LA FRECUENCIA**

Unicauca Estéreo es una emisora adjudicada a la Universidad del Cauca a la cual se le otorgo la concesión No 0498 del 28 de febrero de 1990, código 52134 en la frecuencia de 104.1 MHz. Los datos del tipo de concesión se exponen a continuación:

- Sistema de Transmisión
  - Ubicación: Vereda la Rejoja
  - Coordenadas: 76°35'32.6" w, 2° 31' 18" N
  - Frecuencia: 104.1 MHz
  - Tipo de Emisión: 256KF8E
  - Potencia de Salida: 5 Kw
  - Ganancia Antena: 0 dBd
  - Polarización: Omnidireccional
- Sistema de Radioenlace STL
  - Frecuencia: 302.9 MHz
  - Potencia de Salida: 10-12 W

### **3.2 EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS ESTUDIOS**

Los equipos utilizados en los estudios de Unicauca Estéreo pueden ser divididos en: equipos para procesamiento de datos fuera del aire y equipos para el procesamiento de datos al aire. A continuación se especifican los equipos y las funciones realizadas. En la figura 4 se aprecia las instalaciones y equipos del estudio Máster de Unicauca Estéreo.



**Figura 4. Máster Unicauca Estéreo**

### **3.2.1 Sistema de Procesamiento de Datos Fuera del Aire**

La función principal de los equipos del sistema de procesamiento de datos fuera del aire es realizar el procesamiento del audio correspondiente a programación pregrabada, esta función es realizada en un estudio de grabación el cual es una habitación aislada de sonidos externos con el fin de obtener una mejor calidad en las grabaciones. Los equipos principales con los cuales cuenta este estudio de grabación son: un computador para el procesamiento del audio grabado y una consola analógica marca Sony Modelo NX P21 - 8 canales, el audio grabado es editado a través del software Cool Edit Pro el cual permite realizar la edición (cortar, pegar y añadir efectos) y corregir errores que se presenten. La consola por su parte permite conectar hasta 8 fuentes de audio analógico de entrada, realizar la mezcla de las mismas, agregar efectos y mejorar la calidad del audio.

### **3.2.2 Sistema de Procesamiento de Datos al Aire**

Unicauca Estéreo cuenta con un estudio principal o Máster en el cual se encuentran los equipos destinados a realizar el procesamiento de datos al aire, estos son los encargados de unir, procesar y organizar la señal de audio en vivo y/o pregrabada que esta siendo emitida al oyente. Los equipos principales en el estudio Máster son: consola Audio Digital D-75 en la cual se conectan todas las fuentes de audio de entrada y el procesador de audio Orban OPTIMOD-FM modelo 8100A el cual genera la señal estéreo. Además de otros equipos cuenta con software de automatización y edición. El software de automatización para organizar la programación sin necesidad de un operador es ADAS EVOLUTION, mientras que la edición se realiza con el software COOL EDIT PRO. Otros equipos con los que cuenta Unicauca Estéreo para procesamiento de datos al aire se exponen a continuación. En la figura 5 se presentan sus respectivas conexiones.

- 4 micrófonos marca SONY- Dinamic F-780.
- 1 consola E 250 A Series 10 canales (consola Auxiliar).
- 1 Deck Technics Stereo Rs-Trito.
- 2 minidics marca Sony ref. MSD JB 920.
- 2 unidades de CD ref. CDP-D500.
- 1 Grabadora Doble casetera marca Sony Ref. C +D- DW560S.
- 2 tornamesas marca Technics SG-1200 Mk2.
- 1 audífono marca Sony.
- Computador marca DELL 1 Ref. M88 HW- 7664F-H88 H8-X9 YDU-3 RWNQ.
- Unidad de Compact Disc para 200 compactos marca CHAGER ref. DN-1400 F DENON.

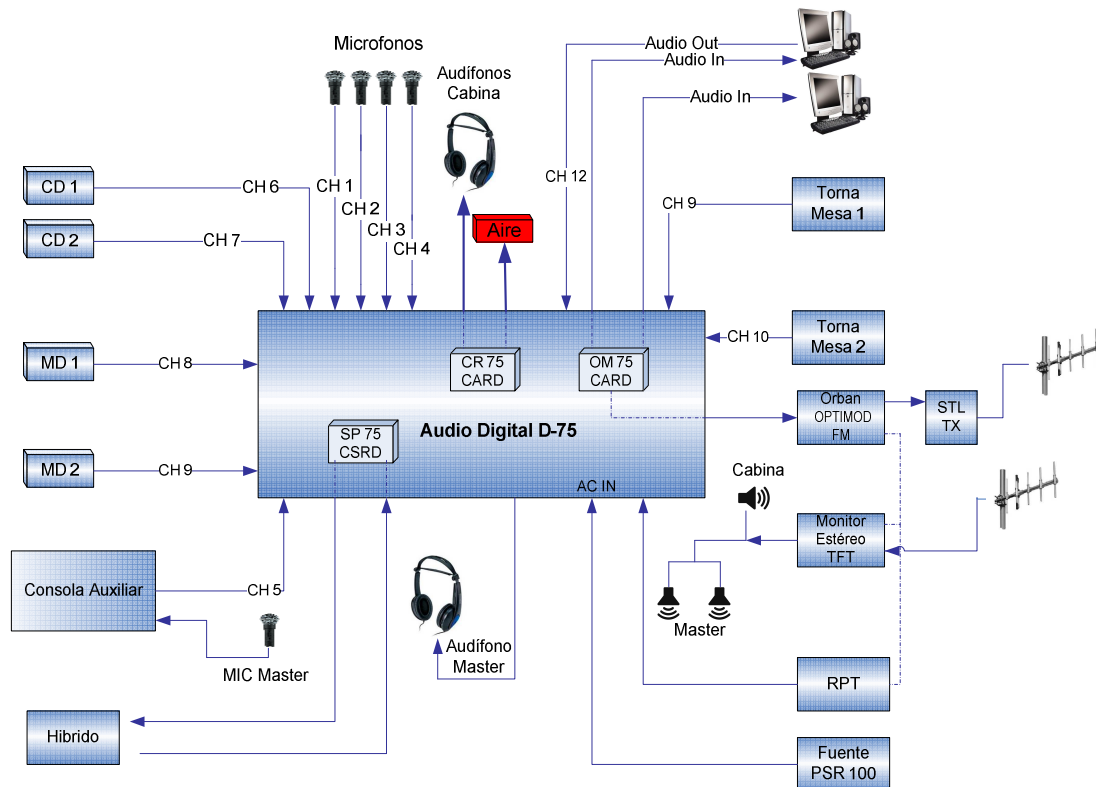


Figura 5. Equipos Estudio Máster

Como se puede apreciar en la figura 5, la consola Audio Digital D-75 es el equipo principal del estudio Máster de Unicauca Estéreo. La consola cuenta con 12 canales de entrada de audio, los cuales pueden ser en formato analógico y/o digital AES/EBU. Todas las conexiones de audio y control en la consola son realizadas por medio de conectores DB-25, las señales entrantes de audio analógico son convertidas a audio digital por medio de la tarjeta ADC-75 la cual se encarga de la conversión de analógico a digital. Por su parte el audio digital de entrada AES/EBU mantiene su formato con la utilización de la tarjeta SRC-75, el objetivo de la utilización de estas tarjetas es realizar procesamiento interno del audio de manera digital. [5]

Las frecuencias de muestreo que soporta la consola Audio Digital son 32 KHz, 44.1 KHz y 48 KHz, la frecuencia por defecto es de 44.1 KHz por lo que para la utilización de otra frecuencia de muestreo diferente a esta es necesario cambiar el cristal de la consola. Otras tarjetas con las cuales cuenta la consola Audio Digital D-75 son OM 75, CR 75 y SP 75. Por medio de la tarjeta o modulo OM 75, la consola permite 4 salidas de audio las cuales pueden ser en formato analógico y/o digital de manera simultánea si es necesario, estas salidas son llamadas PGM (Programa), Audition (Audición), Auxiliary (Auxiliar) y Utility (Utilidad), las últimas tres salidas pueden ser seleccionadas de acuerdo a la configuración de un switch de selección en el panel frontal de la consola. La tarjeta CR 75 permite al operador escuchar las 4 salidas para realizar monitoreo de la señal de audio que está siendo emitido. La tarjeta SP 75 es usada para conectar el híbrido telefónico para las llamadas con los oyentes. En la figura 6 y 7 se presenta un diagrama de bloques del procedimiento llevado a cabo por las tarjetas para generar las señales de audio de salida (analógico y/o digital). [5]

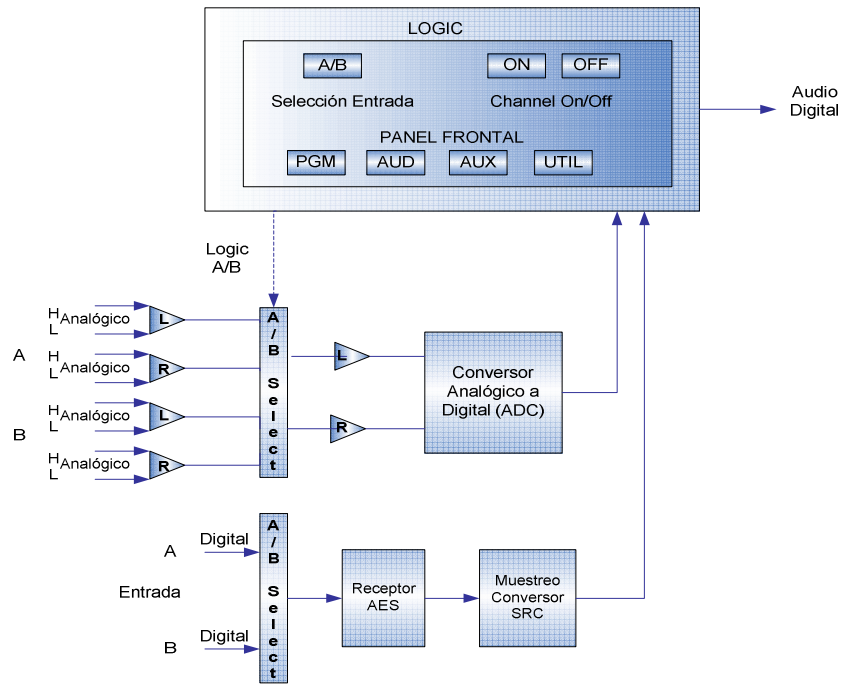


Figura 6. Señales de Entrada. [5]

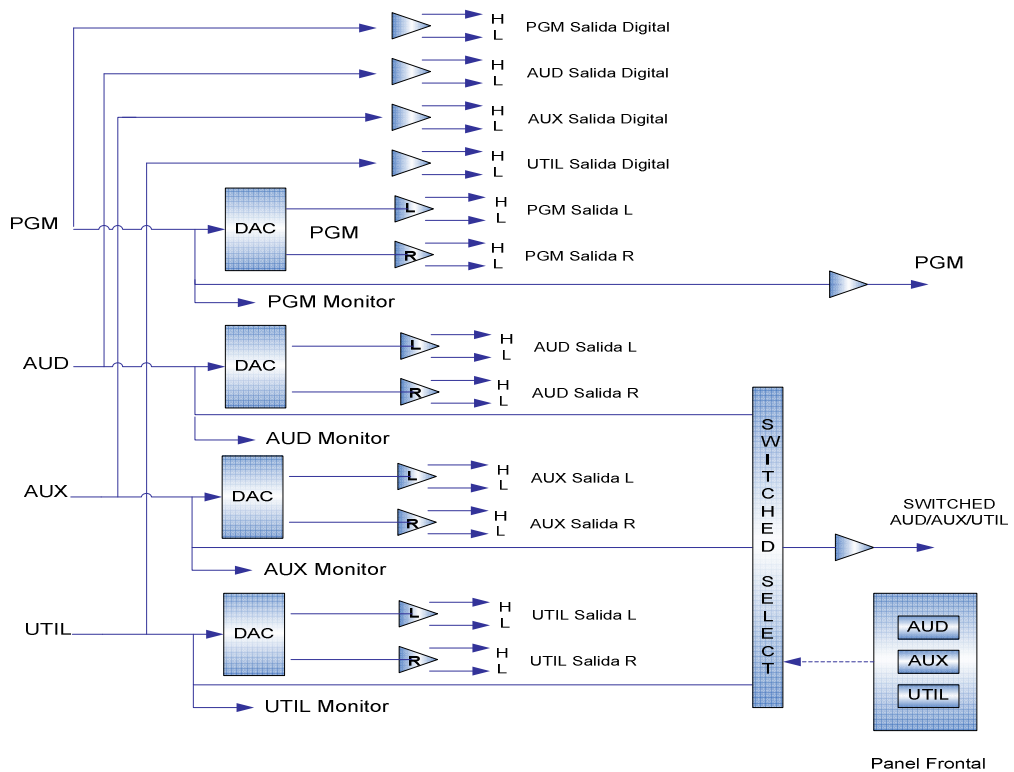


Figura 7. Señales de Salida. [5]



El equipo utilizado para procesar el audio es el generador estéreo OPTIMOD-FM 8200 de Orban, el cual es un equipo especializado en el tratamiento de la señal de audio para emisoras FM, este equipo acepta los canales de audio Right y Left y produce una señal estéreo, se caracteriza además por su alta estabilidad, poca distorsión y mínima salida de espurios.

### **3.3 Equipos Utilizados en el Enlace STL**

Para el envío de las señales de audio desde el estudio al sitio de transmisión es necesario un enlace denominado STL. Los equipos utilizados para realizar dicho enlace en Unicauca Estéreo son: equipo transmisor y receptor marca TFT modelo 7700B, dos antenas Yagui una para transmisión y una en recepción, marca SCALA, modelo CA5-300 de 10 dB de ganancia y rango de operación de 216 MHz a 398 MHz, línea de transmisión y conectores. [6] [7]

#### **3.3.1 Transmisor TFT 7700 B**

El transmisor STL 7700B está diseñado para transmisiones de alta calidad, presenta alta relación señal a ruido, estabilidad en frecuencia y provee alto desempeño estéreo. El transmisor trabaja sobre las siguientes bandas de frecuencia 140 – 175 MHz, 200 – 240 MHz, 300 – 330 MHz, 440 – 470 MHz y 806 – 960 MHz. La potencia de salida máxima de 10 -12 W para las frecuencias de 806-960 MHz y 15 – 20 W para otras bandas de frecuencia. Con la adición de un codificador en transmisión y un decodificador en recepción, múltiples canales pueden transmitirse hasta el sitio de transmisión. [8]

Otras especificaciones técnicas del transmisor se presentan a continuación: [8]

- Estabilidad en frecuencia de +/- 1 ppm.
- Conector de salida de RF tipo "N"
- Impedancia de entrada y salida de RF 50 ohm.
- Dos subportadoras FM pueden ser insertadas adicionalmente al canal de audio principal para radiodifusión SCA. Una portadora adicional puede ser agregada para control remoto.
- Respuesta en frecuencia de banda base:
  - Programas de audio sin multiplexar: Estéreo 50 Hz – 75 KHz, mono 50 Hz – 15 KHz.
  - Programas de audio multiplexados: Estéreo 110 hasta 220 KHz., mono 39 hasta 67 KHz.
- Rango de temperatura de operación: 0°C a +50°C

#### **3.3.2 Receptor TFT 7700B**

El receptor proporciona bajo ruido, alta ganancia y gran versatilidad, provee excelente SNR y estabilidad en frecuencia. El amplificador de bajo ruido del receptor presenta alta ganancia, amplio rango dinámico RF y provee una figura de ruido de 20 dB. El receptor permite operación remota y la adición de un decodificador para obtener los canales L + R de la señal estéreo. [8]

#### **3.3.3 Antenas Yagui**

Las antenas Yagui utilizadas para el enlace STL cuentan con 5 elementos y operan en la banda de frecuencia de 216 MHz – 398 MHz. Otras especificaciones técnicas son: ganancia de 10 dB, impedancia de 50 ohm, VSWR 1.3:1, polarización horizontal o vertical, máxima potencia de entrada 100 Watts. [6] [7]

### **3.4 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN**

El sistema de transmisión tiene como función modular una portadora de alta frecuencia con la señal de información, amplificar la señal modulada y emitirla a los oyentes por medio del sistema de antenas. Los equipos más representativos son: receptor STL el cual ya se describió anteriormente, excitador FM marca ISCO el cual modula la señal en la frecuencia de transmisión deseada 104.1 MHz y transmisor Iradio de 5 Kw. de potencia. Unicauca

Estéreo cuenta además con equipos de medición y control para el monitoreo de la señal, las características técnicas de estos equipos son expuestas a continuación:

### 3.4.1 Excitador

El excitador trabaja en la banda de frecuencia de los 87.5 MHz a los 108 MHz, puede trabajar con una alimentación de 110 VAC o 220 VAC. El conector de salida de RF es tipo N, la impedancia de salida de RF es 50 ohm. La potencia de salida de RF es 10 Watts. El excitador es el encargado de modular la señal en la frecuencia de transmisión de Unicauca Estéreo 104.1 MHz. [6] [7]

### 3.4.2 Transmisor

El equipo transmisor de media potencia opera en la frecuencia de 104.1 MHz con una potencia nominal de 5 Kilovatios, es un transmisor es de tubos, marca IRADIO, modelo IRFM10K, está provisto de un control automático de frecuencia el cual garantiza el funcionamiento de la estación en la frecuencia asignada por el ministerio de comunicaciones. Otras características técnicas son: [6] [7]

- Tolerancia de potencia: +/- 2%.
- Estabilidad de frecuencia: +/- 1000 Hz.
- Distorsión armónica estéreo: menor de 0.25 %.
- Relación Señal/Ruido en FM:> 70 dB.

El transmisor IRADIO cuenta con tres etapas de amplificación, la primera de ellas es denominada pre-driver la cual amplifica la señal proveniente del excitador FM hasta un nivel de potencia de 80 Watts, la segunda es llamada driver donde se amplifica hasta los 200 Watts y la tercera es la etapa final en la cual se amplifica la señal hasta la potencia de transmisión de 5 Kw. [6] [7]

### 3.4.3 Línea de Transmisión

Con el fin de eliminar las pérdidas y permitir mayor acoplamiento entre el transmisor y antena, la línea de transmisión utilizada es tipo coaxial marca HELIAX de 1-5/8", referencia LDF7-50, con atenuación de 0.8 dB por cada 100 metros a la frecuencia de 104.1 MHz, tiene capacidad de manejo de potencia de hasta 145 Kw. La línea de transmisión tiene una longitud total de sesenta y cinco (65) metros. Otras especificaciones técnicas son: [6] [7]

- Rango de potencia 250 W a 30 Kw
- Rango de frecuencia 2 MHz a 1000 MHz
- Impedancia (Ohmios) 50
- Frecuencia máxima (GHz) 2.5

### 3.4.4 Conectores

Para unir la línea de transmisión con la antena y otros equipos del sistema de transmisión se utilizan Conectores marca Andrew L4TNM-PS, con impedancia de 50 ohm, banda de operación de 0 – 8800 MHz con una potencia promedio de 0.6 Kw. a 900 MHz y perdidas por inserción de 0.05 dB. Otras especificaciones técnicas se exponen a continuación: [6] [7]

- Impedancia del conector: 50 ohm.
- Banda de frecuencia de operación: 0 – 8800 MHz.
- Potencia promedio: 0.6kW a 900MHz.
- Impedancia del cable: 50 ohm.
- Pérdidas por inserción, típicas: 0.05dB.
- Voltaje de operación RF, máximo (rms): 707.00V.
- Temperatura de operación: -55 °C a +85 °C (-67 °F a +185 °F).

### 3.4.5 Antena

El tipo de antena con que cuenta el sistema transmisión de Unicauca Estéreo considera un patrón de radiación omnidireccional con distribución uniforme de potencia en 360 grados marca SGP-2R de OMB, modelo 2ANTSGP, ubicada a 48 metros de altura, con un acimut de 215°, Tilt de 0°, ganancia de 0 dBd y relación de ondas estacionarias (VSWR) de 1.09:1. Otras especificaciones técnicas son: [6] [7]

- Rango de frecuencia: 87,5 - 108 MHz
- Impedancia: 50  $\Omega$
- Potencia máxima: 4.000 w
- Polarización: circular
- Conector de entrada EIA 7/8"
- R.O.E 1,09:1

### 3.4.6 Monitor de Modulación

El monitor de modulación para comprobar la operación óptima del transmisor FM y maximizar el nivel de modulación de la estación TFT modelo 844-A, además de monitorear la modulación FM del transmisor, también se usa para mediciones de rendimientos de prueba. El monitor permite realizar mediciones de la modulación total positiva y negativa, modulación de canal derecho, canal izquierdo, principal, L+ R, L – R. Otras características técnicas son: [6] [7]

- Cuenta con pre-selector de frecuencia sintetizada RF y demodulador en banda.
- Permite realizar medidas de los canales L+R, L-R, L, R, y SNR.
- El porcentaje de exactitud de la modulación es del 1 %
- Permite realizar medida de la frecuencia del transmisor fuera del aire.
- Permite monitoreo

### 3.4.7 Monitor de Frecuencia

Monitor de frecuencia marca Belar FMM-4<sup>a</sup>, es un monitor de frecuencia FM digital altamente exacto diseñado especialmente para monitorear transmisores de manera automática. Monitoriza con precisión la portadora FM y piloto, cuenta con un led en el panel frontal para mostrar un bajo nivel de entrada o pérdida de frecuencias monitoreadas. Incluye varias alarmas, un rele de alarma opcional y dos niveles de alarma para prever desviaciones de portadora. Otras características son: [6] [7]

- Rango de frecuencia de portadora 80 MHz a 120 MHz.
- Exactitud de portadora 50 Hz (25 – 50 grados C)
- Resolución portadora:  $\pm 10$  Hz
- Alarmas fuera de frecuencia de la portadora:  $\pm 1$  KHz y  $\pm 2$  KHz.
- Sensibilidad portadora: RF (LO / FI) – (200 / 100) mV
- Requerimientos de frecuencia 115/230 VAC, 50/60 Hz.

### 3.4.8 Estructura para el Soporte de la Antena

La torre en la cual se encuentra ubicada la antena de transmisión y recepción enlace STL está sujeta al cumplimiento de los reglamentos y normas de construcción y de seguridad que exigen los organismos competentes. Esta torre tiene una altura total de cincuenta (50) metros de altura. [6] [7]

## ANEXO B. REDES DE FRECUENCIA ÚNICA (SFN)

Una de las grandes ventajas del servicio de radiodifusión sonora digital terrestre frente al analógico es la posibilidad de implementar redes de frecuencia única con las cuales se logra un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico. El objetivo de este anexo es abordar sobre las redes SFN para generar una base conceptual que permita conocer más acerca de estas redes y su importancia en el servicio de radiodifusión sonora digital terrestre.

### 1. DEFINICION DE REDES SFN

La Red de Frecuencia Única (SFN, Single Frequency Network) es una red formada por un conjunto de transmisores los cuales emiten la misma señal por el mismo canal de frecuencia en igual instante de tiempo, una red SFN hace uso eficiente del espectro radioeléctrico ya que utiliza una misma frecuencia para cubrir una gran zona de cobertura la cual puede ser local, regional o nacional. La figura 8 presenta la estructura de una red SFN la cual es representada por medio de un hexágono, donde los transmisores distan una distancia igual, la cual depende del intervalo de guarda seleccionado. En una red SFN la posición más desfavorable para recepción está marcada en el punto P debido a que este es el límite del área de cobertura de varios transmisores.

