

**EMISORA FM: E3T ESTÉREO. ADECUACIÓN
Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO**

***FABIÁN CAMILO MACHUCA GÉLVEZ
ORLANDO LUIS ESPINOSA REYES***

***UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES***

BUCARAMANGA

2006

EMISORA FM: E3T ESTÉREO. ADECUACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO

FABIÁN CAMILO MACHUCA GÉLVEZ
ORLANDO LUIS ESPINOSA REYES

*Proyecto de grado presentado
como requisito parcial para
optar al título de Ingeniero
Electrónico*

Director
MI. OSCAR MAURICIO REYES TORRES
Codirector
MPE. JAVIER ENRIQUE MIER

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2006

A mis padres Rosario y
Orlando, porque ni las
palabras ni los libros
son suficientes para
expresarles mi gratitud.

Orlando Luis Espinosa
Reyes

*Dedicado inequívoca e
indiscutiblemente a mis
padres.*

*Fabián Camilo Machuca
Gélvez*

Agradecimientos

Orlando agradece:

A mis padres Rosario y Orlando, por su apoyo y esfuerzo incondicional en todo momento.

A mis hermanas Marianella y Vanessa porque siempre me alentaron y me apoyaron.

A nuestro director Oscar Reyes por su excelente y oportuna colaboración en todo momento de nuestro proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, las cuales con su excelente planta de profesores me acogieron en su seno y me dieron la oportunidad de crecer como persona y como profesional.

A todos los que hicieron posible este sueño.

Fabián agradece:

A mis padres por todo el esfuerzo que pusieron para que alcanzara este logro y a mis hermanos por su incondicional apoyo.

A nuestro director Oscar Mauricio Reyes por su calidad humana e intelectual y por ser una excelente guía en este proceso y a Javier Enrique Mier, nuestro codirector, por su colaboración.

A Juana Fuentes por estar siempre a mi lado alentándome y proporcionándome fuerzas para continuar.

A la Universidad Industrial de Santander, la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de telecomunicaciones y todos los docentes que con sus enseñanzas contribuyeron para que esto sea una realidad.

A mi tía Eumelia Machuca por la ayuda brindada en los últimos años de mi carrera.

Resumen

TÍTULO

EMISORA FM: “E3T ESTÉREO” ADECUACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO *

AUTORES

FABIÁN CAMILO MACHUCA GÉLVEZ

ORLANDO LUIS ESPINOSA REYES **

PALABRAS CLAVES

Emisora FM, estudio técnico, parámetros técnicos, transmisor y receptor.

DESCRIPCIÓN

En este proyecto se realiza un estudio técnico para el montaje de una emisora FM, planteando una guía de pruebas que verifica el cumplimiento de los parámetros técnicos establecidos para ello y haciendo uso de unos equipos que fueron recibidos en donación por parte de TELEUIS. Para empezar, se hace un estudio de estos equipos de FM, verificando el correcto funcionamiento de estos e identificando las partes que los componen para que posteriormente pueda realizarse el estudio técnico. Este trabajo fue realizado sin contar con manuales u hojas de datos de los equipos.

El estudio técnico es realizado de acuerdo a la normativa vigente sobre emisoras FM establecida a nivel nacional por el Ministerio de Comunicaciones de Colombia. Esta normativa se encuentra consignada en el Plan Técnico de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada, y establece los parámetros a cumplir de acuerdo al tipo de emisora, que en este caso es clase D. Con base en estos parámetros se realizan las pruebas de frecuencia, potencia, ruido, audiofrecuencia e interferencia, que son posibles de llevar a cabo con los equipos disponibles en el laboratorio de comunicaciones de la E3T de la UIS.