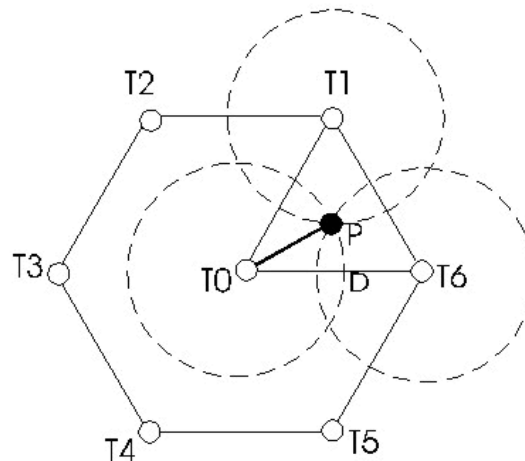


Figura 8. Representación de una Red SFN. [9]

#### 1.1 VENTAJAS DE LAS REDES SFN

Las ventajas más sobresalientes de las redes SFN se presentan a continuación:

- Permiten hacer un uso más eficiente del espectro radioeléctrico, ya que al utilizar una misma frecuencia pueden alcanzar grandes áreas de cobertura.
- Menor potencia de transmisión debido a la ganancia interna de la red, dado a que gran parte de los puntos de recepción pueden estar cubiertos por más de un transmisor. De acuerdo a esto en el receptor se realizaría la suma de dos o más señales idénticas y como resultado una mayor ganancia.
- No hay necesidad de resintonizar el receptor cuando se abandona el área de cobertura de un transmisor y entra en zona de otro.
- Contrarresta la interferencia causada por la propagación multitrayecto.

#### 1.2 DESVENTAJAS DE LAS REDES SFN

Las desventajas de las redes SFN se mencionan a continuación:

- Es necesaria una mayor sincronización entre los transmisores de la red SFN ya que estos transmiten la misma señal en igual instante de tiempo. Para esto es necesario implantar un adaptador SFN a la salida de la

cabecera y tanto este como todos los transmisores deben estar referenciados a señales de 1ppm y de 10 MHz obtenidas de receptores GPS.

- Una red SFN puede generar múltiples interferencias si es implementada en algunos de los canales asignados a los servicios analógicos.
- No se pueden realizar desconexiones en la red, debido a que la señal debe ser la misma para todos los equipos de transmisión del área de cobertura.

## 2. INTERVALO DE GUARDA EN REDES SFN

Una de las ventajas de las redes SFN es la mayor ganancia en la red debido a la suma de señales provenientes de más de un transmisor, para darse esta condición las señales deben ser recibidas durante un intervalo de guarda para así contribuir positivamente en recepción. El intervalo de guarda expresa el máximo retardo que puede traer la señal proveniente de otros transmisores para que no existan interferencias. [9]

Las señales recibidas después del intervalo de guarda causan interferencia entre símbolos y como consecuencia pérdida de información de la señal en recepción, por esta razón se debe garantizar que las señales que recibe el receptor lleguen dentro del intervalo de guarda. La posibilidad de utilización de intervalos de guarda en las redes SFN se derivada del empleo de técnicas de transmisión como OFDM y COFDM las cuales agregan un intervalo de guarda al símbolo transmitido. [9]

Para la elección del intervalo de guarda a utilizar en una red SFN hay que considerar que entre más larga sea la duración, mayor es la distancia entre los transmisores de la red y la ganancia de la red, y como consecuencia directa mayor probabilidad de cobertura, esto a su vez supone reducción en la capacidad del canal debido a que en el intervalo de guarda no se transmite información útil.

### 2.1 DISTANCIA DE SEPARACIÓN ENTRE TRANSMISORES DE UNA RED SFN

Para conseguir que en la zona de cobertura de una red SFN, las señales que recibe el receptor lleguen dentro del intervalo de guarda, los transmisores deben estar separados una distancia menor a la que recorre la onda en el intervalo de guarda. Para determinar la máxima distancia a la cual es posible colocar un transmisor se utiliza la ecuación dos (2).

$$d_{\max} = C * T_g \quad (2)$$

Donde,  $d_{\max}$  es la distancia máxima de separación,  $C$ = velocidad de propagación y  $T_g$ = tiempo o intervalo de guarda. La expresión (2) indica que para garantizar que la señal llegue al receptor durante el intervalo de guarda, los transmisores deben estar separados una distancia menor o igual a la distancia máxima de separación.

## 3. ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA RED SFN

Una red SFN hace uso de equipos re-emisores los cuales permiten aumentar el área de cobertura y cubrir zonas de sombra, la función principal de un re-emisor es recibir la señal procedente de un transmisor de la red, amplificar y transmitirla en la misma frecuencia en la que es recibida. En la figura 9 se representa un re-emisor en una red SFN, los re-emisores utilizados en una red SFN son gap-fillers y repetidores de canal.

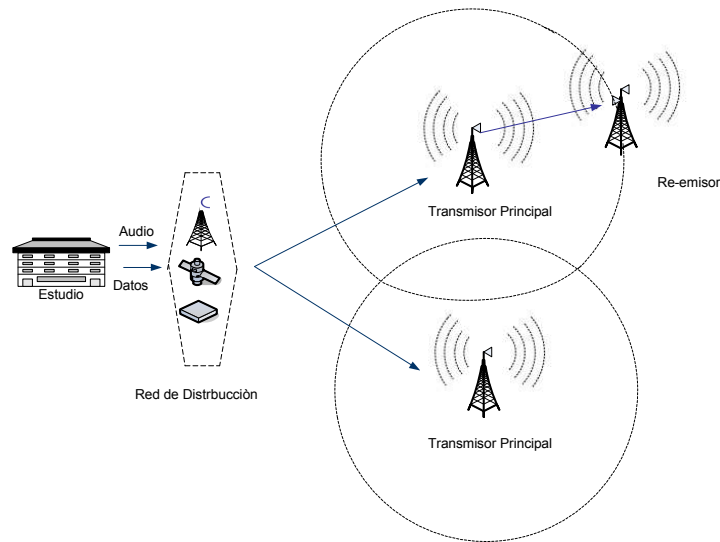


Figura 9. Re-emisores en una Red SFN

### 3.1 Gap-Fillers

Es un repetidor de baja potencia ubicado dentro del área de cobertura de un transmisor principal, son típicamente utilizados para brindar cobertura en zonas de difícil acceso como zonas de sombra que no alcanza a cubrir el transmisor principal. Las zonas de sombra pueden ser debidas a presencia de edificios y montañas. Los gap-Fillers emiten en la misma frecuencia del transmisor y sus mayores ventajas son: bajo costo, fácil instalación y bajo consumo de potencia.

Los Gap-Fillers reciben la señal de un transmisor principal, la demodulan, la regeneran y la amplifican para volverla a emitir en el mismo canal en que se ha recibido. Los Gap-Fillers no generan Interferencia Intersimbólica ISI ya que respetan los intervalos de guarda. En la figura 10 se representan los Gap Fillers en una red SFN. [10] [11]

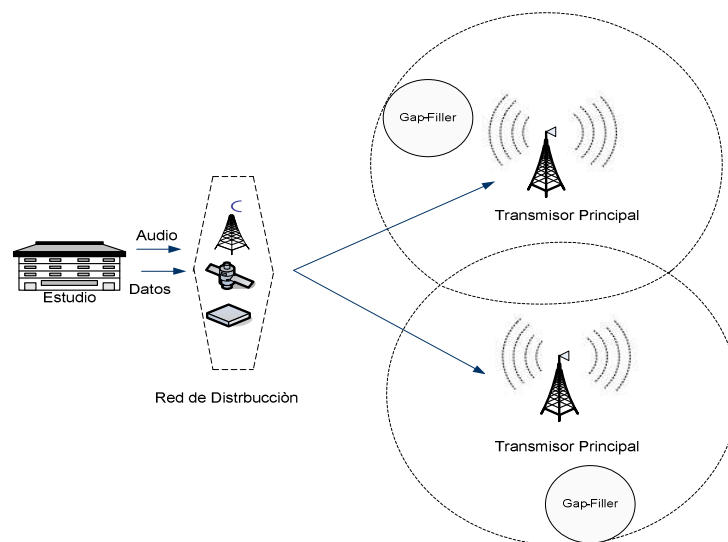


Figura 10. Gap-Fillers en una Red SFN

### 3.2 Repetidores co-canal

Son repetidores de potencia media que son instalados en el borde del área de cobertura de un transmisor principal, este retransmite la señal emitida por el transmisor principal. El repetidor co-canal capta la señal, la filtra y la amplifica. Los repetidores co-canal incrementan el área de cobertura sin necesidad de aumentar la potencia de transmisión y no requieren sincronización. En la figura 11 se representa varios repetidores co-canal en una red SFN. [11]

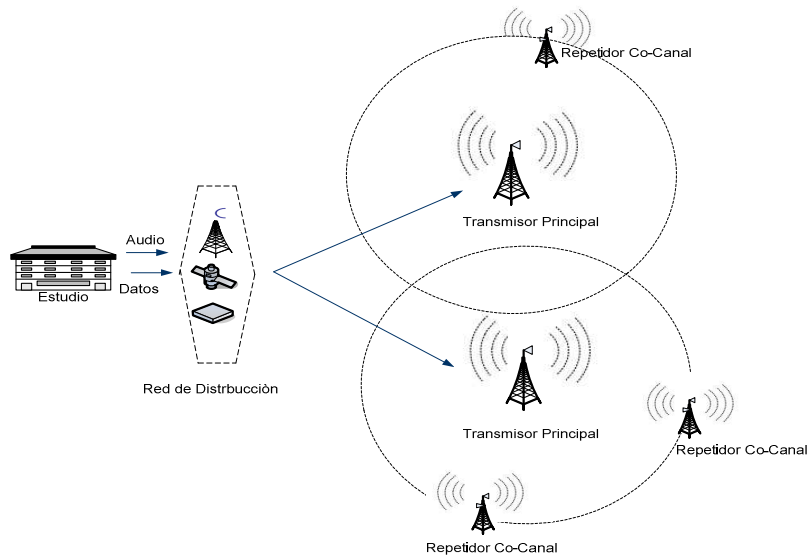


Figura 11. Repetidor Cocanal

## 4. SINCRONIZACIÓN EN UNA RED SFN

Todos los transmisores de la red SFN deben estar sincronizados, así que los radiodifusores deberán proveer idéntica frecuencia e información a cada uno de ellos. La operación de una red SFN requiere de equipos especiales en la red de transporte para asegurar la sincronización, esta puede ser obtenida utilizando el sistema de posicionamiento global GPS el cual puede proveer una frecuencia y un tiempo igual a toda la red. En la figura 12 se aprecia la utilización de receptores GPS para la sincronización de la red. [9]

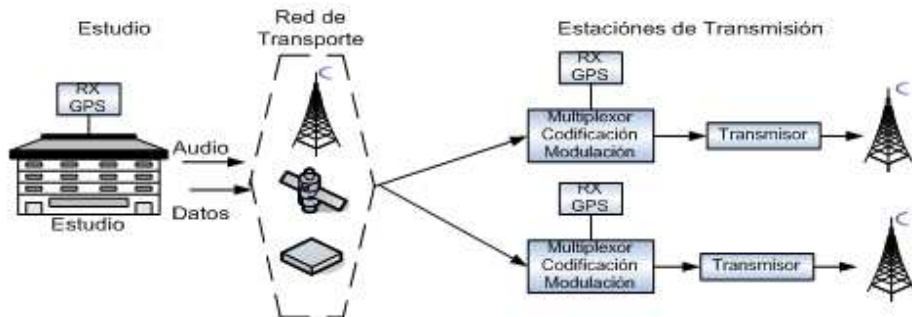


Figura 12. Utilización de Receptores GPS para la Sincronización de una Red SFN. [10]

## ANEXO C. CODIFICACIÓN DE AUDIO, TRANSMISIÓN DE DATOS Y SISTEMA MPEG

El objetivo de este anexo es exponer el proceso llevado a cabo en la digitalización de una señal analógica, la codificación y comprensión por medio del sistema Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento (MPEG-2: Moving Pictures Experts Group) utilizado en el sistema de radiodifusión sonora digital terrestre ISDB-TSB.

### 1. DIGITALIZACIÓN DEL AUDIO

La digitalización de una señal de audio, consiste en efectuar una conversión de la señal de analógica a digital (A/D). En la digitalización se realiza de forma periódica medidas de la amplitud de la señal analógica y se representan en formato binario, el proceso de digitalización lleva a cabo las etapas de filtrado, muestreo y retención, cuantificación y codificación. El filtrado se realiza para limitar la señal en banda y obtener un espectro finito, esta etapa también es denominada de anti-aliasing porque evita que se mezclen frecuencias de la señal de entrada con frecuencias de la banda de muestreo. La etapa de muestreo se realiza mediante una señal cuya frecuencia se denomina de muestreo la cual debe cumplir con el teorema de Nyquist, el cual estima que la frecuencia de muestreo debe ser mínimo dos veces la frecuencia a muestrear. En la etapa de cuantificación, a los valores de amplitud muestreados se asignan palabras de bits, a continuación, la señal es codificada mediante una Modulación Codificada por Pulsos (PCM, Pulse Code Modulation). El proceso que se lleva a cabo en la digitalización de una señal de audio analógico se puede apreciar en el diagrama de bloques de la figura 13. [12]

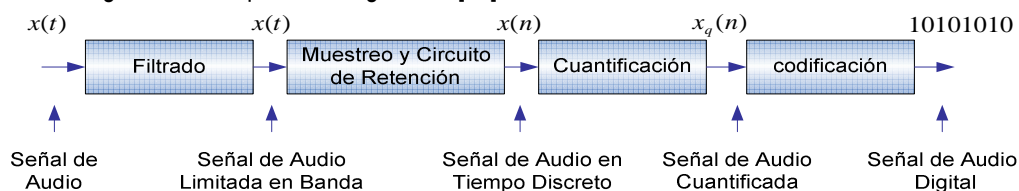


Figura 13. Proceso de Digitalización

#### 1.1 MUESTREO Y RETENCIÓN

Las señales de audio son continuas en el tiempo y en amplitud, para que sean procesadas digitalmente se hace necesario convertirlas en señales discretas en el dominio del tiempo y frecuencia, la conversión de una señal continua en el dominio del tiempo a una señal discreta en el mismo dominio se conoce como muestreo. [12]

El proceso de muestreo consiste en tomar medidas instantáneas de una señal analógica variante en el tiempo, las medidas o muestras realizadas a la señal analógica son las que garantizan tener una réplica fiel de la forma de onda original de la señal. Para determinar el número de muestras necesarias se utiliza el teorema de Nyquist el cual establece que es posible capturar toda la información presente en la forma de onda de una señal si se utiliza una frecuencia de muestreo del doble de la frecuencia más alta presente en la señal de información, una vez tomadas las muestras de una señal, deben ser retenidas un tiempo suficiente para permitir evaluar su nivel y poder cuantificar cada una de las muestras; esto es posible gracias a la utilización de un circuito de retención. [12]

#### 1.2 CUANTIFICACIÓN

La cuantificación es el proceso de asignar a cada una de las muestras un valor o número binario, cada uno de los valores representa la señal en un determinado punto. Durante la cuantificación se mide el nivel de voltaje de cada una de las muestras obtenidas en el proceso de muestreo y se le asigna un valor discreto de amplitud, la cuantificación esta definida por la cantidad de valores discretos en los que se puede clasificar la amplitud de la señal, estos valores discretos dependerán del número de bits a utilizar para realizar la cuantificación. [13]



El proceso de cuantificación genera una diferencia entre la señal original y la cuantificada, la diferencia entre estas es lo que se denomina ruido de cuantificación. Una vez realizado el proceso de muestreo y cuantificación de las muestras, estas podrán ser codificadas. [13]

### 1.3 CODIFICACIÓN

La codificación PCM consiste en asignar un código binario distinto a los valores obtenidos en la cuantificación, la señal resultante de la codificación PCM es muy robusta y es utilizada para el transporte o transmisión digital. La codificación de una señal de audio permite almacenarla en formato digital sin perder la fidelidad de la señal, hacerla menos vulnerable al ruido introducido por el canal de transmisión y optimizar el canal de transmisión debido a que se puede enviar más información utilizando el mismo ancho de banda. [12]

## 2. ESTANDÁR DE AUDIO MPEG-2 AAC

El estándar MPEG-2 AAC provee la codificación de múltiples programas de audio, para aplicaciones de radiodifusión, puede codificar hasta seis (6) canales de audio en un solo flujo de datos, utiliza las frecuencias de muestreo de MPEG-1 (32 KHz, 44.1 KHz y 48 KHz) y las frecuencias de muestreo mitad (16 KHz, 22.5 KHz y 24 KHz) las cuales son utilizadas para aplicaciones de programas con varios idiomas de audio.

### 2.1 PROCESO DE CODIFICACIÓN

A las señales de audio entrantes es aplicada la Transformada de Coseno Discreta (DCT: Discrete Cosine Transform) la cual expresa en una secuencia finita de varios puntos el resultado de la suma de distintas señales sinusoidales con distintas frecuencias y amplitudes. Por medio de la DCT la información es reducida mediante la desviación de energía en las componentes de frecuencia, es decir que permite concentrar la mayor parte de información en pocos coeficientes transformados (reducción de redundancia espacial) como se puede apreciar en la figura 14, además, de la DCT se realiza ponderación psicoacústica en la asignación de bits, en la cual los códigos son ponderados para minimizar la degradación de la señal en el rango de frecuencias que es realmente percibido por el oído humano. [14]

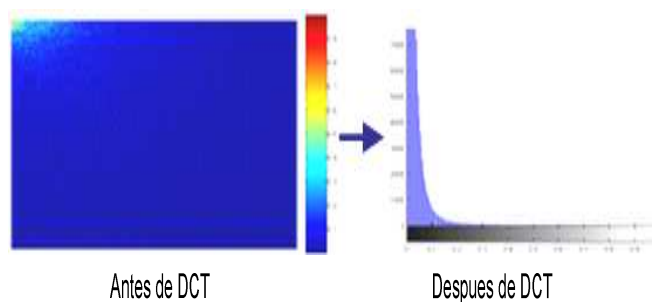
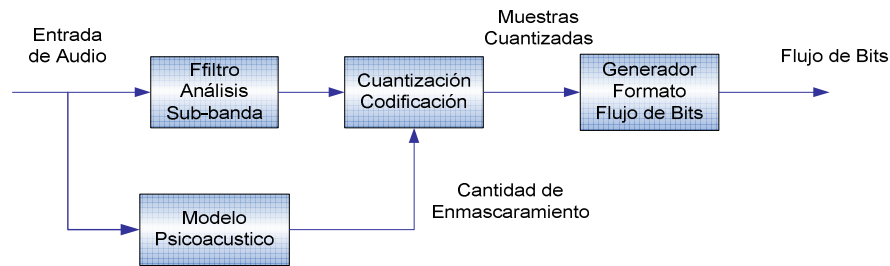


Figura 14<sup>1</sup>. Concentración de Energía de la DCT

La estructura básica del codificador de audio y el procedimiento de transmisión se presenta en el diagrama de bloques de la figura 15. [15]

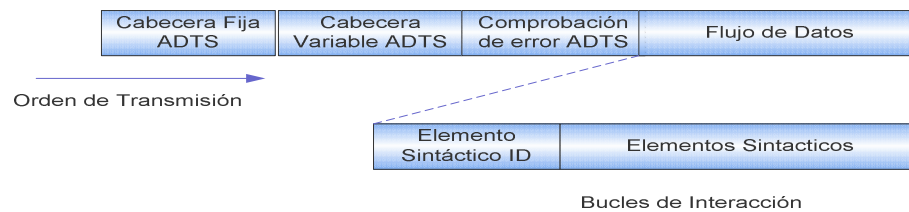
---

<sup>1</sup> Fuente <http://es.wikipedia.org/wiki/DCT>



**Figura 15. Estructura Básica del Codificador de Audio. [15]**

Los bloques del codificador de audio presentado en la figura 15 cumplen las siguientes funciones: el filtro de análisis sub-banda divide la señal en 32 sub-banda igualmente espaciadas y pasa la señal de audio de entrada del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, el bloque modelo psicoacustico realiza ponderación de acuerdo a las características de la señal de entrada y calcula las partes porcentuales irrelevantes del sonido y el enmascaramiento, el bloque cuantificación y codificación asigna los bits a cada sub-banda de acuerdo al modelo psicoacustico y el generador de formato de flujo de bits genera el flujo elemental de datos comprimido (ES: Elementary Stream) de salida en formato MPEG-2. El flujo de bits de salida en formato MPEG-2 está compuesto de los siguientes campos que se presentan en la figura 16. [15]



**Figura 16. Configuración del Flujo de Bits de Salida. [15]**

La descripción de los cada uno de los campos es la siguiente:

- La cabecera fija de Flujo de Transporte de Datos de Audio (ADTS: Audio Data Transport Stream) consiste de información codificada de audio y sincronización definida en ISO/IEC 13818-7.
- La cabecera ADTS variable transporta información de audio codificado en ISO/IEC 13818-7.
- Comprobación de error ATDS transporta información para detección de errores.
- El flujo de datos, son datos codificados de audio de acuerdo a ISO/IEC 13818-7.
- Los elementos sintácticos ID indican el tipo del elemento sintáctico o el fin del flujo de datos.
- Los electos sintácticos consisten de varios componentes de datos de audio codificado de acuerdo a ISO/IEC 13818-7.

## 2.2 RESTRICCIONES SOBRE LOS PARÁMETROS DE CODIFICACIÓN DE AUDIO

Las restricciones concernientes a la codificación del audio son presentadas en la tabla 2.

**Tabla 2. Restricciones Sobre los Parámetros de Audio. [15]**

<b>PARÁMETROS PRINCIPALES</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Restricción</b>
Modos Posibles de Audio	Mono, Estéreo, Estéreo Multicanal (3/0, 2/1, 3/1, 2/2, 3/2, 3/2+LFE <sup>2</sup> ) <sup>3</sup> , 2 señales de audio (dual mono), audio multi (tres o mas señales de audio) y combinación de las anteriores
Modo de Audio recomendable	Mono, estéreo, estéreo multicanal (3/1, 3/2, 3/2+LFE), 2 señales audio (dual mono)
Formato del flujo de bits	Flujo de transporte de datos de audio AAC (ADTS)
Máximo número de canales para codificación	5 canales + LFE
Máxima tasa de bits	Lo estipulado en ISO/IEC 13818-7 Trabaja con tasas de bit desde 8 Kbps para señal monofónica de voz hasta más de 160 Kbps/canal para codificación de muy alta calidad.
<b>Restricciones Sobre Parámetros de Codificación de MPEG-2 AAC ADTS</b>	
<b>Cabecera Fija ATDS</b>	
Ausencia de Protección	'0' (Verificación de error CRC siempre presente)
Frecuencia de muestreo	48 KHz, 44.1 KHz, 32 KHz, 24 KHz, 22.05 KHz, 16 KHz
<b>Disposiciones Relativas a la Configuración del Flujo de Audio y Multiplexación</b>	
<b>Modo de entrada de Audio</b>	<b>Configuración ADTS y Multiplexación</b>
Mono, estéreo	Comprende un ADTS
Estéreo multicanal (3/0, 2/1, 3/1, 2/2, 3/2, 3/2+LFE)	Comprende un ADTS
2 señales de audio (mono dual) <sup>4</sup>	Comprende un ADTS
Múltiples señales de audio que no sean mono dual	Comprende el mismo número de ADTS que los flujos de audio presentes. La multiplexación con MPEG

En la tabla 3 se presenta la configuración para sistemas estereofónicos multicanales.

**Tabla 3. Configuración para Sistemas Estereofónicos Multicanales. [15]**

<b>Canales</b>	<b>Sonoridad</b>	<b>Estereofónico</b>
1	Modalidad 1/0	Mono
2	Estéreo 2/0	Izquierdo y derecho
3	Estéreo 3/0	Izquierdo, derecho y central
4	Estéreo 3/1	Izquierdo, derecho, central y envolvente
5	Estéreo 3/2	Izquierdo, derecho, central, envolvente diestro y izquierdo

<sup>2</sup> Canal Enlace Baja Frecuencia permite la mejora de las frecuencias bajas (LFE: Low Frequency Enhancement).

<sup>3</sup> Número de canales frontales y traseros. Ejemplo 3/1=3 frente + 1 atrás.

<sup>4</sup> Mono dual es definido como dos canales de audio monofónico que pueden ser simultáneamente reproducidos por un ADTS.

5.1	Estéreo 3/2	Izquierdo, derecho, central, envolvente diestro, izquierdo y una canal para graves
-----	-------------	--

### 2.3 INDICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AUDIO

El indicador de calidad de audio, es utilizado para transmitir e indicar la calidad<sup>5</sup> de audio de la señal, el indicador especifica la calidad de un flujo de codificación. Dos bits son asignados para indicar la calidad del flujo de codificación, así que esta puede ser clasificada en hasta tres diferentes modos. Los modos indican tres calidades de audio disponibles: tipo de audio Modo A y Modo B y uno limitado en comparación con los otros dos, Modo C. La tabla 4 presenta el indicador de calidad asignado (bits) y la correspondencia entre el contenido del indicador de calidad y la calidad del audio codificado. El Modo A representa alta calidad de audio y el Modo B representa calidad de audio estándar. [15]

Tabla 4. Indicador de Calidad de Audio y Criterios del Audio Codificado. [15]

Indicador de Calidad	Calidad de Audio	Criterio en la Calidad de Audio Codificado	Observaciones
00		Reservado	
01	Modo A	Calidad de audio disponible en radiodifusión de televisión estándar satelital.	Tasa de bits de 192 Kbps hasta 256 Kbps
10	Modo B	Calidad de audio definido por la ITU para radiodifusión digital. [2]	Tasa de bits de 144 kbps o más.
		Para las frecuencias de muestreo (32, 44.1 y 48) KHz	Tasa de bits de (32-48-56-80-96-112-128-160-192) Kbps
		Para las frecuencias de muestreo de (16-22,05-24) KHz	Tasa de bits de (8-16-24-32-40-48-56-64-80-96-112-128-144-160) Kbps.
11	Modo C	Modo con calidad de audio limitado comparado a los modos A y B. No tiene aplicación para radiodifusión.	Frecuencia de muestreo por debajo de 32 KHz.

### 2.4 OPERACIÓN DE ALTO NIVEL DEL SISTEMA DE CODIFICACIÓN DE AUDIO

El codificador y decodificador de audio esperan hasta que no haya más flujo de datos almacenados en el buffer del codificador y decodificador respectivamente para reanudar la codificación, después de reanudar la codificación, la cantidad de flujo de datos de audio codificado es almacenado en el buffer del codificador y posteriormente es enviado hacia el decodificador, el flujo de datos es transmitido usando el sistema MPEG. La suma de los datos almacenados en los búferes se fija en 6114 bits. La codificación se detiene cuando la cantidad de datos almacenados en los buffer del codificador y decodificador se decrementa, es decir no hay datos por codificar. [14]

Los buffer del codificador y decodificador se vacían, cuando no hay entrada de señales de audio en el codificador y este ha terminado el proceso de codificación y transmisión del flujo de datos, de igual manera ocurre en el decodificador que no tiene flujo de datos de audio para decodificar. El codificador renueva la codificación usando nuevos parámetros de información, envía un flujo de datos de audio al decodificador con la cantidad determinada de flujo de datos almacenados en el buffer del codificador, durante este periodo, el decodificador no desempeña decodificación y no hay presencia de audio en recepción. [14]

<sup>5</sup> La calidad de audio definida por la ITU-R para los sistemas de radiodifusión digital es 144 Kbps o superior. [14]

La cantidad de flujo de datos almacenados en los buffer del codificador y decodificador alcanzan niveles constantes, cuando se presenta esta condición el decodificador renueva la decodificación basándose sobre los nuevos parámetros de información, debido a esto el decodificador silencia las señales de audio codificadas por un tiempo específico. [14]

### 3. MULTIPLEX Y FLUJO DE TRANSPORTE MPEG-2

La norma ISO/IEC 13818-1, establece los protocolos de paquetización de los datos, el multiplexado y demultiplexado de los mismos. En la norma MPEG-2, el flujo elemental de datos (ES, Elementary Stream) y el flujo elemental de datos comprimido forman un Flujo Elemental de Paquetes (PES, Packetized Elementary Stream), estos a su vez forman el Flujo de Programa (PS, Program Stream). Distintos flujos de audio y datos comprimidos provenientes de los PES o de distintos PS forman el Flujo de Transporte (TS, Transport Stream), el cual es el flujo de transporte de MPEG-2. [15]

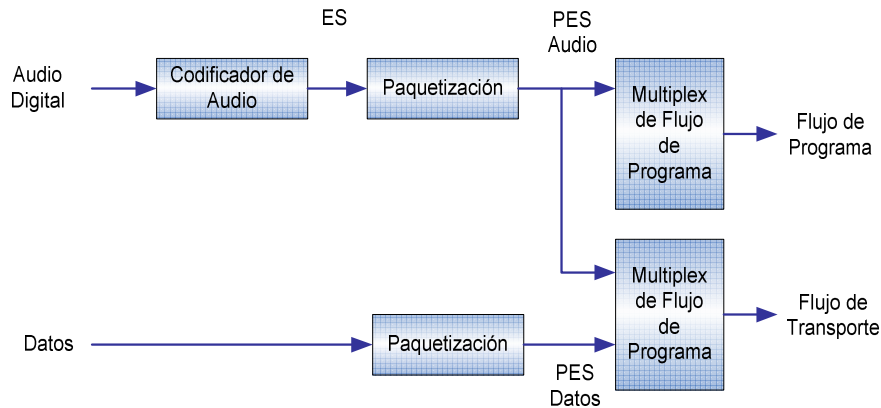


Figura 17. Formato Multiplexado en el Sistema MPEG-2. [15]

#### 3.1 EL PAQUETE PES

El PES, es un flujo de paquetes de datos que ha sido formado mediante la paquetización de los flujos elementales de audio y datos, los PES tienen una longitud variable y su máxima capacidad de datos es 65.536 Kbytes. En la figura 18 se presenta el formato de un paquete PES. [15]

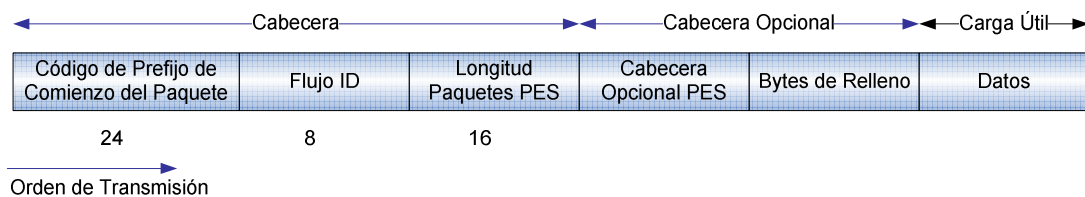


Figura 18. Paquete PES. [15]

El código de prefijo de comienzo de paquete es un código que representa el inicio del paquetes PES 0x000001, el flujo ID es usado para identificar el número y tipo de flujos elementales (señales codificadas), el campo longitud de los paquetes PES indica el número de bytes en el paquete, la cabecera opcional PES debe cumplir con la recomendación ITU-T recomendación H.222.0 la cual especifica la multiplexación y sincronización en servicios audiovisuales, los bytes de relleno deben ser puestos a 0xFF y no deben exceder 32 bytes de longitud y la carga útil no debe sobrepasar el tope máximo indicado. [15]

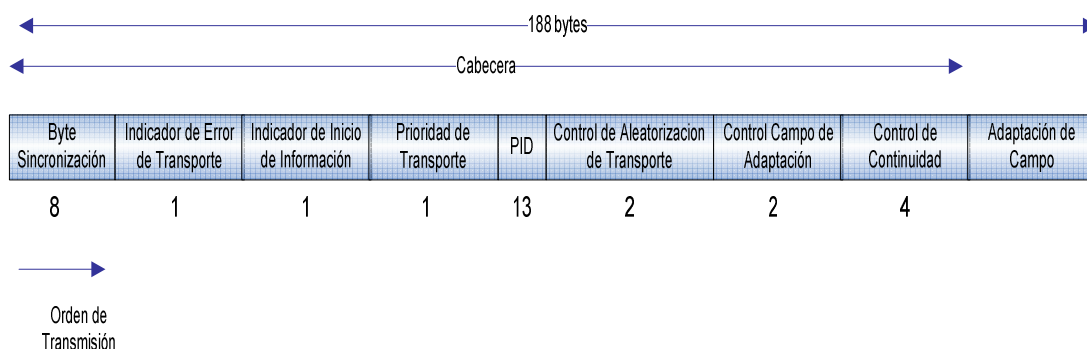
#### 3.2 FLUJOS MPEG-2

A partir de los flujos de paquetes PES de audio y datos, se forman los flujos MPEG-2, el primero de estos es el PS el cual esta formado por paquetes de longitud variable, este es utilizado para aplicaciones de transferencias de datos

en multimedia y DVD. El otro flujo es TS, el cual esta formado por paquetes de longitud de 188 bytes y es utilizado para transmisión. [12]

Cada PS, tiene una cabecera de información y una carga útil de datos de capacidad variable, los PS no son utilizados en transmisión debido a que tienen una gran longitud. [12]

El TS, esta formado por paquetes MPEG-2 de 188 bytes de capacidad cada uno, este flujo es obtenido a través de los distintos paquetes PES. En la figura 19 se presenta el formato de un TS. [12]



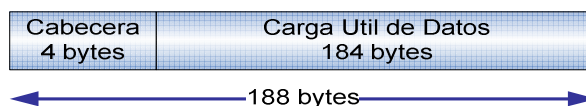
**Figura 19. Flujo de Transporte TS. [15]**

A continuación se expone cada bloque del flujo de transporte MPEG-2: [15]

- El byte de sincronización es 0x47.
- Indicador de error de transporte es una bandera que indica si hay algún bit de error en el paquete TS.
- Indicador de inicio de información, indica que la información de un paquete TS comienza al inicio del paquete PES o cuando el puntero contiene '1'.
- El campo prioridad de transporte, es una bandera que indica la prioridad entre paquetes con el mismo PID.
- PID, es un campo de información que indica el tipo de información de la carga útil.
- Control de aleatorización de transporte, es un campo para identificar el modo de aleatorización de la información para un paquete TS.
- Control de campo de adaptación es usado para indicar la configuración del campo de adaptación de la carga útil.
- Control de continuidad especifica la secuencia de paquetes TS con el mismo PID, el valor de este campo es inicializado en '0' y es aumentado de uno en uno.
- Adaptación de campo, estima la cantidad de bytes faltantes a incluir.

### 3.3 PAQUETE MPEG-2

La capacidad total de cada paquete MPEG-2 es de 188 bytes, donde 4 bytes (32 bits) corresponden a la cabecera de información y los restantes 184 bytes (1472 bits) a la carga útil de datos. El la figura 20 se representa el paquete MPEG-2. [15]



**Figura 20. Paquete MPEG-2. [15]**

El paquete MPEG-2 tiene una longitud fija y por ende cada paquete debe ir siempre lleno, en caso de faltar bytes por completar en el último paquete, se incluyen bytes de relleno para completar la cantidad total de 184 bytes de la carga útil, para completar el último paquete se despliega el campo de adaptación el cual estima la cantidad de bytes faltantes a incluir, este campo solo es desplegado en el último paquete del flujo de transporte. [15]

#### 4. SEÑALES DE AUDIO DE ENTRADA AL MULTIPLEXOR MPEG-2

Los sistemas de compresión MPEG-2, operan con señales digitales PCM en su entrada, señales analógicas las cuales dentro del mismo sistema se realiza la conversión de analógica a digital y señales digitales en el estándar AES/EBU (Audio Engineering Society/ European Broadcasting Union). [12]

El máximo número de canales de audio de entrada que pueden ingresar al compresor de MPEG-2 son cinco, la frecuencia de muestreo para las señales de audio son coherentes a las utilizadas en el sistema MPEG-2 Código de Audio Avanzado (AAC: Avanced Audio Coding) el cual utiliza las frecuencias de 16 KHz, 22.05 KHz, 24 KHz, 32 KHz, 44.1 KHz o 48 KHz. El número de bits para realizar la cuantización de las muestras son 16 o más. [12] [14] [15]

#### 5. PROTOCOLOS DE CANAL PARA MULTIPLEXACION DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL

Un protocolo de transmisión usado en redes fijas tales como la Red Telefónica Publica Conmutada (PSTN, Public Switched Telephone Network), la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN, Integrated Services Digital Network) y redes móviles donde la comunicación es bidireccional, consiste de las siguientes fases.

- Fase de conexión y desconexión: un receptor conecta y desconecta al centro de una red, la fase de conexión y desconexión son controlados con comandos AT desde un MODEM, adaptador terminal o adaptador de comunicación de datos para teléfonos móviles. [16]
- Estabilizar el enlace de datos y terminar (conexiones directas): esta fase comienza inmediatamente después de efectuarse la conexión. Un enlace de transmisión de datos es estabilizado entre el receptor y host en el centro de control o estación, el enlace termina cuando la transmisión haya sido completada, esta fase puede ser implementada con protocolos que no especifiquen dirección de destino para cada paquete en la capa de enlace de datos (radiodifusión). En la tabla 5 se especifica los protocolos que pueden ser utilizados en esta fase. [16]

**Tabla 5. Protocolos Fase Enlace de Datos. [16]**

	Pila de Protocolos	
Capa de Aplicación	Seleccionada de acuerdo al servicio	
Capa de enlace de datos	Protocolo conformado por X.28 <sup>6</sup>	
Capa física	Receptor	Terminal
MODEM básico	V.22 bits o posterior	Mismo izquierda
MODEM avanzado	V.34 o posterior + V.42 bits	Mismo izquierda
Teléfono Móvil	PDC <sup>7</sup> 9600 bps	PDC 9600 bps o (V.32 bits + V.42bps) <sup>8</sup>

- Fase de transmisión de los datos: En esta, se realiza la transmisión de los datos. La fase de transmisión puede hacer uso de los siguientes protocolos presentados en las tablas 6, 7, 8, 9 y 10.

**Tabla 6. Protocolos Para Transmisiones Binarias. [16]**

	Pila de Protocolos	
Capa de Aplicación	Seleccionada de acuerdo al servicio, un subconjunto HTTP1.0	
Capa de enlace de datos	JIS X5002, PPP en HDLC-Like Framming, HDLC	
Capa física	Receptor	Terminal

<sup>6</sup> Un sistema utilizado para convertir los protocolos de comunicación a fin de no conectar dispositivos de comunicación de paquetes a una red de conmutación de paquetes.

<sup>7</sup> Personal Digital Cellular: ARIB RCR STD-27 "Personal Digital Cellular Telecommunication System RCR Standard"

<sup>8</sup> Conversor para datos análogos en una red de teléfonos móviles

**Tabla 7. Protocolos Para Conexiones Intranet y Internet. [16]**

Pila de Protocolos		
Capa de Aplicación	Seleccionada de acuerdo al servicio de HTTP1.0, FTP, POP3, SMTP	
Capa de transporte	TCP, UDP	
Capa de Red	IP/ICMP	
	Receptor	Terminal
Capa de enlace de datos	PPP/IPCP	PPP/IPCP
Capa física	Receptor	Terminal

**Tabla 8. Protocolos para el uso de REDES PSTN. [16]**

Pila de Protocolos		
Capa de Aplicación	Seleccionada de acuerdo al servicio de HTTP1.0, HTTP 1.1, Telnet, FTP, NNTP, SMTP, POP3, DNS	
Capa de transporte	TCP, UDP	
Capa de Red	IP/ICMP	
Capa de enlace de datos	PPP/IPCP, PAP/CHAP, CCP	
Capa física	Receptor	Terminal

**Tabla 9. Protocolos para Redes Móviles. [16]**

Pila de Protocolos		
Capa de Aplicación	Seleccionada de acuerdo al servicio de HTTP1.0, HTTP 1.1, Telnet, FTP, NNTP, SMTP, POP3, DNS	
Capa de transporte	TCP, UDP	
Capa de Red	IP/ICMP	
	Receptor	Terminal
Capa de enlace de datos	PPP/IPCP, PAP/CHAP, LCP, CCP	
Capa física		
Teléfono Móvil (Servicio Circuito Conmutado)	RCR STD-27 (PDC) ARIB STD-T53 (Sistema Celular CDMA)	PDC CDMA
Teléfono Móvil (Servicio de Paquetes)	RCR STD-27 (PDC-P)	Redes de comunicación de paquetes
Teléfono Móvil (servicio de circuito conmutado y de paquetes)	ARIB STD-T63 (IMT 2000DS-CDMA)	ISDN

**Tabla 10. Protocolos para redes Ethernet. [16]**

Pila de Protocolos		
Capa de Aplicación	Seleccionada de acuerdo al servicio de HTTP1.0, HTTP 1.1, Telnet, FTP, NNTP, SMTP, POP3, DNS	
Capa de transporte	TCP, UDP	
Capa de Red	IP/ICMP	
	Receptor	Terminal
Capa de enlace de datos	PPP, PPPoE, IPCP, CCP, PAP, CHAP, IEEE 802.2/ARP	
Capa física	IEEE 802.3, IEEE 802.11	



## ANEXO D. SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL TERRESTRE ISDB-TSB

EL presente anexo corresponde a la extracción de los capítulos del estándar ARIB-STD B29 que describen el sistema de transmisión ISDB-TSB.

### 1. DESCRIPCIÓN BASICA DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL TERRESTRE ISDB-TSB

El diagrama de bloques del estándar de radiodifusión sonora digital terrestre ISDB-TSB se presenta en la figura 21, cada bloque desempeña una función específica en el sistema de transmisión. El flujo de transporte MPEG-2 es remultiplexado y agrupado en segmento de datos, luego, estos son procesados de acuerdo a las intenciones del servicio a ofrecer y el tipo de recepción (móvil/portátil/fija), por ultimo la señal resultante es enviada por Radio Frecuencia RF al destino.

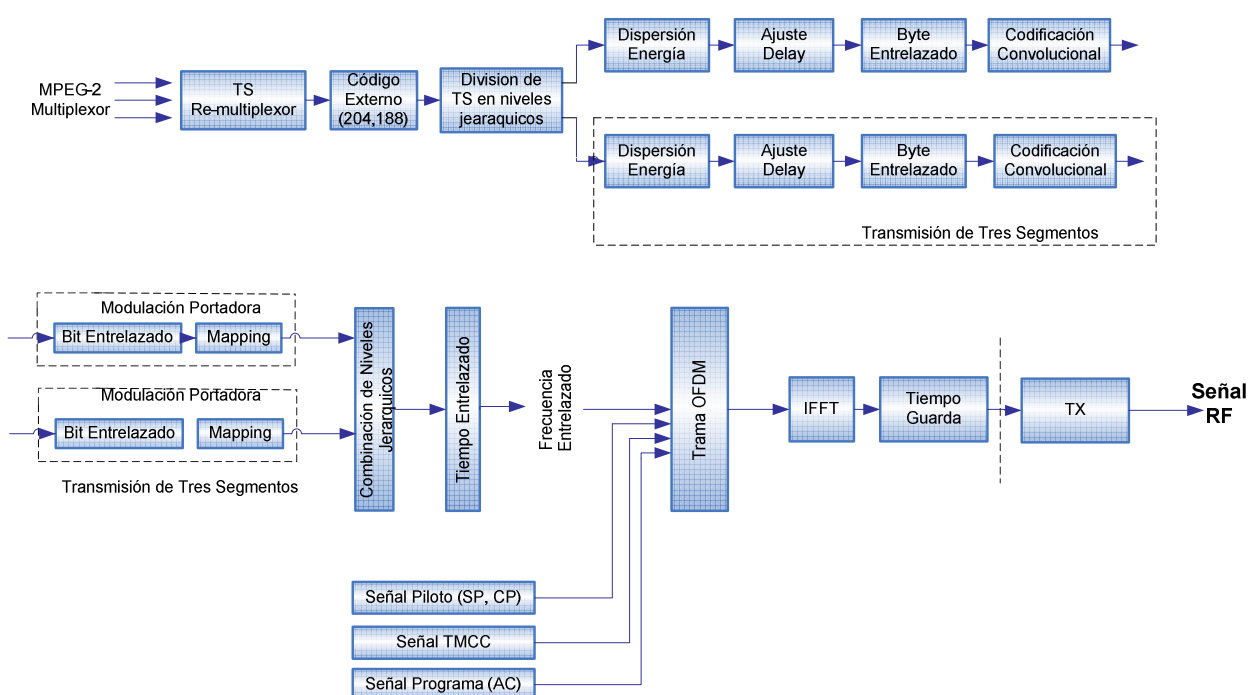


Figura 21. Diagrama de Bloques del Sistema ISDB-TSB. [17]

#### 1.1 APLICACIONES DEL ESTÁNDAR ISDB-TSB

El estándar ISDB-TSB ha sido creado para satisfacer las necesidades planteadas por la Asociación de Radio Industrias y Negocios ARIB, las aplicaciones que pueden ser soportadas por este estándar son:

- Servicios de radiodifusión de datos.
- Recepción fija, portable y móvil, con alta calidad de audio y datos.
- Redes de frecuencia única (SFN).
- Operación en modo jerárquico. El cual permite transportar en el mismo ancho de banda, un flujo de datos para recepción fija y/o móvil, y un flujo de datos para recepción portable.
- Servicio de recepción portable de audio y datos. Para ello, se transmite audio y datos en un segmento ubicado en el centro de la banda. Para la recepción de este servicio, se utiliza un receptor de banda angosta el cual solo recibe un único segmento.