Teniendo en cuenta las diferentes pruebas que se hicieron se propone un protocolo que puede servir como guía para los estudios técnicos que deben realizarse en emisoras FM. Con los resultados de estas pruebas se puede saber si se está cumpliendo con la normativa, conocer el estado de los equipos que intervienen en el proceso de emisión y el área de cobertura del sistema. Por último, se propone un diseño de la emisora E3T estéreo en cuanto a ubicación, construcción y equipamiento.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: MI. Oscar Mauricio Reyes Torres.

Summary

TITTLE

FM RADIO STATION: “E3T ESTEREO” ADEQUACY AND PUT ON FUNCTIONING *

AUTHORS

FABIÁN CAMILO MACHUCA GÉLVEZ
ORLANDO LUIS ESPINOSA REYES **

KEYWORDS

FM radio station, technical study, technical parameters, transmitter and receiver.

DESCRIPTION

In this project was done a technical study for installation of a FM radio station, proposing a test guide to check the fulfillment of technical parameters established for this and making using some equipment which were received in donation from TELEUIS. At the beginning, it's done a study of those FM equipment, verifying the correct functioning of these and identifying the parts that compose it so later it can be done a technical study. This work was done without having manuals or datasheets of the equipment.

The technical study is accomplished according to normative in course on FM radio stations what is established in national context by Communication Ministry of Colombia. This normative can be found in the Technical Plan of Sonorous Broadcasting in Frequency Modulation, and it establishes parameters to carry out according to the kind of radio station, which in this case is class D. Based on these parameters were done tests of: power, audio frequency, noise and interference, which were possible to carry out with the available equipment in the communication laboratory of the E3T at UIS.

Keeping in mind the different tests that were made, it is proposed a protocol that might serve as guide of technical studies that FM radio stations have to do. With the results from these tests, it might know if it is carrying out with the normative, to know the state of the equipment related to the emission process and the system covering area. Finally, this work proposes the design of the E3T stereo radio station, regarding: location, construction and equipment.

* Project of grade.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: MI. Oscar Mauricio Reyes Torres.

Contenido

	pág.
RESUMEN	VIII
SUMMARY	IX
AGRADECIMIENTOS	VII
CONTENIDO	X
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABLAS	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. EMISORA FM	3
1.1 ESTRUCTURA DE UNA EMISORA	3
1.2 ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA EMISORA FM.....	6
CAPÍTULO 2. PRUEBAS PRELIMINARES	8
2.1 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS.....	8
2.2 INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPO DE PRUEBA.....	16
2.3 PRUEBAS PRELIMINARES.....	19
CAPÍTULO 3. PROTOCOLO DE PRUEBAS	22
3.1 TOLERANCIA DE FRECUENCIA	22
3.2 PORCENTAJE DE MODULACIÓN.....	23
3.3 RESPUESTA DE AUDIOFRECUENCIA	25
3.4 DISTORSIÓN ARMÓNICA DE AUDIOFRECUENCIA.....	26
3.5 EMISIONES NO ESENCIALES	27
3.6 NIVEL DE RUIDO DE LA PORTADORA.....	28
3.7 INTENSIDAD DE CAMPO UTILIZABLE	29
3.8 POTENCIA DE OPERACIÓN PARA ESTACIONES CLASE D.....	29
3.9 TOLERANCIA DE POTENCIA	30
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	31
4.1 TOLERANCIA DE FRECUENCIA	31
4.2 PORCENTAJE DE MODULACIÓN.....	32
4.3 RESPUESTA DE AUDIOFRECUENCIA	40
4.4 DISTORSIÓN ARMÓNICA DE AUDIOFRECUENCIA.....	43
4.5 EMISIONES NO ESENCIALES	45
4.6 NIVEL DE RUIDO DE LA PORTADORA.....	46
4.7 INTENSIDAD DE CAMPO UTILIZABLE	47
4.8 POTENCIA DE OPERACIÓN PARA ESTACIONES CLASE D.....	51
4.9 TOLERANCIA DE POTENCIA	52
CAPÍTULO 5. PROPUESTA EMISORA E3T ESTÉREO	54
5.1 EQUIPOS NECESARIOS	54