## 2. ANCHO DE BANDA Y ESPECTRO DE TRANSMISION

El ancho de banda de transmisión 6 MHz es dividido en 14 segmentos ( $6/14=428,57$  KHz aproximadamente 429 KHz), este es a su vez dividido en subcanales, el ancho de banda de un subcanal es  $1/3$  del ancho de banda de un segmento OFDM ( $429/3$  KHz =  $142.85$  KHz aproximadamente 143 KHz). Los subcanales son presentados en la figura 22 y son numerados del 0 al 41. [17]

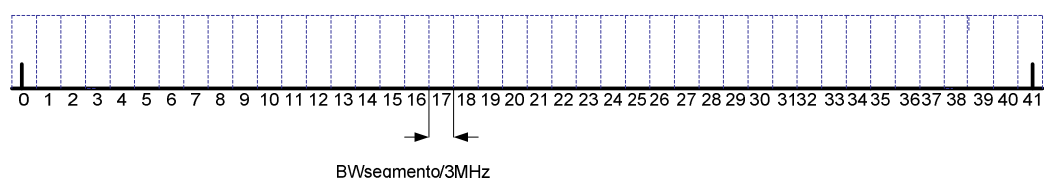


Figura 22. Subcanales. [17]

En ISDB-TSB se definen dos bandas de guarda, una inferior y otra superior, con el fin de evitar interferencias con otros sistemas de radiodifusión, las bandas de guarda han sido definidas a partir de evaluaciones subjetivas realizadas sobre una señal NTSC interferida por una señal del sistema ISDB-TSB, esto debido a que en la banda de operación de ISDB-TSB se encuentra el sistema de televisión analógico NTSC. Las evaluaciones han determinado que se requiere una banda de guarda en la parte inferior del canal de 500 KHz y una banda de guarda en la parte superior del canal de 71 KHz, por consiguiente, ISDB-TSB puede hacer uso de los subcanales (4 a 40), con los cuales se pueden transmitir un total de 12 segmentos OFDM. Las bandas de guarda y los 12 segmentos se presentan en la figura 23. [17]

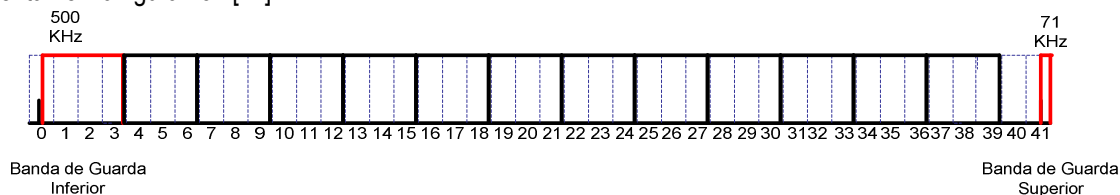


Figura 23. Bandas de Guarda. [17]

La figura 24 representa la portadora central en el ancho de banda del canal de 6 MHz utilizado por ISDB-TSB, y en la tabla 11 se presentan las frecuencias de las portadoras centrales de los canales 7 al 13 correspondientes a la banda III de VHF. [17]

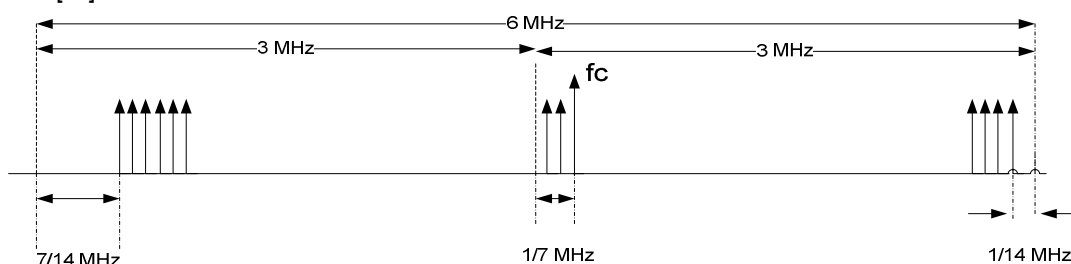


Figura 24. Frecuencia de la Portadora Central. [17]

Tabla 11. Canal y su Portadora Central en ISDB-TSB. [17]

Número del Canal VHF	Canal 7 MHz	Canal 8 MHz	Canal 9 MHz	Canal 10 MHz	Canal 11 MHz	Canal 12 MHz	Canal 13 MHz
Frecuencia Portadora Central	$177 + 1/7 = 177.142$	$183 + 1/7 = 183.142$	$189 + 1/7 = 189.142$	$195 + 1/7 = 195.142$	$201 + 1/7 = 201.142$	$207 + 1/7 = 207.142$	$212 + 1/7 = 212.142$

## 2.1 MASCARA DEL ESPECTRO

El espectro de la señal radiada ISDB-TSB para la transmisión de un (1) o tres (3) segmentos debe estar limitada por las mascararas definidas en las figuras 25 y 26, y las tablas 12 y 13 respectivamente. Un nivel de señales por fuera de la anchura de la banda puede reducirse utilizando una etapa de filtrado. [17]

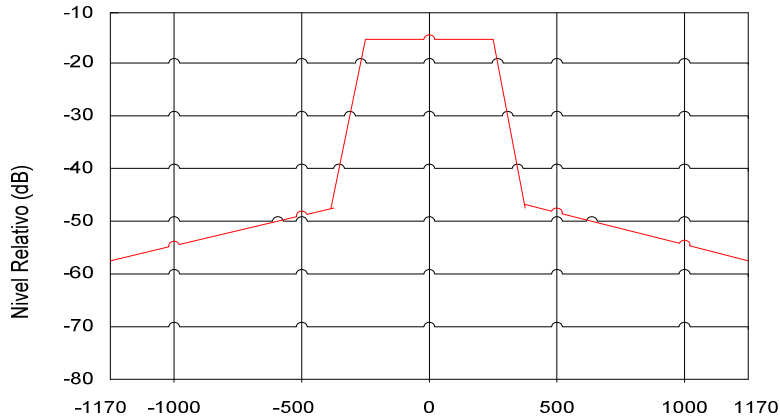


Figura 25. Mascara del Espectro de la Señal ISDB-TSB de un (1) Segmento. [17]

Tabla 12. Puntos de Corte de la Mascara de Espectro Transmisión de un (1) Segmento. [17]

Diferencia de Frecuencia con la Frecuencia Central de la Señal Transmitida (KHz)	Nivel Relativo (dB/10 KHz)
+/- 220	-16.3
+/- 290	-36.3
+/- 360	-46.3
+/- 1760	-57.6

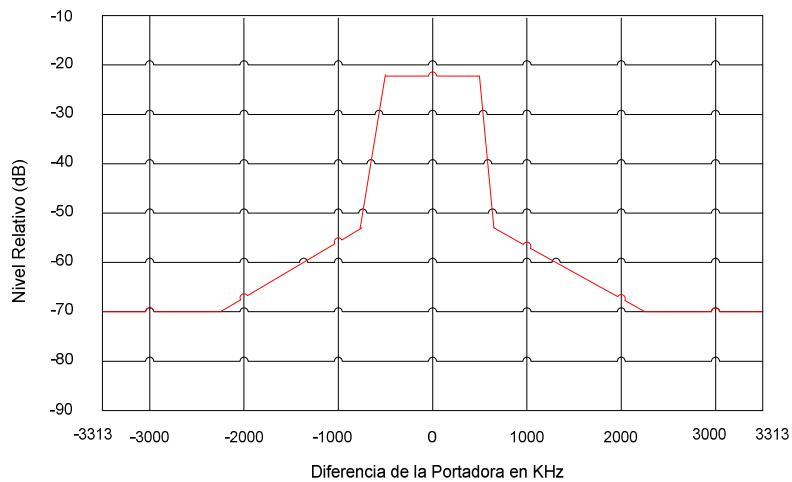


Figura 26. Mascara del Espectro de la Señal ISDB-TSB de tres (3) Segmento. [17]

Tabla 13. Puntos de Corte de la Mascara de Espectro para (3) Segmentos. [17]

Diferencia de Frecuencia con la Frecuencia Central de la Señal Transmitida (KHz)	Nivel Relativo (dB/10 KHz)
+/- 650	-21.0
+/- 720	-41.0
+/- 790	-51
+/- 2220	-71

### 3. TÉCNICA DE TRANSMISIÓN BST-OFDM

La técnica de transmisión utilizada por ISDB-TSB provee alta calidad de sonido y una variedad de servicios incluso en el entorno de recepción móvil, para satisfacer estos requerimientos, fue adoptado el sistema de transmisión Banda Segmentada OFDM, este hace uso de OFDM que está específicamente diseñado para mitigar los problemas de recepción de múltiples trayectorias. Esto lo logra transmitiendo un mayor número de canales de banda angosta sobre el ancho de banda. [18]

OFDM es una técnica de transmisión multiportadora, que usa un gran número de subportadoras muy cercanas para llevar los datos. En OFDM los canales de información de múltiples fuentes son combinadas para formar un solo flujo de datos multiplexado creado a partir de un denso paquete de múltiples subportadoras de reducido ancho de banda (típicamente de 100 a 8000 subportadoras), necesitando mayor sincronización para el funcionamiento del sistema. Las múltiples subportadoras se traslapan en el dominio de la frecuencia pero no interfieren entre ellas ni tampoco causan un destructivo nivel de Interferencia Inter Portadora (ICI: Inter-Carrier Interferente) debido a la ortogonalidad. [19]

“La ortogonalidad en OFDM define que la separación entre las portadoras sea exactamente igual a la inversa de la duración de un símbolo ( $TU$ ), es decir que la separación en frecuencia sea  $f_u=1/TU$ ”. De esta manera se logra que las portadoras no se interfieran entre si como se muestra en la figura 27. [19]

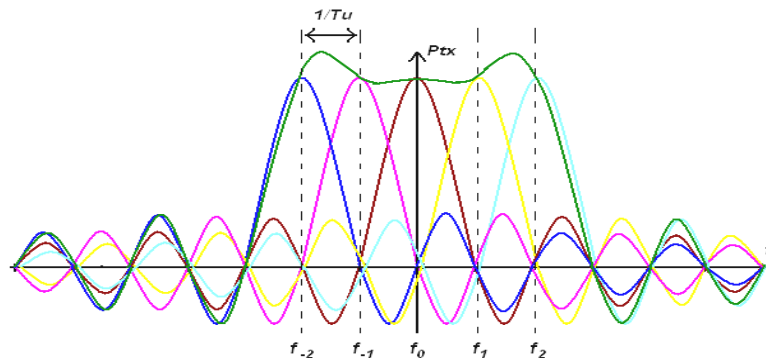


Figura 27. Portadoras con Espaciamiento Ortogonal en Frecuencia. [20]

OFDM divide un canal de entrada en múltiples canales de baja velocidad, los cuales pueden ser modulados en QPSK, 16QAM o 64QAM con una portadora de frecuencia distinta. Después de la modulación es aplicada la Transformada Rápida de Fourier Inversa (IFFT: Inverse Fast Fourier Transform) la cual pasa del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo. Los canales de baja velocidad son modulados por portadoras complejas ortogonales igualmente espaciadas. La parte real de la señal es modulada por el coseno y la parte imaginaria por el seno y por último es agregado a la señal OFDM un intervalo de guarda para evitar la Interferencia Inter Símbolo ISI. [20]

El conjunto de portadoras que se emite en un periodo de tiempo se denomina símbolo OFDM el cual depende del modo de transmisión. La división en múltiples portadoras da como resultado una mayor longitud del símbolo de

transmisión y por ende menor degradación en la señal. La figura 28 presenta el diagrama de bloques para transmitir una señal de radio frecuencia OFDM. [4]

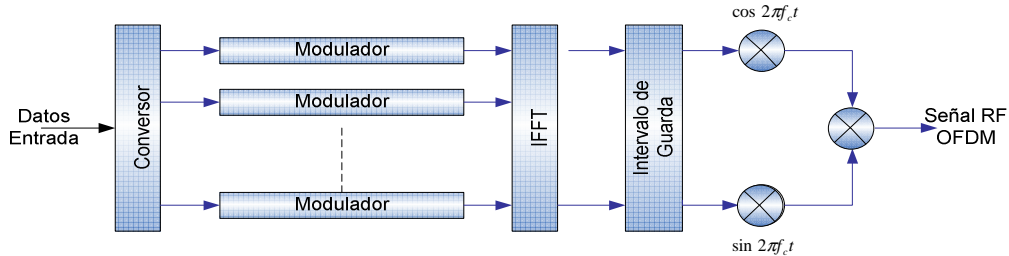


Figura 28. Transmisor OFDM. [20]

En recepción, a la señal de radio frecuencia OFDM es removido el intervalo de guarda, se aplica la Transformada Rápida de Fourier (FFT: Fast Fourier Transform) para transformar una señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Después de aplicar la FFT, las señales son ecualizadas para compensar los efectos de multitrayecto, el demodulador restaura la señal digital y el convertor paralelo a serie re-ordena el flujo de datos original. El esquema de recepción en OFDM se puede apreciar en la figura 29. [20]

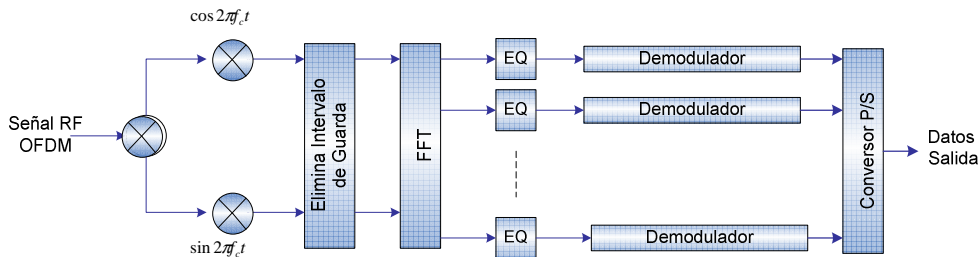


Figura 29. Receptor OFDM. [20]

La técnica de transmisión BST-OFDM, permite configurar diferentes parámetros de la señal en el mismo ancho de banda y se le denomina también transmisión en modo jerárquico. El estándar ISDB-TSB tiene habilitado dos tipos de transmisión, uno denominado transmisión con banda de guarda (transmisión normal) y otro denominado de transmisión concatenada o banda de guarda para mayor eficiencia en la utilización del espectro de frecuencia. [20]

### 3.1 PRESERVACIÓN DE LA ORTOGONALIDAD EN LA TRANSMISIÓN

Las portadoras están moduladas por señales representadas por números complejos, que cambian de un símbolo a otro. Si el periodo de integración en el receptor se extiende a una duración de dos símbolos, como es el caso cuando se presenta señales retrasadas, no solamente habrá ISI sobre la portadora correspondiente al símbolo que se pretende integrar, si no que además habrá ICI y por consecuencia destrucción de la información. Para evitar esta situación, se agrega un intervalo de guarda al inicio y final del símbolo. En la figura 30 se presenta la adición del intervalo de guarda. [17]

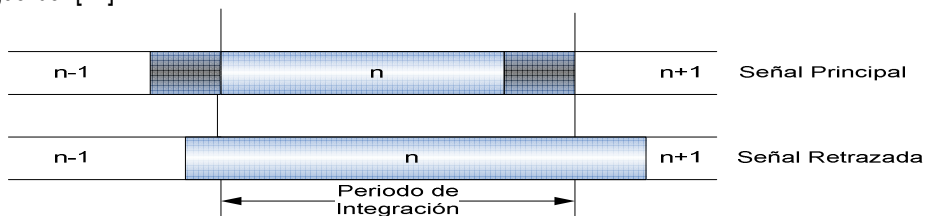


Figura 30. Adición Intervalo de Guarda. [17]

Con la adición del intervalo de guarda se aumenta la duración del símbolo de modo que exceda el periodo de integración del receptor, el segmento que se añade al inicio del símbolo para formar el intervalo de guarda, es idéntico al segmento que se agrega al final del símbolo. La interferencia entre símbolos o entre portadoras ocurrirá solamente cuando el retardo relativo exceda la duración del intervalo de guarda, este se elige de acuerdo al retardo esperado del medio particular de transmisión en que se lleva a cabo la transmisión. La inserción del intervalo de guarda reduce la tasa binaria efectiva, debido a que extiende la duración del símbolo transmitido. Cuanto mayor sea el intervalo de guarda menor será la interferencia causada por la propagación por multitrayecto. [17]

### 3.2 TRANSMISION CON BANDA DE GUARDA

En este tipo de transmisión se agrega una banda de guarda entre los segmentos OFDM, la banda de guarda es utilizada con el fin de separar en frecuencia los segmentos OFDM durante la transmisión, las bandas de guarda que pueden ser configuradas en este tipo de transmisión son: 1/7 MHz, 2/7 MHz, 3/7 MHz, 4/7 MHz, 5/7 MHz, 6/7 MHz y 7/7 MHz. En la figura 31 se presentan la configuración para las bandas de guarda de 1/7, 2/7 y 3/7. En esta se presentan transmisiones de tres segmentos para servicios orientados a receptores fijos/móviles y transmisiones de un segmento para servicios orientados a receptores portátiles. [17]

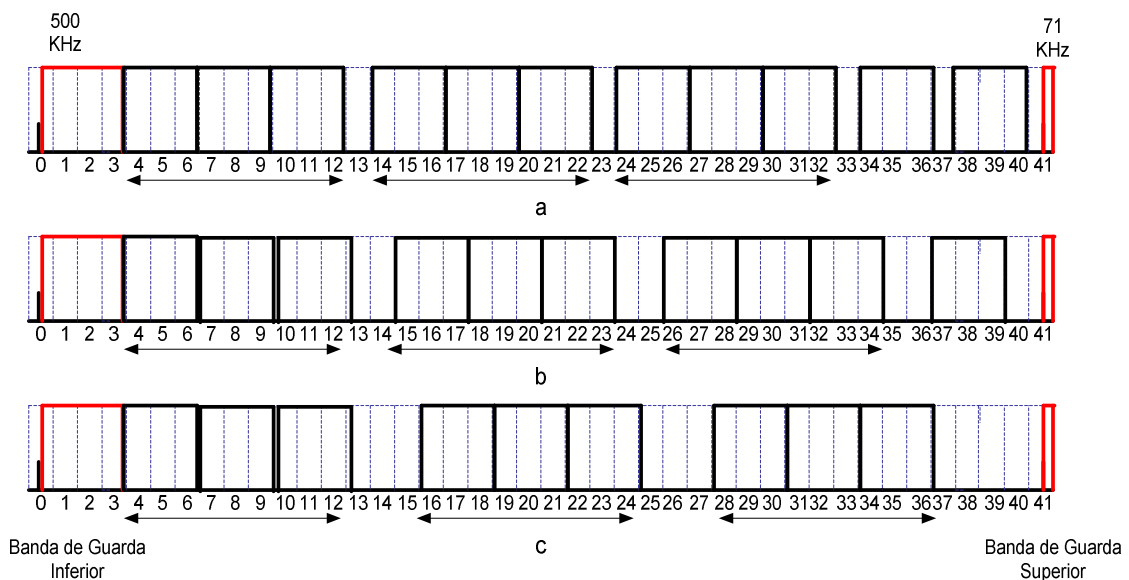


Figura 31. Bandas de Guarda. [17]

En la figura 31 se puede apreciar que al utilizar mayor separación entre los segmentos OFDM, se reduce el número de segmentos que pueden ser transmitidos, debido a esta razón, es utilizada la transmisión concatenada.

### 3.3 TRANSMISIÓN CONCATENADA

En la transmisión concatenada, múltiples transmisiones (de 1 segmento o 3 segmentos) sin banda de guarda pueden ser agrupados para ser transmitidos de manera simultánea, en esta transmisión son agregadas Portadoras Piloto (CP: Carrier Pilot) a la derecha de cada segmento transmitido con el fin de servir de referencia para la sincronización y demodulación en recepción. La figura 32 y 33 representan las portadoras CP agregadas a los segmentos y el número de segmentos posibles en el ancho de banda respectivamente. [17]

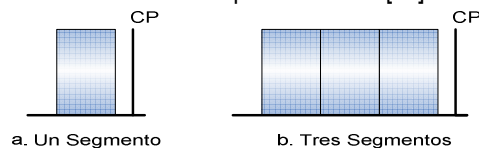
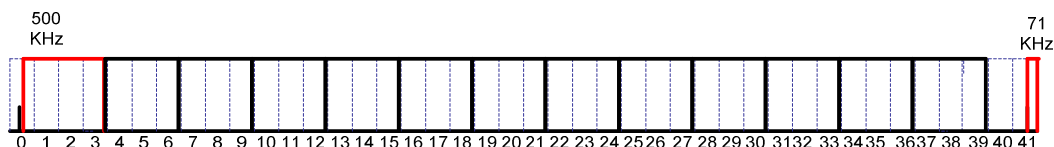


Figura 32. Transmisión de las Portadoras CP. [21]



**Figura 33. Transmisión con Banda de Guarda de 0 MHz. [1]**

En la transmisión concatenada la interferencia intercanal es evitada por el mantenimiento de la ortogonalidad entre las portadoras de los segmentos adyacentes. Los segmentos transmitidos pueden tener parámetros independientes de transmisión de acuerdo al tipo de robustez y tipo de recepción (móvil, portátil o fija). [17]

### 3.4 TRANSMISIÓN EN MODO JERARQUICO

Transmisión en modo jerárquico significa que los parámetros de codificación de canal los cuales son: el esquema de modulación, la tasa de codificación del código convolucional, intervalo de guarda y tiempo de entrelazado pueden ser seleccionados de manera independiente para cada segmento. [17]

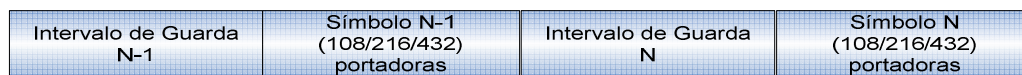
Con la transmisión en modo jerárquico, el estándar ISDB-TSB permite transmitir de manera simultánea un flujo de datos para servicios de recepción fija y otro flujo de datos para recepción móvil o portátil, en este tipo de transmisión cada flujo de datos es modulado con un esquema diferente de acuerdo al tipo de servicio. Por ejemplo para recepción fija se utiliza 64 QAM y en recepción portátil QPSK. Para servicios de recepción fija se transmiten tres segmentos utilizando un mayor ancho de banda permitiendo así transportar datos a mayor velocidad, para recepción portátil se utiliza un solo segmento. [17]

### 3.5 TRANSMISIÓN EN MODO PARCIAL O BANDA ANGOSTA

Este tipo de transmisión es utilizada solo para servicios de recepción portable, donde solo se transmite un solo segmento, el segmento a transmitir se encuentra ubicado en la parte central del ancho de banda. El esquema de modulación para soportar este tipo de servicio debe ser robusto, por esta razón cada portadora OFDM es modulada en QPSK. Por medio de este tipo de transmisión es posible el envío de audio y datos a receptores de banda angosta que solo reciben un segmento OFDM. [17]

## 4. ESTRUCTURA DE LA TRAMA OFDM

El formato de transmisión de la trama BST-OFDM consta de 204 símbolos y un conjunto de portadoras donde la cantidad depende del modo de transmisión, por ejemplo para el modo 1 (108 portadoras), modo 2 (216 portadoras) y modo 3 (432 portadoras), cada una de estas portadoras moduladas en QPSK o en diferentes de QAM, dependiendo de la robustez y capacidad del sistema. En la figura 34 se presenta un conjunto de portadoras que representa un símbolo OFDM.



**Figura 34. Símbolos OFDM e Intervalos de Guarda. [17]**

El formato de la trama de BST-OFDM usando en el modo 1, utiliza 96 portadoras para transmitir datos y 12 portadoras para transmitir información de control, de esta manera se transmiten un total de 108 portadoras, en el modo 2 son utilizadas 192 para datos y 24 para control, y en el modo 3 son utilizadas 384 para datos y las restantes 48 para control. Una trama OFDM está compuesta de varias señales pilotos que acompañan a los segmentos de datos. La figura 35 representa la trama BST-OFDM para una modulación sincrónica (QPSK, 16QAM, 64 QAM). [17]

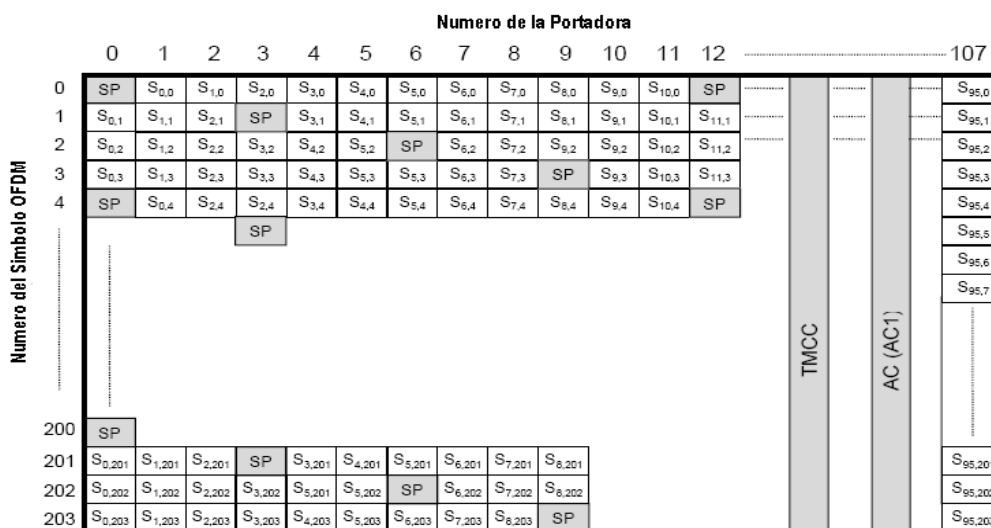


Figura 35. Estructura de la Trama OFDM para Modulación Sincrónica. [1]

$S_{i,j}$  representa el dato complejo en el segmento de datos después de agregar tiempo y frecuencia de entrelazado. Portadoras CP (Continual Pilot), TMCC (Transmission and Multiplexing Configuration Control) y AC (Auxiliary Channel) son continuas y permiten transportar señales de extensión, señales para información de control y señales de información adicional. Las portadoras SP (Scattered Pilots) en modulación sincrónica es insertada cada 12 portadoras y en cada 4 símbolos OFDM. [17]

#### 4.1 SEÑALES DE INFORMACIÓN Y CONTROL TMCC

Una variedad de parámetros de transmisión y recepción tales como transmisión jerárquica y recepción parcial pueden ser configurados en el sistema de radiodifusión sonora digital terrestre ISDB-TSB, este tipo de información es enviada en señales TMCC, las cuales contienen información de control para sincronización y configuración de los segmentos que el receptor debe decodificar. La figura 36 presenta la estructura de una señal TMCC. [17]

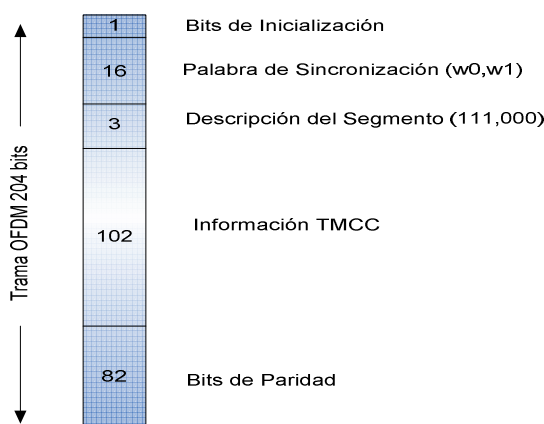


Figura 36. Estructura de una Señal TMCC. [17]

La tabla 14 resume la configuración de los 102 bits de control TMCC y sus funciones. [17] [21]



**Tabla 14. Configuración de los 102 Bits de Control TMCC. [17]**

No de Bits	Información de Control	
2	Descripción del sistema (00 ISDB-T usando 13 segmentos -01 ISDB-TSB usando 1 o 3 segmentos, 10 y 11 reservados)	
4	Indicador de la transmisión de parámetros de conmutación	
1	Bandera de alerta de emergencia de radiodifusión	
1	Configuración de la Información actual	Bandera de identificación del segmento de transmisión
13		Parámetros de transmisión jerarquía A
13		Parámetros de transmisión jerarquía B
13		Parámetros de transmisión jerarquía C (Usado en ISDB-T)
40	Configuración de la Información siguiente	Lo mismo del anterior
3	Sistema de control para banda estrecha ISDB-TSB	
12	Reservados	

#### 4.1.1 Esquema de Modulación

Para identificar el esquema de modulación se toman los primeros 3 bits de la palabra formada de 13 bits de los parámetros de transmisión de la tabla 14. En la tabla 15 se presenta la correspondencia de estos bits con el esquema de modulación. [17]

**Tabla 15. Esquemas de Modulación para las Portadoras OFDM. [1]**

Primeros 3 Bits de los Parámetros de Información	Modulación
000	DQPSK
001	QPSK
010	16QAM
011	64QAM
101-110	Reservados
111	No utilizados

#### 4.1.2 Tasa de Codificación del Código Interno

Para identificación de la tasa de codificación del código interno o convolucional, se toman los siguientes 3 bits de la palabra de 13 bits de los parámetros de transmisión de la tabla 14. La correspondencia de estos bits con la tasa de codificación se presenta en la tabla 16. [17]

**Tabla 16. Tasas de Codificación del Código Interno. [17]**

Siguientes 3 Bits de los Parámetros de Información	Tasa de Codificación
000	1/2
001	2/3
010	3/4
011	5/6
100	7/8
101-110	Reservados
111	No utilizados

### 4.1.3 Longitud del Tiempo de Entrelazado

Para identificar el tiempo de entrelazado utilizado es usado una palabra de 3 bits. Estos corresponden a los 3 bits siguientes de la palabra de 13 bits de los parámetros de transmisión de la tabla 14. En la tabla 17 se presenta la correspondencia de estos bits. [17]

Tabla 17. Tiempo de Entrelazado. [17]

Terceros 3 Bits de los Parámetros de Información	Tiempo de Entrelazado (ms)
000	0 (modo 1), 0 (modo 2), 0 (modo 3)
001	4 (modo 1), 2 (modo 2), 1 (modo 3)
010	8 (modo 1), 4 (modo 2), 2 (modo 3)
011	16 (modo 1), 8 (modo 2), 4 (modo 3)
100	32 (modo 1), 16 (modo 2), 8 (modo 3)
101-110	Reservados
111	No utilizados

### 4.1.4 Número de segmentos

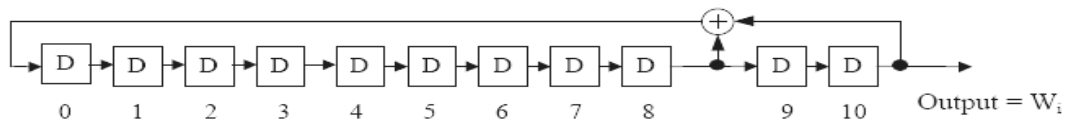
Para indicar el número de segmentos utilizados son asignados 4 bits de la palabra de 13 bits de los parámetros de transmisión de la tabla 14. La correspondencia de estos bits con el número de segmentos a transmitir se presenta en la tabla 18.

Tabla 18. Número de Segmentos Usados

Ultimo 4 Bits de los Parámetros de Información	Número de Segmentos Utilizados
0000	Reservado
0001	1
0010	3
0011-1110	Reservados
1111	No utilizados

## 4.2 PILOTO DISPERSO

Las portadoras Piloto Disperso (SP, Scattered Pilot), son utilizadas para sincronización de la frecuencia, estas son moduladas de acuerdo a una secuencia PRBS, la cual es generada por el circuito de la figura 37.  $i$  de  $W_i$  corresponde al número de la portadora  $i$  del segmento OFDM. [17]



$$g(x) = x^{11} + x^9 + 1$$

Figura 37. Circuito Generador de PRBS. [1]

El circuito PRBS es inicializado de tal manera que el primer bit coincida con la primera portadora del segmento, un nuevo valor es generado por el PRBS en cada portadora utilizada. El valor inicial del circuito generador PRBS es definido para cada segmento, los valores iniciales son presentados en la tabla 19. La correspondencia entre  $W_i$  y la señal modulada es presentada en la tabla 20. [17]

Tabla 19. Valor Inicial del PRBS. [17]

Número de Segmento		Valor Inicial Modo 1	Valor Inicial Modo 2	Valor Inicial Modo 3
Segmento	Subcanales			
11	2,3,4	1111111111	1111111111	1111111111
9	5,6,7	1101100111	0110101110	1101110010
7	8,9,10	0110101110	1101110010	1001010000
5	11,12,13	0100010110	11001000010	0111000100
3	14,15,16	1101110010	1001010000	0010001100
1	17,18,19	00101111010	00001011000	11100110110
0	20,21,22	11001000010	01110001001	0010000101
2	23,24,25	00010000100	00000100100	11100111101
4	26,27,28	1001010000	00100011001	01101010011
6	29,30,31	11110110000	01100111001	10111010010
8	32,33,34	00001011000	11100110110	01100010010
10	35,36,37	10100100111	00101010001	11110100101
12	38,39,40	01110001001	00100001011	00010011100

Tabla 20. Correspondencia Entre  $W_i$  y Señal Modulada. [17]

Valor $W_i$	Amplitud de la Señal Modulada (I, Q)
1	(-4/3,0)
0	(+4/3,0)

### 4.3 PILOTO CONTINUO

Las portadoras Piloto Continuo (CP, Continual Pilot) son utilizadas para estimar el canal de transmisión. Son moduladas de acuerdo con la posición de la portadora (número de la portadora dentro de un segmento) en la que se va a insertar, y también de acuerdo con el valor de  $W_i$ . La correspondencia entre  $W_i$  y la señal modulada es la misma a la presentada en la tabla 20. [17]

### 4.4 AUXILIAR CHANNEL (AC)

Es un canal auxiliar diseñado para transportar información adicional, el cual está compuesto a su vez de dos subcanales AC1 y AC2. Cada AC puede transportar 203 bits por trama, la tasa de transmisión de AC1 y AC2 es presentada en la tabla 21 y 22 respectivamente. [17]

Tabla 21. Tasa de Transmisión para AC1. [17]

Número de Segmentos	Número de Portadoras AC1 (Modos 1/2/3)	Tasa de Transmisión (Kbps)			
		Intervalo de Guarda 1/4	Intervalo de Guarda de 1/8	Intervalo de Guarda de 1/16	Intervalo de Guarda de 1/32
1	(2/4/8)	6.31	7.02	7.43	7.66
3	(6/12/24)	18.95	21.06	22.30	22.97

Tabla 22. Tasa de Transmisión para AC2. [17]

Número de Segmentos	Modo	Número de Portadoras AC2	Tasa de Transmisión (Kbps)			
			Intervalo de Guarda 1/4	Intervalo de Guarda de 1/8	Intervalo de Guarda de 1/16	Intervalo de Guarda de 1/32
	1	4	12.63	14.04	14.86	15.31

1	2	9	14.21	15.79	16.72	17.23
	3	19	15.00	16.67	17.65	18.18

## 5. ESQUEMAS DE MODULACIÓN

En ISDB-TSB los esquema de modulación que pueden ser utilizados son: DQPSK (para Información de control), QPSK, 16QAM y 64QAM. DQPSK es un esquema de modulación diferencial que transmite la diferencia entre un símbolo presente y el siguiente símbolo de información, este tipo de modulación no requiere de una señal de referencia. Los otros esquemas de modulación (QPSK, 16QAM y 64QAM) son modulaciones sincrónicas o coherentes, en estas modulaciones el número de bits transportados por un símbolo se incrementa de dos a cuatro y a seis bits, incrementándose también la tasa de bit y como consecuencia la distancia entre los puntos de la señal se hace más pequeña y la señal se hace menos robusta al ruido. [17] [21]

Antes de llevarse a cabo la modulación se realiza primeramente un ajuste de retardo, entrelazado de bits y establecimiento de correspondencia. El entrelazado de bits produce un retardo de 120 datos complejos ( $i + jQ$ ). Mediante la adición de un retardo adecuado se ajusta el retardo en transmisión y en recepción. El establecimiento de correspondencia se realiza de acuerdo al tipo de modulación, para modulación DQPSK o QPSK, la secuencia de bits en serie a la salida del decodificador interno es convertida en una secuencia en paralelo de 2 bits, con lo cual se distribuyen  $n$  bits de datos del eje I y el eje Q, en el caso de la modulación 16QAM la secuencia de salida del codificador interno es convertida en una secuencia en paralelo de 4 bits y en 64QAM es convertida en una secuencia en paralelo de 6 bits. Después de establecer la correspondencia, se efectúa el entrelazado de bits mediante la inserción de un retardo de 120 bits. [22]

### 5.1 MODULACIÓN DQPSK

El modulador  $\pi/4$ -DQPSK mapea los bits de la señal de entrada en las transiciones de fase de las portadoras OFDM.  $\pi/4$ -DQPSK es un esquema de modulación que no tiene desplazamiento de fase como QPSK y es demodulado de manera diferencial. En la figura 38 se presenta la constelación de  $\pi/4$ -DQPSK. [17]

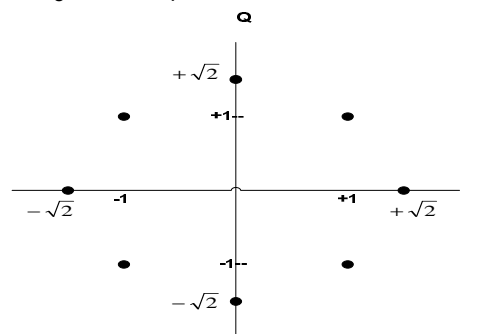


Figura 38. Constelación de  $\pi/4$ -DQPSK [17]

La figura 39 presenta los bloques del modulador DQPSK.

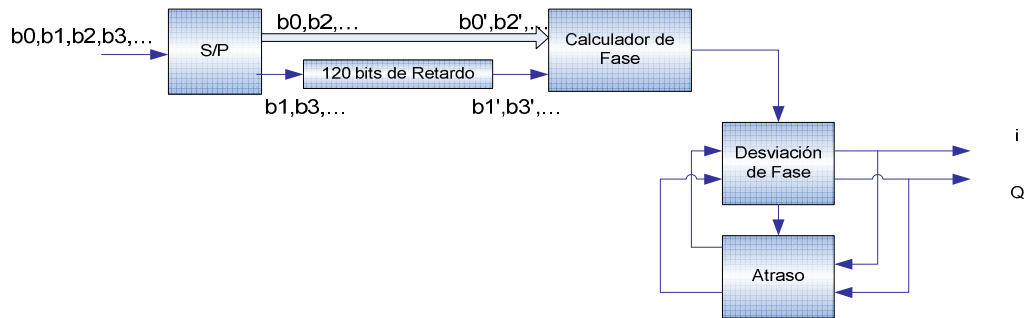


Figura 39. Modulador DQPSK. [17]

## 5.2 MODULACIÓN QPSK

La modulación QPSK, es un esquema de modulación angular y amplitud constante donde la información transportada por la señal transmitida está contenida en la fase de las portadoras OFDM, la fase puede tomar cuatro valores igualmente espaciados, estos son:  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  y  $315^\circ$  que representan los dígitos 00, 10, 11 y 01. En la figura 40 se presenta la constelación QPSK. [1]

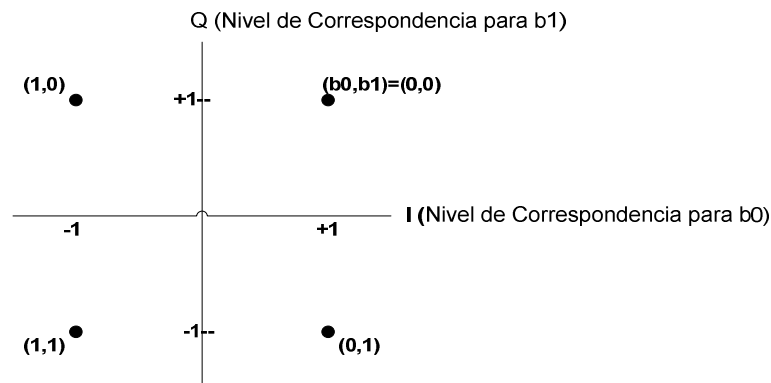


Figura 40. Constelación QPSK [17]

El esquema de modulación QPSK permite brindar servicios de recepción parcial a receptores ONE-SEG los cuales son receptores de banda estrecha que solamente reciben un solo segmento, al igual puede ser utilizado para ofrecer servicios a receptores fijos. La tabla 23 lista la tasa de bits para recepción parcial y la tabla 24 la tasa de bits para recepción fija que se pueden alcanzar con este esquema de modulación. [23]

Tabla 23. Tasa de Bits de Información para Recepción Parcial (Un Segmento). [17]

Número de Segmentos	Código Convolutivo	Tasa de Transmisión (Kbps)			
		Intervalo de Guarda 1/4	Intervalo de Guarda de 1/8	Intervalo de Guarda de 1/16	Intervalo de Guarda de 1/32
QPSK	1/2	312.06	330.42	340.43	280.85
	2/3	<b>416.08</b>	440.56	453.91	374.47
	3/4	468.09	495.63	510.65	421.28
	5/6	520.10	550.70	567.39	468.09
	7/8	546.11	578.23	595.76	491.50

Tabla 24. Tasa de Bits de Información para Recepción Fija (Tres Segmentos). [17]

Número de Segmentos	Código Convolutional	Tasa de Transmisión (Kbps)			
		Intervalo de Guarda de 1/4	Intervalo de Guarda de 1/8	Intervalo de Guarda de 1/16	Intervalo de Guarda de 1/32
QPSK	1/2	842	936	991	1.021
	2/3	1.123	1.248	1.321	1.361
	3/4	1.263	1.404	1.486	1.531
	5/6	1.404	1.560	1.652	1.702
	7/8	1.474	1.638	1.734	1.787

La figura 41 presenta los bloques del modulador QPSK.

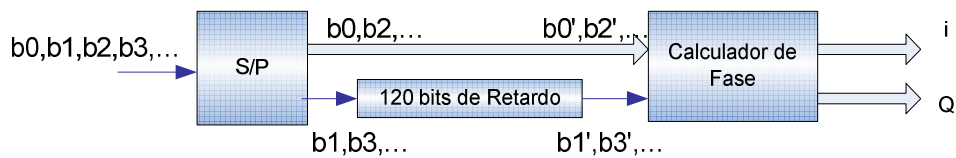


Figura 41. Modulador QPSK. [17]

### 5.3 MODULACIÓN QAM

En la modulación QAM la información está contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida, se basa en la transmisión de dos mensajes independientes por un único camino, esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada 90° entre uno y otro mensaje, lo cual supone la formación de dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, con lo cual se mejora la eficiencia del ancho de banda. [17] [24]

En un transmisor QAM los datos serie de entrada, generados a una velocidad  $R_b$  (bps) se agrupan mediante un convertor serial a paralelo, formando palabras de  $J$  bits que pasaran al modulo de mapeo, este modulo se encarga de seleccionar un símbolo de entre los  $M = 2^J$  ( $J=4$  16QAM,  $J=6$  64QAM) posibles símbolos, ubicados sobre un espacio bidimensional. A la salida, los símbolos se producen a una velocidad de  $f_s = R_b / J$  símbolos por segundo o baudios. Los símbolos a transmitir son números complejos que se representan con la siguiente expresión  $c_k = a_k + jb_k$ . Así, se forma el alfabeto o conjunto de números complejos a transmitir. Este alfabeto se puede representar en el plano complejo, formando la constelación de la modulación. Las figuras 42 y 43 representan las constelaciones de las modulaciones 16-QAM y 64-QAM respectivamente. En la modulación 16QAM cada símbolo de la constelación es formado a partir de 4 bits de información, lográndose obtener 16 símbolos, en la modulación 64QAM 6 bits de información logran obtener un total de 64 símbolos. [17] [24]

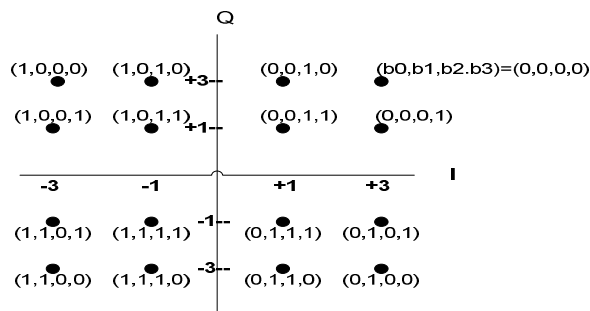


Figura 42. Constelación 16-QAM [17]

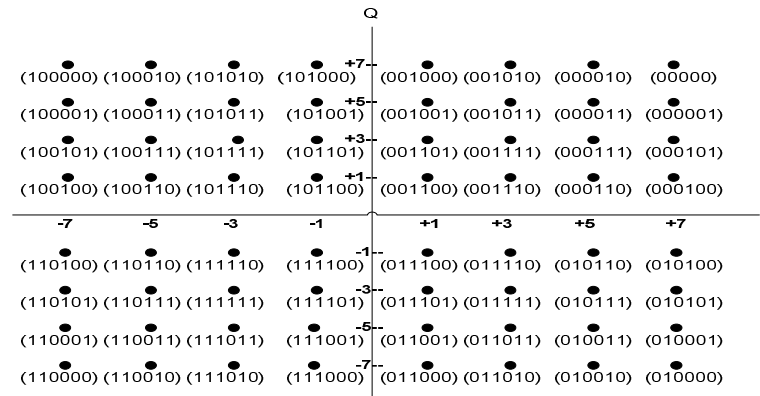


Figura 43. Constelación 64-QAM [17]

El ancho de banda ocupado por la señal a transmitir teniendo en cuenta que la señal se encuentra trasladada en frecuencia se obtiene a partir de la ecuación (3): [17] [24]

$$B_T = 2 * f_s / 2 * (1 + \rho) \quad (3)$$

De manera que fijado un ancho de banda  $B_T$ , la máxima velocidad binaria que podrá conseguirse para el canal esta dada por la ecuación (4):

$$R = B_T * J / (1 + \rho) = B_T * \log_2 M / (1 + \rho) \text{ bits / seg} \quad (4)$$

Y la eficiencia espectral obtenida con la modulación está dada por la ecuación (5):

$$\eta = R / B_T = f_s * J / B_T = J / (1 + \rho) = \log_2 M / (1 + \rho) \text{ bits / seg / Hz} \quad (5)$$

Donde  $\rho$  puede tomar los siguientes valores:  $\rho = 0.1, 0.25, 0.5, 1$ . La máxima eficiencia espectral se alcanza para el menor valor de  $\rho$  combinado con el mayor número de estado de M ( $n^\circ$  estados). Aumentando el número de símbolos de la constelación, la velocidad de transmisión conseguida es mayor.