5.2	DISEÑO DE LOS ESTUDIOS	55
5.3	EQUIPOS PROPUESTOS	58
5.4	PRESUPUESTO.....	62
CONCLUSIONES.....		64
OBSERVACIONES.....		66
ANEXO 1. CONCEPTOS BÁSICOS		67
A.1.1	MODULACIÓN DE FRECUENCIA	67
A.1.2	CIRCUITO DE FASE CERRADA (PLL).....	75
A.1.3	DISTORSIÓN ARMÓNICA	75
A.1.4	ANTENAS	77
ANEXO 2. VISITAS TÉCNICAS		85
A.2.1	UIS ESTÉREO.....	85
A.2.2	MINISTERIO DE COMUNICACIONES.....	86
ANEXO 3. GUÍA DE LABORATORIO		87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		95

Lista de Figuras

	pág.
FIGURA 1. ESQUEMA DE UN ESTUDIO DE RADIO.	3
FIGURA 2. DIAGRAMA DE UNA SALA DE CONTROL CENTRAL.....	4
FIGURA 3. DIAGRAMA DE UNA SALA DE EMISIÓN.....	5
FIGURA 4. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA EMISORA FM.....	6
FIGURA 5. GENERADOR ESTÉREO: PARTE FRONTAL.....	9
FIGURA 6. GENERADOR ESTÉREO: PARTE POSTERIOR.....	9
FIGURA 7. DETALLE DE ENTRADAS DE CANALES DE AUDIO.....	9
FIGURA 8. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL DSG.....	10
FIGURA 9. EXCITADOR FM: PARTE FRONTAL.....	10
FIGURA 10. EXCITADOR FM: PARTE POSTERIOR.....	11
FIGURA 11. EXCITADOR FM: VISTA INTERIOR.....	12
FIGURA 12. CIRCUITO DE LA ETAPA MODULADORA DEL EXCITADOR.....	13
FIGURA 13. CIRCUITO DE LA ETAPA DE POTENCIA DEL EXCITADOR.....	14
FIGURA 14. SINTONIZADOR AM / FM: VISTA FRONTAL.....	15
FIGURA 15. SINTONIZADOR AM / FM: VISTA POSTERIOR.....	15
FIGURA 16. ANALIZADOR DE ESPECTROS TEKTRONIX - 2712.....	16
FIGURA 17. GENERADOR DE SEÑAL: MARCONI INSTRUMENTS - SG2023.....	17
FIGURA 18. GENERADOR DE SEÑAL: TEKTRONIX CFG253.....	17
FIGURA 19. OSCILOSCOPIO: TEKTRONIX TDS 520C.....	18
FIGURA 20. FRECUENCÍMETRO: CONTADOR TEKTRONIX CMC251.....	18
FIGURA 21. MEDIDOR DE POTENCIA: SWR & POWER METER DAIWA CN620A.....	19
FIGURA 22. COMPARACIÓN DE LA CURVA DE PREÉNFASIS DE 75 μ S CON LA CURVA OBTENIDA DE LA PRUEBA DE AUDIOFRECUENCIA.....	43
FIGURA 23. PUNTO SELECCIONADOS PARA REALIZAR MEDICIONES (PRIMER NIVEL DENTRO DE LOS EDIFICIOS Y AFUERA DE ELLOS).....	49
FIGURA 24. PUNTO SELECCIONADOS PARA REALIZAR MEDICIONES (SEGUNDO Y TERCER NIVEL DENTRO DE LOS EDIFICIOS).....	50
FIGURA 25. GRÁFICA DE LA ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA DE LA EMISORA.....	51
FIGURA 26. UBICACIÓN DE LOS ESTUDIOS EN EL SALÓN LAT 208.....	57
FIGURA 27. DETALLES DE DISTRIBUCIÓN EN LA SALA DE CONTROL Y EL ESTUDIO DE LOCUCIÓN.....	57
FIGURA 28. ASPECTO DEL SOFTWARE ZARARADIO v1.6.1	61
FIGURA 29. GENERACIÓN DE NBFM.....	69
FIGURA 30. ESPECTROS DE AMPLITUD DISCRETOS DE UNA SEÑAL DE FM NORMALIZADA CON RESPECTO A LA AMPLITUD DE LA PORTADORA, PARA EL CASO DE MODULACIÓN SENOIDAL DE FRECUENCIA VARIABLE Y AMPLITUD FIJA. SOLO SE MUESTRAN LOS ESPECTROS DE FRECUENCIAS POSITIVAS. .	71
FIGURA 31. GENERACIÓN DE WBFM INDIRECTO.....	72
FIGURA 32. MULTIPLEXOR FM ESTÉREO.....	72
FIGURA 33. DEMULTIPLEXOR FM ESTÉREO.....	73
FIGURA 34. PREÉNFASIS Y DEÉNFASIS EN FM.....	74
FIGURA 35. A) FILTRO DE PREÉNFASIS. B) FILTRO DE DEÉNFASIS.....	74
FIGURA 36. ESQUEMA DE BLOQUES DE UN PLL.....	75
FIGURA 37. CARACTERÍSTICA ENTRADA-SALIDA DE UN AMPLIFICADOR NO LINEAL.....	76
FIGURA 38. DIPOLOS Y ESPIRAS.....	78
FIGURA 39. REFLECTORES USADOS PARA RADIOTELESCOPIOS Y COMUNICACIONES.....	79
FIGURA 40. AGRUPACIONES DE ANTENAS USADAS EN RADIODIFUSIÓN.....	79
FIGURA 41. DIAGRAMA DE RADIACIÓN TRIDIMENSIONAL.....	81
FIGURA 42. DIAGRAMAS DE RADIACIÓN BIDIMENSIONALES EN COORDENADAS POLARES Y CARTESIANAS.....	81