En ISDB-TSB los esquemas de modulación 16QAM y 64QAM pueden alcanzar las velocidades de transmisión presentadas en la tabla 25 y 26 respectivamente. [17]

Tabla 25. Tasa de Bits de Información para Recepción Parcial (Un Segmento). [17]

Modulación de la Portadora	Código Convolutivo	Transmisión de Información de Bits (Kbps)			
		Intervalo de Guarda 1/4	Intervalo de Guarda 1/8	Intervalo de Guarda 1/16	Intervalo de Guarda 1/4
16QAM	1/2	561.71	624.13	660.84	680.87
	2/3	748.95	832.17	881.12	907.82
	3/4	842.57	936.19	991.26	1021.30
	5/6	936.19	1040.21	1101.40	1134.78
	7/8	983.00	1092.22	1156.47	1191.52
64QAM	1/2	842.57	936.19	991.26	1021.30
	2/3	1123.43	1248.26	1321.68	1361.74
	3/4	1263.86	1404.29	1486.90	1531.95
	5/6	1404.29	1560.32	1652.11	1702.17
	7/8	1474.50	1638.34	1734.71	1787.28

Tabla 26. Tasa de Bits de Información para Recepción Fija (Tres Segmentos). [17]

Modulación de la Portadora	Código Convolutional	Transmisión de Información de Bits (Kbps)			
		Intervalo de Guarda 1/4	Intervalo de Guarda 1/8	Intervalo de Guarda 1/16	Intervalo de Guarda 1/4
16QAM	1/2	1685	1872	1982	2042
	2/3	2246	2496	2643	2723
	3/4	2527	2808	2973	3063
	5/6	2808	3120	3304	3404
	7/8	2949	3276	3469	3574
64QAM	1/2	2527	2808	2973	3063
	2/3	3370	3744	3965	4085
	3/4	3791	4212	4460	4595
	5/6	4212	4680	4956	5106
	7/8	4.423	4.915	5.204	5.361

En la figura 44 y 45 se presenta el modulador 16QAM y 64 QAM respectivamente.

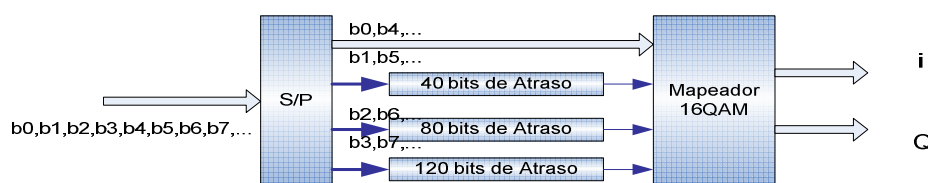


Figura 44. Modulador 16QAM. [17]

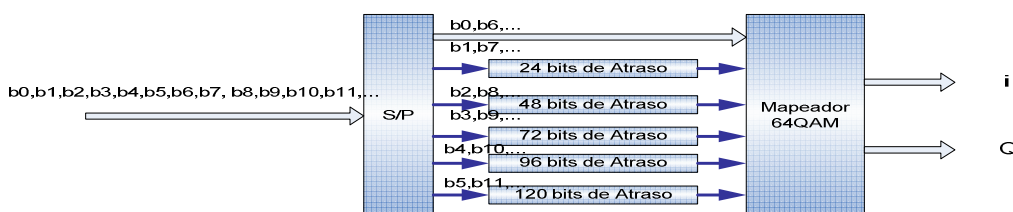


Figura 45. Modulador 64QAM. [1]

#### 5.4 AJUSTE DE RETARDO

El tiempo de retardo varía dependiendo del esquema de modulación de la portadora, es decir, dependiendo del número de bits comprendido en el símbolo de la portadora. La diferencia en el tiempo de retardo se debe corregir obligatoriamente en el lado de la entrada del bit de entrelazado a través de la adición de un valor de ajuste de atraso de acuerdo con la tabla 27. [17]

Tabla 27. Ajuste del Valor de Atraso Requerido Como Resultado del Bit Entrelazado. [17]

Modulación	Valor del Ajuste de Atraso (Número de Bits)		
	Modo 1	Modo 2	Modo 3
QPSK	384xN <sup>9</sup> -240	768xN-240	1536xN-240
16QAM	768xN-480	1536xN-480	3072xN-480
64QAM	1152xN-270	2304xN-720	4608xN-720

<sup>9</sup> N representa el número de segmentos



## 6. MODOS DE TRANSMISIÓN

En ISDB-TSB son posibles tres modos de transmisión los cuales permiten configurar diferentes parámetros de transmisión como lo son el esquema de modulación, tasa de codificación del código convolucional, tiempo de entrelazado y intervalo de guarda. El modo uno consiste de 108 portadoras, mientras que los modos 2 y 3 se caracterizan por tener 2 y 4 veces respectivamente el número de portadoras del modo 1.

Los tres modos de transmisión con diferentes parámetros de configuración permiten brindar servicios de recepción fija, móvil y portable, los cuales pueden ser transmitidos a diferentes tasas de transmisión. De acuerdo a las intenciones del servicio se pueden configurar los parámetros de transmisión permitiendo de esta manera brindar mayor robustez a la señal transmitida. Los modos de transmisión tienen igual número de símbolos por trama (204), pero la longitud del símbolo efectivo en cada modo es diferente, la longitud del símbolo efectivo para el modo 1 es 252 micro segundos, para el modo 2 es de 504 micro segundos, mientras que para el modo 3 es de 1008 micro segundos.

El modo 3 de transmisión por tener la mayor longitud del símbolo efectivo presenta mayor robustez frente a la interferencia Inter Símbolo (ISI) causada por la propagación multitrayecto, permitiendo de esta manera considerar grandes distancias para la transmisión, utilizando este modo de transmisión junto con un tipo de modulación QAM permite brindar servicios de radiodifusión sonora (sonido/datos) con amplia cobertura. [25]

Los radiodifusores en Japón considerando grandes distancias para la transmisión, han configurado este modo de transmisión, en conjunto con un intervalo de guarda de 1/8 el cual implica longitud del intervalo de guarda de 126 micro segundos, esquema de modulación 64QAM y tasa de codificación del código interno de 3/4 para ofrecer programas de alta calidad los cuales apuntan a receptores fijos. Los parámetros de transmisión para uno y tres segmentos son presentados en las tablas 28 y 29 respectivamente. [25]

**Tabla 28. Parámetros de Transmisión para un Segmento. [17]**

Modo	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Ancho de banda del Segmento	6000/ 14 = 428.57		
Ancho de banda	6000/14 (KHz)+250/63 (KHz)= 432.5Khz	6000/14 (KHz)+125/63 (KHz)= 430.5Khz	6000/14 (KHz)+125/126 (KHz)= 429.5Khz
Espaciamiento de la Portadora	250/63= 3.968 KHz	125/63 = 1.984 KHz	125/126= 0.992 KHz
Número de Portadoras	108	216	432
Modulación Portadora	QPSK, 16QMA, 64QAM, DQPSK		
Símbolos por Trama	204		
Longitud del Símbolo Efectivo	252us	504 us	1,008 ms
Intervalo de Guarda	63 μs (1/4), 31.5 μs (1/8), 15.75 μs (1/16), 7.875 μs (1/32)	126 μs (1/4), 63 μs (1/8), 31.5 μs (1/16), 15.75 μs (1/32)	252 μs (1/4), 126 μs (1/8), 63 μs (1/16), 31.5 μs (1/32)
longitud de la Trama	64.26 ms (1/4), 57.834 ms (1/8), 54.621 ms (1/16), 53.0145 ms (1/32)	128.52 ms (1/4), 115.668 ms (1/8), 109.242 ms (1/16), 106.029 ms (1/32)	257.04 ms (1/4), 231.336 ms (1/8), 218.484 ms (1/16), 212.058 ms (1/32)
Frecuencia FFT	64/63=1.0158 Mhz		
Longitud del Entrelazado	0,0.1,0.2,0.4 y 0.8		
Codificación Interna	Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)		
Código Externo	RS (204,188)		

Tabla 29. Parámetros de Transmisión para Tres Segmentos. [17]

Modo	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Ancho de banda del Segmento	6000/ 14 = 428.57		
Ancho de banda	6000/14 (KHz) x 3 + 250/63 (KHz)= 1.289MHz	6000/14 (KHz) x 3 + 125/63 (KHz)= 1.287 MHz	6000/14 (KHz) x 3 + 125/126 (KHz)= 1.286 MHz
Espaciamiento de la Portadora	250/63= 3.968 KHz	125/63 = 1.984 KHz	125/126= 0.992 KHz
Número de Portadoras	108x3+1=325	216x3+1=649	433x3+1=1297
Modulación Portadora	QPSK, 16QMA, 64QAM, DQPSK		
Símbolos por Trama	204		
Longitud del Símbolo Efectivo	252us	504 us	1,008 ms
Intervalo de Guarda	63 μs (1/4), 31.5 μs (1/8), 15.75 μs (1/16), 7.875 μs (1/32)	126 μs (1/4), 63 μs (1/8), 31.5 μs (1/16), 15.75 μs (1/32)	252 μs (1/4), 126 μs (1/8), 63 μs (1/16), 31.5 μs (1/32)
longitud de la Trama	64.26 ms (1/4), 57.834 ms (1/8), 54.621 ms (1/16), 53.0145 ms (1/32)	128.52 ms (1/4) 115.668 ms (1/8), 109.242 ms (1/16), 106.029 ms (1/32)	257.04 ms (1/4), 231.336 ms (1/8), 218.484 ms (1/16), 212.058 ms (1/32)
Frecuencia FFT	128/63=2.0317 MHz		
Codificación Interna	Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)		
Código Externo	RS (204,188)		

## 7. RELACIÓN C/N Vs CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN

El esquema de transmisión del sistema ISDB-TSB ha sido diseñado para proveer alta calidad en la radiodifusión de sonido y datos no solamente a receptores fijos si no también a receptores móviles y portátiles. En la figura 46 se presenta la tasa de bits de información alcanzada con diferentes esquemas de modulación y un intervalo de guarda de 1/8. [21]

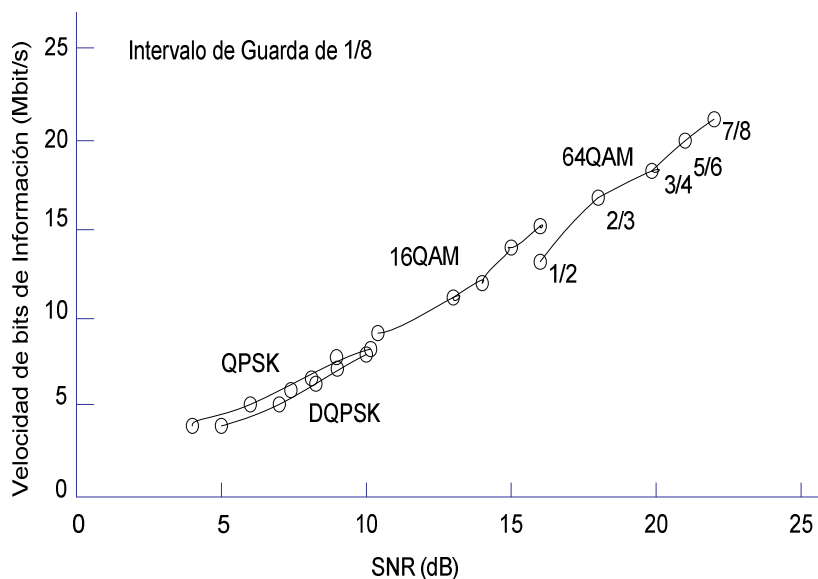


Figura 46. Relación SNR vs Capacidad de Transmisión. [21]

## 8. SISTEMA DE RECEPCIÓN

El diagrama de bloques de la figura 47 representa el modelo de recepción del sistema de radiodifusión sonora digital terrestre ISDB-TSB.

### 8.1 RECEPCIÓN PARCIAL

Se trata de un caso especial de la transmisión jerárquica, en que la codificación de canal y entrelazado en frecuencia de una señal es completamente autocontenido dentro del segmento central de la banda de transmisión. Este segmento puede ser recibido y decodificado independientemente de los otros segmentos transmitidos, proporcionando así una solución eficiente para la transmisión a terminales portátiles. El receptor correspondiente es conocido como receptor de un segmento o de banda estrecha, por lo general son terminales portátiles como teléfonos celulares, agendas electrónicas y computadores. [26]

### 8.2 RECEPCIÓN MOVIL

La recepción móvil se refiere a recepción de alta calidad en radios digitales a bordo de vehículos en movimiento dentro de ciertos límites de velocidad.

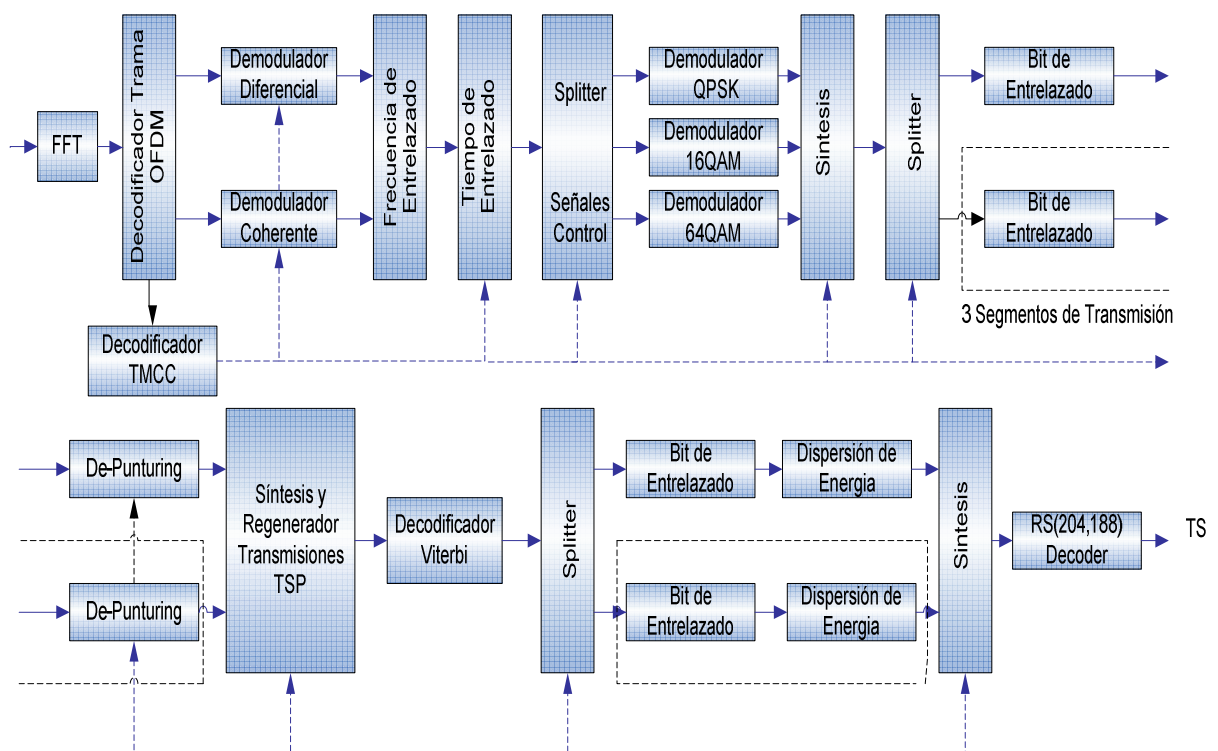


Figura 47. Diagrama de Bloques del Sistema de Recepción ISDB-TSB. [17]

## ANEXO E. INTERFAZ DE AUDIO DIGITAL AES/EBU (AES3)

AES/EBU es una interfaz de audio digital para los estudios de radiodifusión conocida también como AES3, fue desarrollada por Audio Engeneering Society (AES) y la Unión Europea de Radiodifusión (EBU). Esta interfaz está destinada a ser utilizada a 44.1 KHz y 48 KHz, esta ultima la frecuencia de muestreo recomendada para los estudios de radiodifusión. AES/EBU nace con el objetivo de transmitir señales de audio a largas distancias con una mínima interferencia, capaz de transportar hasta 24 bits de datos de audio, con la posibilidad de datos auxiliares para sincronización. La interfaz puede hacer uso de tres tipos de conductores los cuales están definidos por la norma IEC 60958 (Intenational Electrotechnical Commission). El primero es denominado IEC 60958 tipo 1 equilibrado que consta de 3 conductores de 110 Ohm con par trenzado y conector XLR, el segundo es IEC 60958 tipo 2 no balanceado el cual consta de 2 conductores de 50 o 75 ohm en cable coaxial y conector BNC o RCA, y el tercero es IEC 60958 tipo 3 óptico conector de fibra óptica. [27]

### 1. ESTRUCTURA DE AES/EBU

La interfaz AES/EBU consta de 3 tipos de información, las cuales son: datos de audio, datos de información de señal y datos auxiliares. La estructura de la interfaz AES/EBU se compone de una trama la cual se subdivide en dos subtrama, una para el canal de audio derecho y otra para el canal de audio izquierdo, estas transportan datos de audio digital. Una subtrama se compone de 32 intervalos de tiempo numerados del cero (0) al 31. La máxima palabra de datos de audio digital transportada por una subtrama es de 24 bits, los restantes bits se reservan para información de control y sincronización. En la figura 48 se presenta el formato de una subtrama. [27]



Figura 48. Formato Subtrama. [27]

En una subtrama, el preámbulo es utilizado para realizar la sincronización, “V” representa el bit de validez, el cual indica si los bits de la muestra de audio de la subtrama son apropiados para efectuar la conversión hacia una señal de audio analógica, “U” bits de datos de usuario, “C” bits de estado del canal, los cuales llevan información asociada con cada canal de audio, “P” bits de paridad, estos permiten la detección de un número impar de errores que se puedan presentar debido a un funcionamiento incorrecto de la interfaz, “AUX” bits de muestras auxiliares los cuales transportan información auxiliar. [27]

Las tramas se unen en grupos de 192 tramas para formar los bloques de audio, el comienzo de un bloque se indica mediante el preámbulo. En la tabla 30 se observa la formación de los bloques. [27]

Tabla 30. Formación de Bloques

Cantidad de bits	Cantidad Subtrama	Cantidad Tramas	Cantidad de Bloques
32 bits	1 subtrama		
64 bits	2 subtrama	1 trama	
12288 bits	384 subtrama	192 tramas	1 bloque
3072000 bits	96000 subtrama	48000 tramas	250 bloques

## 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA SUBTRAMA

A continuación se describe los bits que conforman una subtrama. [27]

- Intervalo de tiempo 0-3 (preámbulo): llevan uno de los tres preámbulos permitidos, estos se encargan del control y la sincronización. El preámbulo ayuda a identificar la subtrama y su ubicación dentro del bloque de audio. Los preámbulos son X, Y y Z:

"X" 11100010	00011101	subtrama 1
"Y" 11100100	00011011	subtrama 2
"Z" 11101000	00010111	subtrama 1 + comienzo de bloque

- Intervalo de tiempo 4 al 27 (palabra de muestra de audio): llevan la palabra de muestra de audio en representación lineal con complemento a 2. El intervalo 27 lleva el bit MSB. Cuando se utiliza una codificación de 24 bits el LSB se encuentra en el intervalo 4. Para una gama de codificación de 20 bits los intervalos 8 – 27 llevan la palabra de audio y el intervalo 4 – 7 es usado para otras aplicaciones. Estos últimos son denominados bits de muestras auxiliares.
- Intervalo de tiempo 28 (bit de validez): lleva el bit de validez asociado a la palabra de muestra de audio; dicho bit será (0) lógico si la palabra de muestra de audio es adecuada para la conversión en una señal de audio analógica, y será (1) lógico si no lo es.
- Intervalo de tiempo 29 (bits de datos de usuario): lleva un bit del canal de datos de usuario asociado al canal de audio transmitido en la misma subtrama.
- Intervalo de tiempo 30 (bit de estado del canal): lleva un bit con información sobre el estado del canal asociado al canal de audio transmitido en la misma subtrama.
- Intervalo de tiempo 31 (bit de paridad): lleva un bit de paridad para detección de error. Permite la detección de un número impar de errores los cuales son debidos a fallos de la interfaz.

## 1.2 FORMATO DE LA TRAMA

La primera trama empieza con el preámbulo X, sin embargo cada 192 subtrama empieza con el preámbulo Z. La segunda subtrama empieza con el preámbulo Y. En la figura 49 se presenta el formato de la trama AES/EBU. [27]

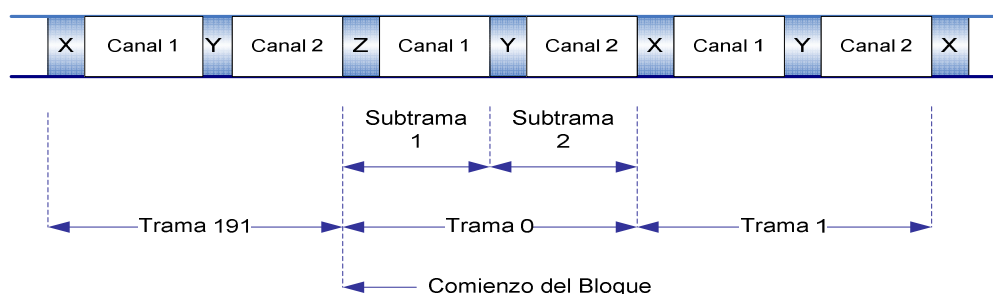


Figura 49. Formato de la Trama AES/EBU. [27]

Los modos de transmisión permitido en AES/EBU se describen mediante los bits 0 – 3 del octeto 1 del estado del canal, estos modos son: bicanal, estéreo, monoaural, primario/secundario. En el modo bicanal las muestras de ambos canales se transmiten en subtrama consecutivas, en el modo estéreo el canal izquierdo va en la subtrama 1 y el canal derecho en la subtrama 2, en el modo mono la palabra de audio muestreada se coloca en una subtrama. El modo primario/secundario está definido para algunas aplicaciones que requieren dos canales (primario y secundario). El primario se coloca en la trama 1 y el secundario en la trama 2. [27]

## ANEXO F. POTENCIA DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL TERRESTRE ISDB-TSB

El objetivo del presente anexo es calcular la potencia de transmisión del sistema ISDB-TSB para alcanzar la misma cobertura lograda por el sistema de radiodifusión sonora analógico en FM, esto con el fin de comparar la potencia de transmisión de cada sistema de radiodifusión sonora. Lo anterior para comprobar una de las ventajas de la radiodifusión sonora digital terrestre, la cual es, ofrecer la misma cobertura o superior al del sistema de radiodifusión sonora analógico con la utilización de menor potencia de transmisión. Para esto se considera el sistema de radiodifusión sonora de Unicauca Estéreo.

### 1. CALCULO DE COBERTURA

La cobertura del servicio de radiodifusión sonora analógico en FM de Unicauca Estéreo de acuerdo a estudio técnico realizado por esta estación es de 18,860 Km, este alcance del servicio es logrado con la potencia de transmisión de 5 Kw, las características de la antena, las condiciones geográficas del municipio de Popayán, la tecnología de radiodifusión utilizada, la altura del sistema de transmisión, entre otros. De acuerdo a lo anterior se debe encontrar la potencia de transmisión del sistema digital que permita alcanzar un área de servicio similar a 18,860 Km.

Considerando que la señal digital ISDB-TSB está 22 dB por debajo de la señal analógica en FM, se tiene lo siguiente:

$$P_{tx_{ISDB-TSB}} (dBw) = P_{TXactual} (dBw) - 22dB \quad (6)$$

$$P_{TXactual} (w) = 5000w \quad (6.1)$$

$$P_{TXactual} (dBw) = 36.99dBw \quad (6.2)$$

$$P_{tx_{ISDB-TSB}} (dBw) = 36.99dBw - 22dB \quad (6.3)$$

$$P_{tx_{ISDB-TSB}} (dBw) = 14.99dBw \quad (6.4)$$

$$P_{tx_{ISDB-TSB}} (dBw) = 14.99dBw = 31.55w \quad (6.5)$$

De acuerdo al resultado de la ecuación 6.5 con una potencia de 14.99 dBw (31.55 w), se lograría la misma cobertura del servicio alcanzado con una potencia de transmisión de 5 Kw. Dado a que este valor es teórico determinado a partir de la consideración que la señal digital esta 22 dB por debajo de la señal analógica, se determina entonces la potencia de transmisión del sistema ISDB-TSB de acuerdo a la configuración de los parámetros de transmisión y parámetros técnicos del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo. Primeramente se determinara la altura del sistema de transmisión de Unicauca Estéreo, seguidamente la potencia de transmisión del sistema digital.

- **Calculo de la Altura Sobre el Nivel del Mar para el Centro de Radiación de la Antena (HSI)**

Se debe garantizar que la altura sobre el nivel del mar del centro de radiación no exceda el valor de la altura media asignada al municipio de Popayán más la altura máxima h asignada en el plan técnico de radiodifusión sonora en FM, se considera este plan dado que hasta el momento no existe un plan de radiodifusión sonora digital terrestre que permita ser utilizado. Para esto se utiliza la ecuación 7.

$$H_{max} = H_{promedio} + h \quad (7)$$

$H_{promedio}$  : Altura media del municipio.

$h$  : Valor asignado por el ministerio (120 m), se encuentra en el plan técnico.

$$H_{max} = 1738mts + 120mts \quad (7.1)$$

$$H_{msx} = 1858mts \quad (7.2)$$

El valor obtenido a partir de la ecuación (7.2) es la altura máxima sobre el nivel del mar a la cual se puede ubicar la antena de transmisión, en este punto es necesario tener en cuenta la longitud media de la antena.

Para calcular el HSI para la antena se aplica la ecuación 8:

$$HSI = h_{TX} + h_{torre} - \frac{L_a}{2} \quad (8)$$

$h_{TX}$  : Altura del sitio de transmisión

$h_{torre}$  : Altura de la torre

$\frac{L_a}{2}$  : Distancia vertical, dada por el fabricante.

Para el siguiente análisis se va a trabajar con una frecuencia que este dentro del rango de 174 MHz – 216 MHz, banda de operación del sistema de radiodifusión sonora digital terrestre ISDB-TSB, de acuerdo a esto se toma como base el valor de 200Mhz, el cual es un valor intermedio en esta banda de frecuencia.

$$L_a = \frac{3}{4} \lambda \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{300}{200 MHz} \quad (9.1)$$

$$\lambda = 1.5mts \quad (9.2)$$

$$L_a = \frac{3}{4} \lambda \quad (9.3)$$

$$L_a = \frac{3}{4} (1,5mts) \quad (9.4)$$

$$L_a = 1,125mts \quad (9.5)$$

Ahora se calcula HSI:

El sitio de transmisión de Unicauca Estéreo se encuentra ubicado a las afueras del perímetro urbano de la ciudad de Popayán, más exactamente en la finca la Rejoya la cual según a su ubicación geográfica tiene una altura de 1794 msnm.

$$HSI = 1794mts + 50mts - 0,5625mts \quad (8.1)$$

$$HSI = 1843.4375mts \quad (8.2)$$

Después de realizar los cálculos se puede observar que el valor de HSI obtenido a partir de la ecuación (8.2) es menor que  $H_{max}$  de la ecuación (7.2) cumpliendo de esta forma los requisitos exigidos.

- **Calculo de la Potencia del Sistema Digital**

Para determinar la potencia de transmisión del sistema digital se tiene en cuenta los siguientes datos:

- ✓ Figura de ruido: 5 dB.
- ✓ C/N para la tasa de codificación de 3/4, modulación 64QAM: 20.1 dB.
- ✓ Ganancia de la antena: 0 dB ( Se toma como referencia la ganancia de la antena del sistema analógico)

- ✓ Longitud de la línea de transmisión: 65 metros (altura de la torre + longitud de la torre a la caseta), se considera la misma distancia a la cual está colocada la antena del sistema analógico con el fin de considerar condiciones iguales de instalación y pérdidas.
- ✓ Atenuación de la línea de transmisión: 2 dB. Se asume la máxima permitida por ISDB-TSB
- ✓ Atenuación de los conectores: 0,2 dB
- ✓ Ancho de banda de transmisión: 1.29 MHz
- ✓ BER:  $10^{-4}$

Primeramente se encuentran las pérdidas de espacio libre ( $L_{fs}$ ), la cual se puede determinar con la ecuación (9):

$$L_{fs} = 32,45 + 20 \log(f [MHz]) + 20 \log(d [km]) \quad (9)$$

Tomando como referencia la frecuencia de 200 MHz y la cobertura actual del servicio de radiodifusión sonora analógico, la cual se desea igualar con el sistema digital (18,86 Km), se reemplaza en la ecuación (9).

$$L_{fs} = 32,45 + 20 \log(200 MHz) + 20 \log(18,860 Km) \quad (9.1)$$

$$L_{fs} = 103,98 dB \quad (9.2)$$

Ahora se determina la relación  $E_b/N_0$  (Energía por bit/ Densidad de Ruido).  $E_b$  es la energía de bit y  $N_0$  la densidad de potencia de ruido térmico sobre un ancho de banda de 1 Hz.

$$E_b (dBw) = P_{rx} (dBw) - 10 \log(BR) \quad (10)$$

$$N_0 (dBw) = -204 dBw + NF (dB) \quad (11)$$

Debido a que la técnica de modulación influye de manera significativa en el establecimiento de niveles de umbrales requeridos en la relación  $E_b/N_0$  para un desempeño aceptable, se determina a continuación SER (Symbol Error Rate).

$$SER = BER \times \log_2 M \quad (12)$$

Donde M, es el número de estados de la modulación. (M= 64 => 64QAM)

$$SER = 10^{-4} \times \log_2 64 \quad (12.1)$$

$$SER = 10^{-4} \times \frac{\ln 64}{\ln 2} \quad (12.2)$$

$$SER = 6 \times 10^{-4} \quad (12.3)$$

Con el valor de la SER se obtiene el valor teórico  $E_b/N_0$  del monograma de la figura 50.



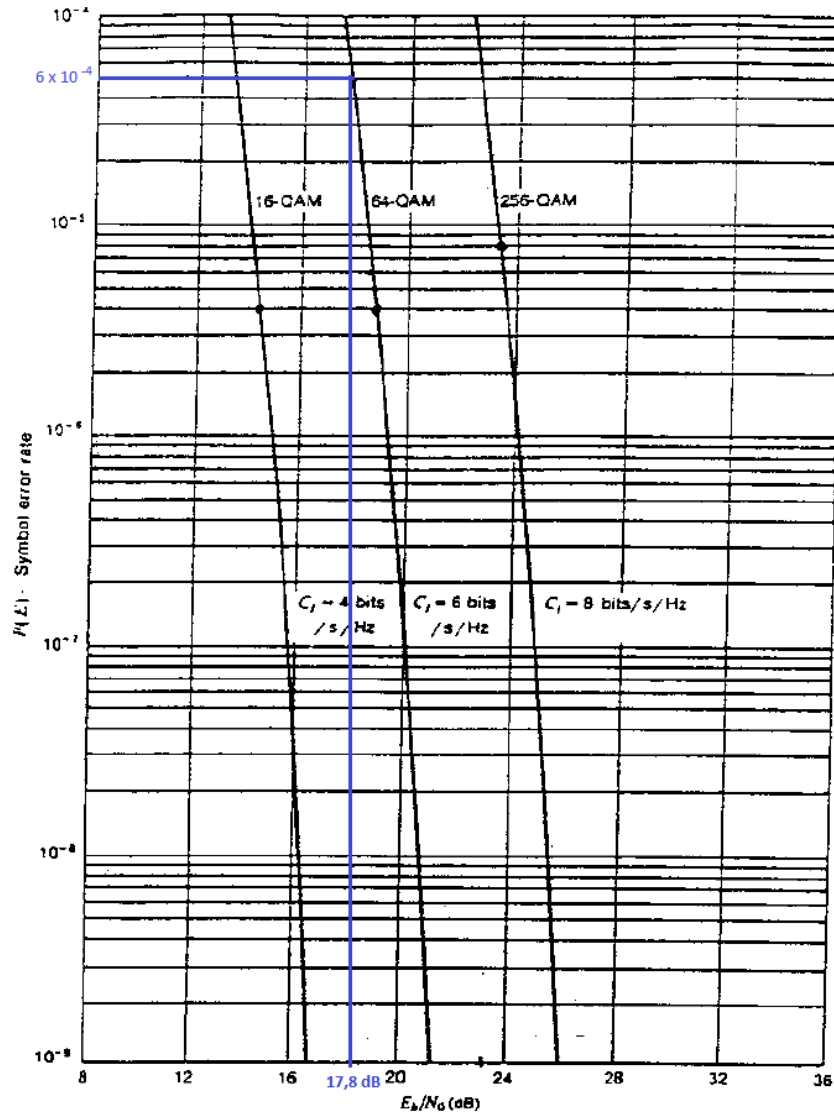


Figura 50. Curva de Desempeño para las Modulaciones M-QAM

$$\frac{E_b}{N_0}(\text{teórico})=17,8\text{dB} \quad (13)$$

Para el valor práctico de  $E_b/N_0$ , es necesario agregar 2dB al valor teórico.

$$\frac{E_b}{N_0}(\text{práctico})=19,8\text{dB} \quad (13.1)$$

Reemplazando el valor de la figura de ruido en la ecuación (10), se encuentra el valor de  $N_0$ :

$$N_0(\text{dbw})= -204 \text{ dBw} + 5\text{dB} \quad (11.1)$$

$$N_0=-199\text{dB} \quad (11.2)$$

$$E_b(\text{dbW})=19,8+(-199\text{dB}) \quad (11.3)$$

$$E_b=-179,2\text{dBw} \quad (11.4)$$

Con los anteriores valores se halla la potencia de recepción, despejando  $P_{rx}$  de la ecuación (10), se tiene:

$$P_{rx} (dBw) = E_b + 10 \log(BR) \quad (10.1)$$

Considerando una tasa de transmisión de 4212 Kbps, valor que puede ser alcanzado seleccionando los siguientes parámetros de transmisión: modulación 64QAM, intervalo de guarda 1/8, tasa de codificación 3/4 (para mayores detalles remítase a la tabla 26 del anexo D).

$$P_{rx} = -179,2dB + 10 \log(4212 \times 10^3) \quad (10.2)$$

$$P_{rx} = -112,9dBw \quad (10.3)$$

$$P_{rx} = -92,96,9dBm \quad (10.4)$$

Dado a que el valor de potencia determinado por la ecuación 10.4, es mucho menor al valor de potencia mínimo utilizable en recepción para el servicio fijo con modulación 64QAM que es -77,6 dBm, el cual garantiza que el receptor puede percibir la señal del sistema digital, se determina entonces la potencia de transmisión necesaria para obtener un nivel de potencia superior -77.6 dBm en recepción a la distancia de 18.860 Km. Para esto se considera un nivel de potencia (-63.6 dBm => -93.6dbw) para garantizar mayor potencia en recepción a la distancia de 18.860 Km, para ello se utiliza la ecuación (14).

$$P_{TX} = P_{RX} + 2(L_{TX}) - 2(Gant) + Lfs \quad (14)$$

Reemplazando las ecuaciones (9.2) y (10.3) en la ecuación 14 y considerando una potencia en recepción de -67.6 dBm, potencia de recepción encima del valor mínimo se obtiene:

$$P_{TX} = -93,6dBw + 2(2dB) - 2(0dB) + 103,98dB \quad (14.1)$$

$$P_{TX} = 14,38dBw \quad (14.2)$$

$$P_{TX} = 27,41watts \quad (14.3)$$

De acuerdo con el valor obtenido, la potencia de transmisión necesaria en el sistema ISB-TSB para cubrir la misma área de cobertura del servicio de radiodifusión sonora analógico es aproximadamente 27.41 Watts, mucho menor que la potencia de 5 Kw utilizada por el sistema analógico en FM.

La metodología para la realización de este anexo fue tomada del libro "Fundamentos de Radiopropagación para Onda Terrestre y Línea de vista. Escrito por Ing. Harold A. Romo R.

## ANEXO G. SIMULACIÓN DE COBERTURA UTILIZANDO ICS TELECOM

El objetivo de este anexo, es representar gráficamente la cobertura de un sistema de radiodifusión sonora digital terrestre basado en ISDB-TSB, realizada con la herramienta ICS TELECOM la cual permite la realización del análisis de cobertura con la utilización de tres modelos de propagación los cuales son: modelo de espacio libre, geometría de difracción y atenuación subtrazado, la utilización de esta herramienta fue posible gracias a contacto con la empresa TEST AMERICA la cual es especializada en servicios de ingeniería para la industria de telecomunicaciones y radiocomunicaciones, y agradecemos la facilidad para la utilización de esta herramienta de simulación.

### 1. COBERTURA DE UNICAUCA ESTÉREO

Para obtener una representación grafica de la cobertura del actual servicio de radiodifusión sonora en FM de Unicauca Estéreo, primeramente es necesario configurar los parámetros de transmisión utilizados por esta emisora. En la figura 51 se presenta la configuración de los parámetros técnicos utilizados por Unicauca Estéreo para ofrecer el servicio de radiodifusión sonora en FM, la figura 52 representa la cobertura del servicio en FM de acuerdo a los parámetros técnicos de Unicauca Estéreo.

The screenshot displays the 'Tx/Rx parameters: 8 Unicau180' window in the ICS TELECOM software. The 'General' tab is selected, showing various configuration fields. The 'Type' is set to 'Tx/Rx A', 'Signal' to 'FM stereo', 'Status' to 'Unknown (0)', and 'Frequency plan' to 'No 8'. The 'Tx/Rx' section contains fields for 'Nominal power (W)' (5000), 'Dynamic (dB)' (0), 'Tx ant gain (dBd)' (0.00), 'Rx ant gain (dBd)' (0.00), 'Losses (dB)' (tx: 0.99, rx: 0.00), 'Tx add losses (dB)' (2.00), 'E.R.P (W)' (2511.713), 'Frequency (MHz)' (104.10000), 'Antenna height (m)' (48.00), 'Tx bandwidth (kHz)' (200.00), and 'Rx bandwidth (kHz)' (200.00). The 'Coverage' section shows 'ITU370' selected with 'delete' and 'info' buttons, and radio buttons for 'variable power', 'fixed power', 'fixed frequency' (selected), 'freqhop/wide band', 'variable elevation', and 'fixed elevation'. The 'Info' section includes 'Callsign' (Unicauca), 'Parenting' (0), 'address' (Analogica), 'date' (0), 'info (1)' (Analogica, type C), 'info (2)' (Analogica, link LS), 'Network ID' (\*), 'group' (ICS), 'user' (\*), and 'call number' (0). A 'Comment:' field is empty. The bottom of the window shows 'odbc record 0' and 'Ctrl+Enter: change line'. Buttons for 'Aceptar' and 'Cancelar' are at the bottom right.

Figura 51. Parámetros Técnicos de Unicauca Estéreo

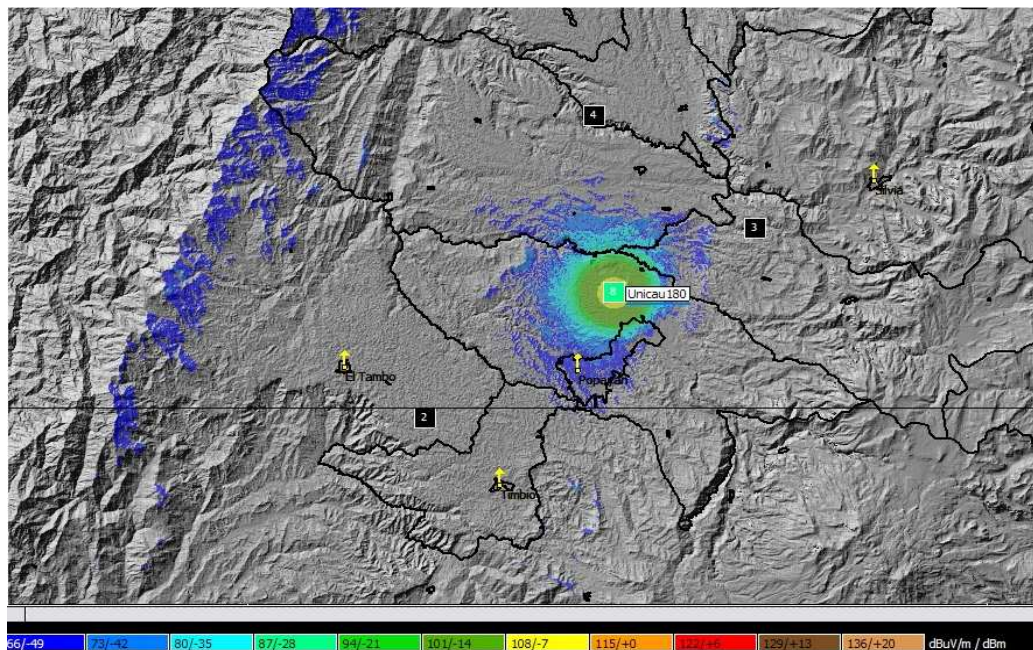


Figura 52. Cobertura de Unicauca Estéreo en el Municipio de Popayán.

## 2. COBERTURA DEL SISTEMA DIGITAL ISDB-TSB

### 2.1 ELECCIÓN DE LOS PARAMETROS DE TRANSMISIÓN

Los parámetros de transmisión que pueden ser configurados de acuerdo a la técnica de transmisión utilizada por ISDB-TSB son:

- Modo de transmisión (8K, 4K, 2K), determina el número de portadoras OFDM y separación de las mismas. El modo 8K representa mayor duración de la longitud del símbolo efectivo y permite brindar mayor robustez a la señal frente a propagación multirrayecto.
- Esquema de modulación (QPSK, 16QAM, 64QAM), 64QAM permite alcanzar mayores tasas de transferencia en los bits de información.
- Intervalo de Guarda (1/4, 1/8, 1/16, 1/32), en condiciones de propagación por multirrayectoria presentadas particularmente en zonas montañosas como el departamento del Cauca se puede optar por valores de 1/4 o 1/8, para brindar mayor robustez a la señal. Valor considerado 1/8.
- Tasa de codificación (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8), el valor de 1/2 representa mayor robustez pero baja transferencia en los bits de información, 7/8 mayor tasa de bits pero menor robustez, un valor intermedio 3/4.
- Ancho de banda (1.29 MHz), para servicios de recepción fija.
- Potencia de transmisión en todos los sitios de 27.41 Watts.
- Para la altura de las torres de transmisión se considero que hubiera línea de vista.

### 2.2 COBERTURA

La configuración de los parámetros de transmisión de ISDB-TSB y otros necesarios para hacer posible la simulación son presentados en las figuras 53 y 54, en la figura 55 se presenta la cobertura del servicio alcanzado en el municipio de Popayán con el estándar de radiodifusión sonora digital terrestre ISDB-TSB.

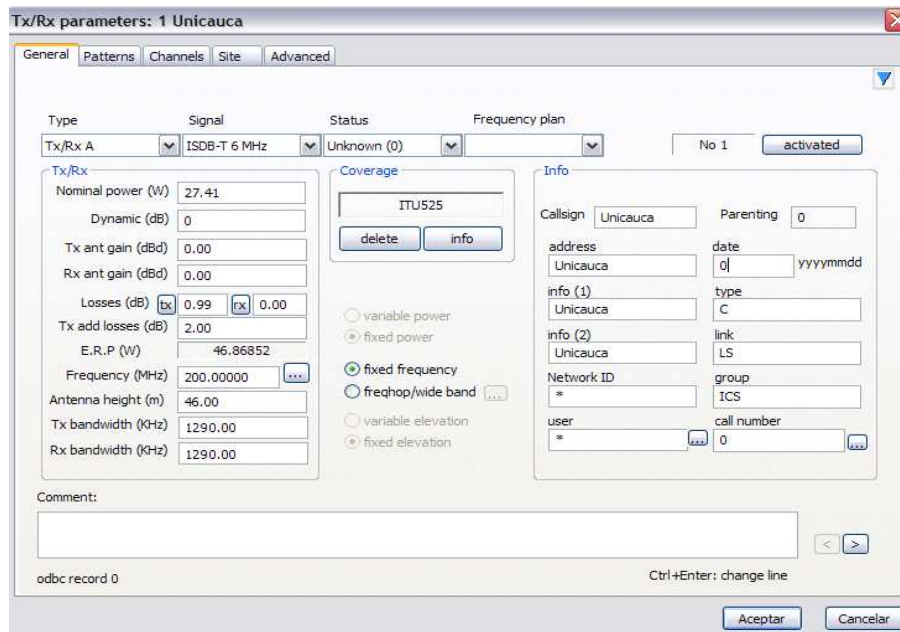


Figura 53. Parámetros Utilizados en el Sistema Digital.

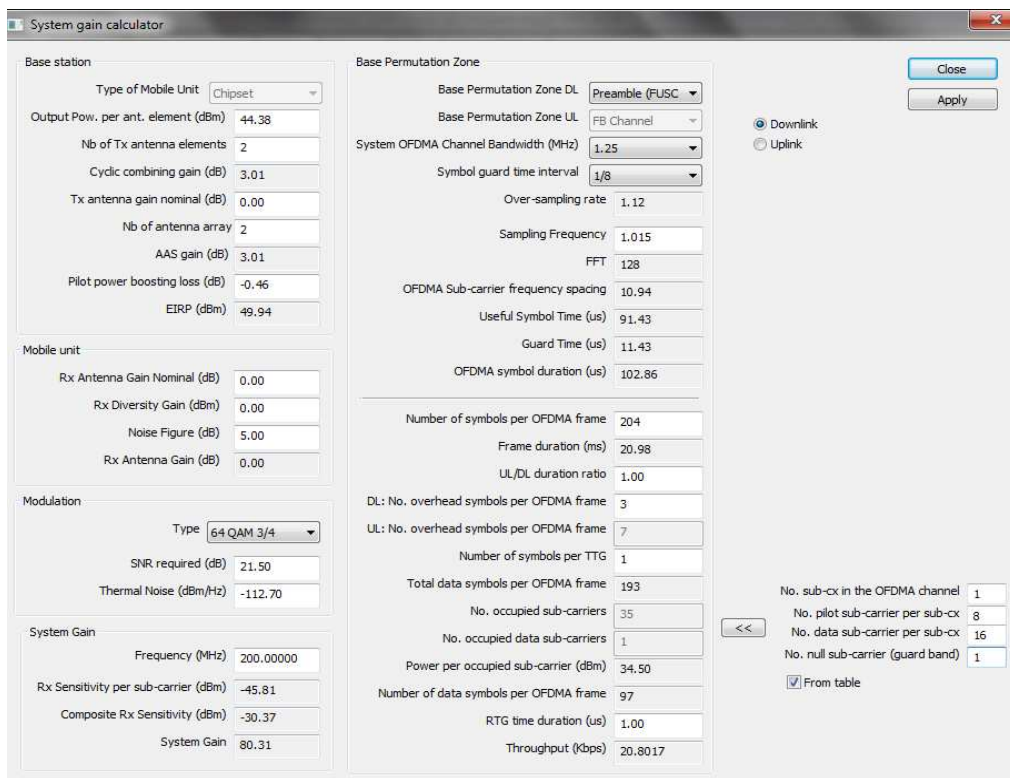


Figura 54. Parámetros Utilizados en el Sistema Digital.



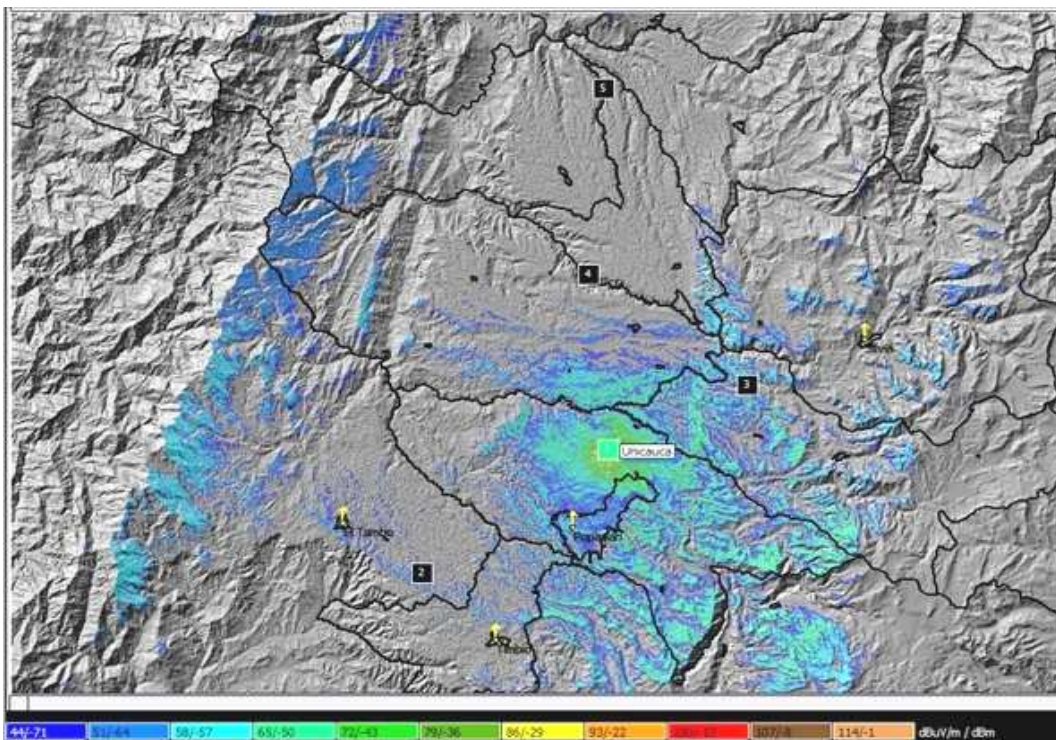


Figura 55. Cobertura del Sistema Digital.

De acuerdo a los resultados de la simulación, realizando una comparación entre las figuras 52 y 55, la implementación de un sistema de radiodifusión sonora digital terrestre basado en ISDB-TSB en Unicauca Estéreo permite aumentar la cobertura del servicio de radiodifusión con respecto al servicio analógico.

### 2.3 ZONAS DE INTERÉS DE UNICAUCA ESTÉREO

Las zonas de interés de Unicauca Estéreo para ofrecer el servicio de radiodifusión sonora son en primer lugar los sitios donde la Universidad del Cauca ha creado nuevas sedes, en segundo lugar la zona de influencia de la Universidad la cual es todo del departamento del Cauca. En la tabla 31 se presentan las coordenadas geográficas de algunos sitios de interés de Unicauca Estéreo para ofrecer el servicio de radiodifusión sonora, en la figura 56 se presenta la ubicación geográfica de cada uno de los sitios. Estos serán considerados para determinar la cobertura del servicio de radiodifusión sonora digital terrestre mediante una red SFN.

Tabla 31. Ubicación de Los Sitios a Cubrir

Ubicación	Longitud (W)	Latitud (N)
Rejoya	76°35'32,6'	2°31'1.8"
Popayán	76°37'18'	2°27'00"
Santander Q.	76°29'7"	3°0'24"
El Tambo	76°48'49"	2°27'4"
Timbio	76°41'15"	2°21'43"
Silvia	76°22'56"	2°36'49"

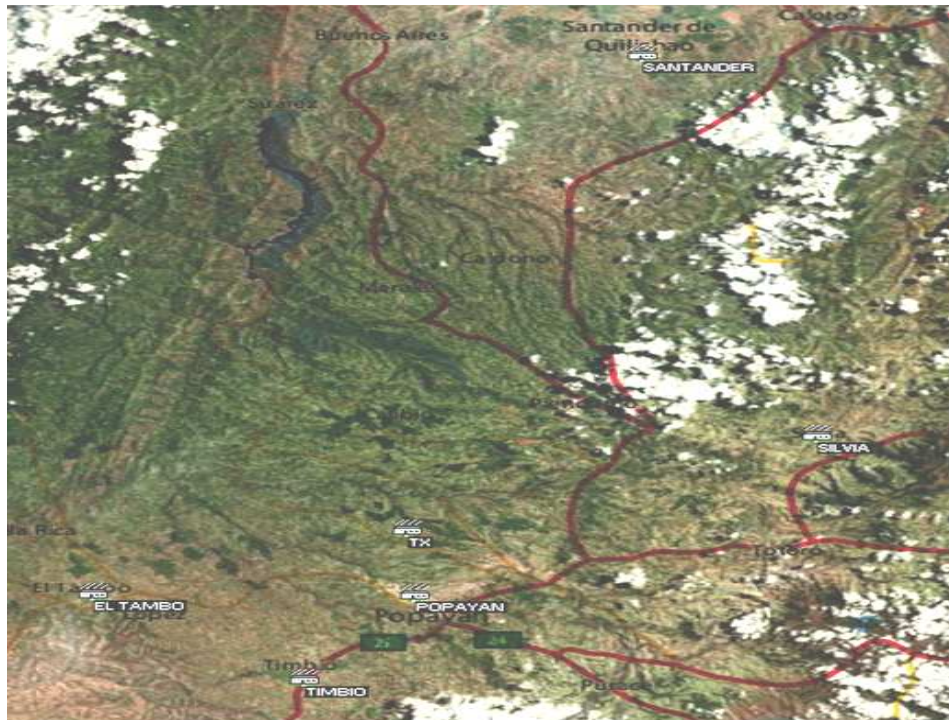


Figura 56. Sitios de Interés de Unicauca Estéreo

## 5.1 DISEÑO DE RED SFN

Gracias al contacto establecido con la empresa TEST AMERICA, empresa colombiana, se logró realizar pruebas de simulación de una red SFN con el estándar ISDB-TSB para dar cubrimiento a los sitios de interés de Unicauca Estéreo. El diseño de la red SFN, inicia con la ubicación de los emplazamientos para la instalación de posibles puntos de los nuevos sitios de retransmisión, una vez determinados estos emplazamientos se realiza la simulación para obtener la cobertura de la red SFN.

Para determinar los emplazamientos para instalar la nueva infraestructura de la red se baso en los siguientes aspectos.

- Recepción de un nivel de umbral superior a la mínima utilizable por el estándar, de acuerdo a la cobertura de la figura 55. Para modulación 64QAM, el valor mínimo de potencia utilizable en recepción es -77.6 dBm.
- Línea de vista entre los transmisores de la red SFN.
- Distancia de separación entre transmisores de la red SFN, menor a la distancia máxima permitida por el modo 8K e intervalo de guarda de 1/8.
- Ensayo y error

## 5.2 RESULTADO DE LA SIMULACIÓN

La simulación realizada arrojó la cobertura de la red SFN, la cual se presenta en la figura 57. Las figuras comprendidas desde la 58 a la 62 presentan el perfil de trayecto entre los emplazamientos de la red SFN.



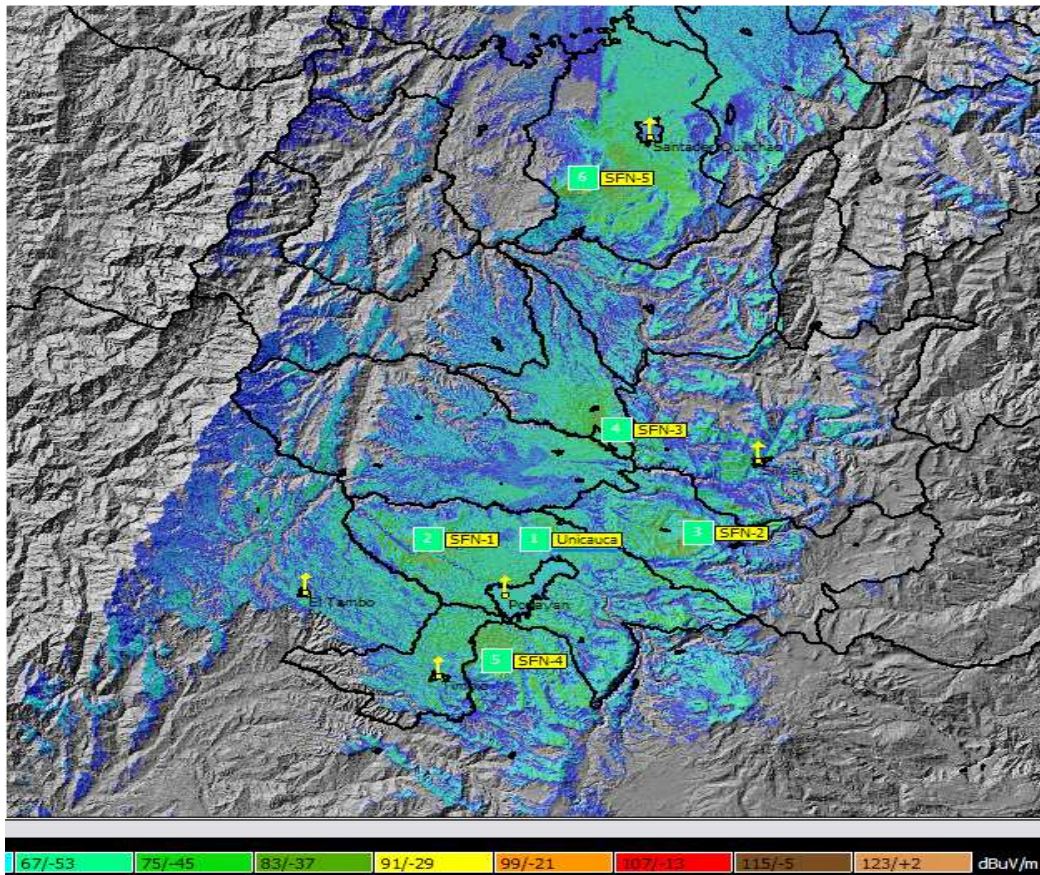


Figura 57. Cobertura Red SFN.

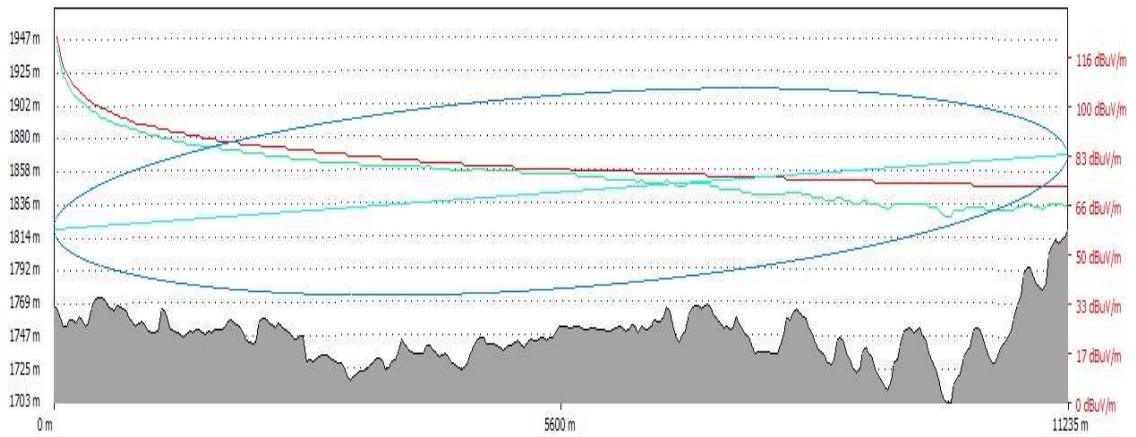
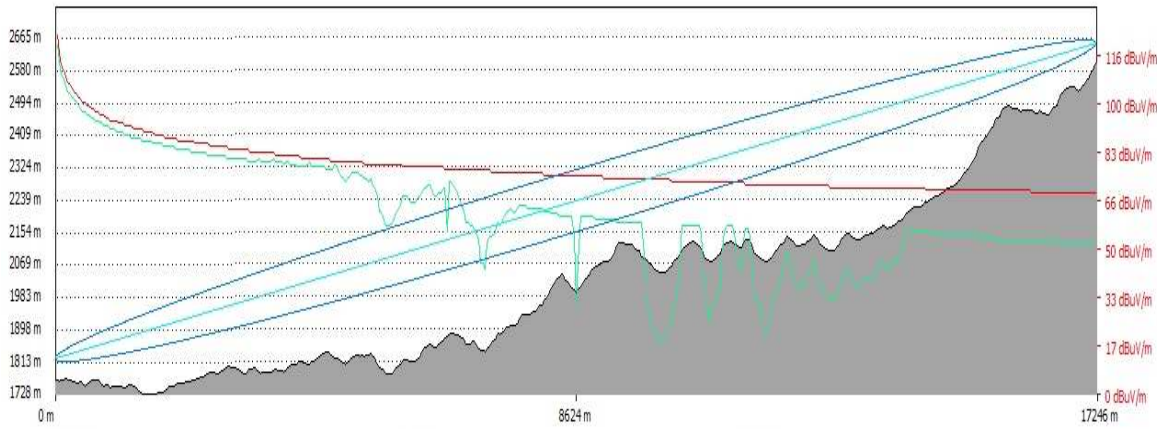
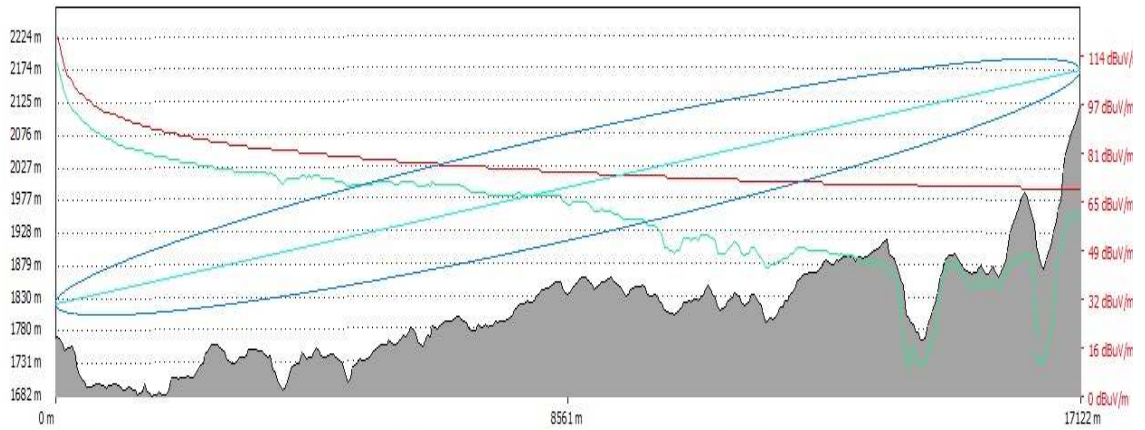


Figura 58. Perfil de Trayecto ente Transmisor Principal y TX-SFN-1.

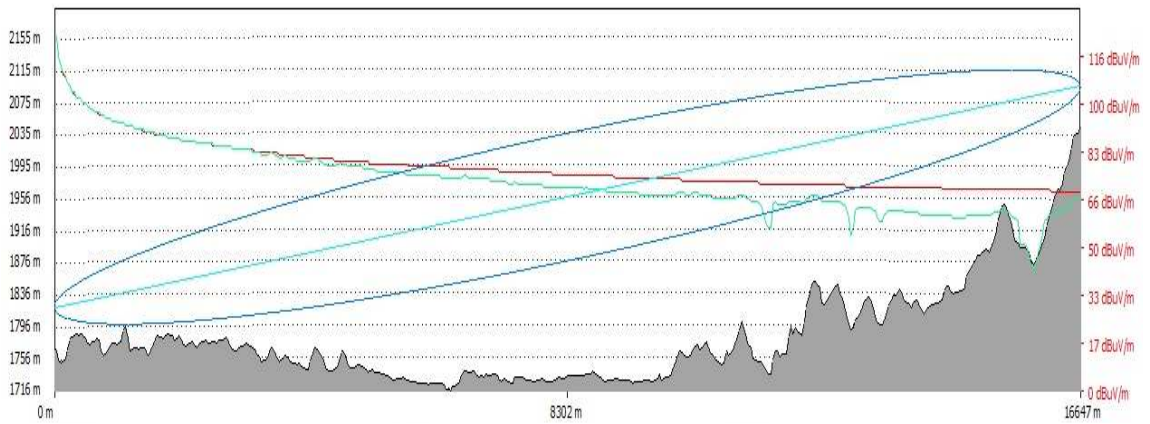




**Figura 59. Perfil de Trayecto entre Transmisor Principal y TX-SFN-2.**



**Figura 60. Perfil de Trayecto ente Transmisor Principal y SFN-3.**



**Figura 61. Perfil De Trayecto Ente Transmisor Principal Y SFN-4.**



Figura 62. Perfil de Trayecto ente TX-SFN-3 y TX-SFN-5.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Héctor Javier Erazo Chulde, “Estudio y Análisis de la Tecnología de Redes de Frecuencia Única (Isorefrecuencia), y su Aplicación en la Radiodifusión en las Bandas de AM Y FM para La Optimización del Espectro Electromagnético en la Ciudad de Quito”. Quito, Abril 2009
- [2] Juan de Jesús Aquino casilla, “Sistemas de Radiofrecuencias Sonora Digital y su Implementación en República Dominicana”. Tesis para optar por el título de la maestría en telecomunicaciones. Santo domingo. 2006-2007
- [3] Ministerio de Comunicaciones, “Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada”. Dirección desarrollo del sector. Actualizado 17 de mayo de 2009.
- [4] Presidencia de la República de Colombia, “Decreto 1446 de 1995 – Por el Cual se Clasifica el Servicio de Radiodifusión Sonora y se Dictan Normas Sobre el Establecimiento, Organización y Funcionamiento de las Cadenas Radiales”. Santa Fe de Bogota. D.C. 1995.
- [5] Audioarts Engineering. “Technical Manual – Digital Audio Console D-75”. September 2004. 1st Edition.
- [6] Quintero Víctor, “Informe Técnico para la Viabilidad de la Instalación del Transmisor Principal de Unicauca Estéreo en la Finca la Rejoja”. Popayán 23 junio de 2005.
- [7] Quintero Flórez Víctor, “Estudio Técnico Unicauca Estéreo – Condiciones Técnicas”. Departamento de Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca. 2005
- [8] TFT, inc. “Aural STL System 7700B SERIES”. Studio to Transmitter Link. TFT Inc.
- [9] Beteda Juan Feliz. “Ganancia Interna de una Red SFN”. Pagina Web disponible en:  
<http://www.asenmac.com/tvdigital2/ganancia.htm>  
Última consulta: 31 enero de 2010
- [10] Dong Kajong, Gu Yusong. “A Study on the Interference in Single Frequency Network and On Channel Repeater”. Julio 2008.
- [11] Erazo Chulde Héctor Javier, “Estudio y Análisis de la tecnología de Redes de Frecuencia Única (Isorefrecuencia), y su Aplicación en la Radiodifusión en la Bandas de AM y FM para la Optimización del Espectro Electromagnético en la Ciudad de Quito”, Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito, abril 2009.
- [12] Sionetta José, “Televisión Digital Avanzada” capítulos 8 y 14. El Audio Digital. Buenos Aires Argentina.
- [13] Slideshare “Digitalización I”. Pagina Web disponible en:  
<http://www.slideshare.net/andmonto/digitalizacion-i-presentation>  
Última consulta: 31 Enero de 2010.
- [14] ISO/IEC 13818-7:2003 Information technology—generic coding of moving pictures and associated audio information: Advanced Audio Coding
- [15] ARIB STB-32 V2.1 “Video Coding, Audio Coding, and Multiplexing Specifications for Digital Broadcasting”. Asociación de Radio Industrias y Negocios de Radiodifusión de Japón.
- [16] ARIB STB-24 V5.0, “Data Coding and transmission Specifications for Digital Broadcasting”. Asociación de Radio Industrias y Negocios de Radiodifusión de Japón.

- [17] Association of Radio Industries and Businesses, "Transmission System for Digital Terrestrial Sound Broadcasting" ARIB Standard STD-29.
- [18] Capítulo 2, "Introducción a las Técnicas de Modulación Digital ", Pagina Web disponible en:  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/alvarado\\_s\\_ja/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/alvarado_s_ja/capitulo2.pdf)  
Última consulta: 31 Enero 2010.
- [19] Betancur Agudelo Leonardo, "Comunicaciones Inalámbricas Sistemas OFDM", Notas de Clase, Maestría en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, 2008.
- [20] Cheol Yu Young, "Study on Performance Improvement of ISDB-T Receiver in Fast Fading Environment", Tesis Doctoral, Departamento de Sistemas de Información, Instituto de Ciencia y Tecnología de Nara, 2007.
- [21] Ikeda Tamotsu, "Transmission System for ISDB-TSB (Digital Terrestrial Sound Broadcasting)". Paper IEEE, Vol. 94 No. 1, Enero 2006.
- [22] Recomendación UIT-R BS.1114-6 "Sistemas de Radiodifusión Sonora Digital Terrenal para Receptores en Vehículos, Portátiles y Fijos en la Gama de Frecuencias 30-3000 MHz". Cuestión UIT-R 56/6. 1994-1995-200-2002-2003-2004-2007.
- [23] Kazunori Yokohata, "ISDB-T Transmission Technology - Single transmission for fixed, vehicular, and handheld receivers NHK (Japan Broadcasting Corporation) Science & Technical Research Laboratory, Tokyo, Japan.
- [24] Takada, Masayuki. Saito, Masafumi, "Transmission System for ISDB-T". Paper IEEE, Vol 94. No 1, Enero 2006.
- [25] Kenichi Tsuchida, Naohiko Iai, Masayuki Takada, Syunji Nakahara, Shigeki Moriyama and Makoto Sasaki, "ISDB-T. Digital Terrestrial Television/Sound/Data Broadcasting in Japan". Paper Courtesy Asia-Pacific Broadcasting Union. [Consulta 2009]. Disponible en: <http://www.nhk.or.jp/strl/publica/bt/en/pa0006.html>
- [26] ARIB., "TRANSMISSION SYSTEM FOR DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION BROADCASTING." [Consulta 2008]. Disponible:  
[http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/6-STD-B31v1\\_6-E2.pdf](http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/6-STD-B31v1_6-E2.pdf)  
Última consulta: 31 enero de 2010.
- [27] UIT-R BS.647-2. "Interfaz de Audio Digital para los Estudios de Radiodifusión". 1986 - 1990-1992.