FIGURA 43. DIAGRAMAS DE RADIACIÓN ISÓTROPICO, OMNIDIRECCIONAL Y DIRECTIVO RESPECTIVAMENTE. 82

FIGURA 44. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL GENERADOR ESTÉREO Y EL EXCITADOR DE LA EMISORA UIS ESTÉREO..... 85

Lista de Tablas

	pág.
TABLA 1. REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES CI DEL EXCITADOR.....	12
TABLA 2. PRUEBA PARA ENTRADAS INDEPENDIENTES.	20
TABLA 3. PRUEBA PARA LA COMBINACIÓN DE LAS ENTRADAS.....	20
TABLA 4. PRUEBA PARA ENTRADAS INDEPENDIENTES.	20
TABLA 5. PRUEBA PARA LA COMBINACIÓN DE LAS ENTRADAS.....	21
TABLA 6. MEDICIONES DE LA TOLERANCIA DE FRECUENCIA DEL EXCITADOR.....	32
TABLA 7. POTENCIA EN dBm PARA LAS COMPONENTES J_0 A J_{14}	34
TABLA 8. DIFERENCIA DE POTENCIA ENTRE LAS COMPONENTES DE FRECUENCIA HALLADAS.	35
TABLA 9. AMPLITUD NECESARIA DE LA SEÑAL MENSAJE PARA CONSEGUIR 100% DE MODULACIÓN CON LOS CONTROLES DEL DSG EN EL MÁXIMO VALOR.	36
TABLA 10. AMPLITUD NECESARIA DE LA SEÑAL MENSAJE PARA CONSEGUIR 100% DE MODULACIÓN CON LA MÁXIMA AMPLITUD DE SEÑAL DEL SG2023.	37
TABLA 11. ESTIMACIÓN DE LA SEÑAL DE ENTRADA PARA FRECUENCIAS ENTRE 1 kHz Y 3 kHz.....	38
TABLA 12. SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA PARA CADA ENTRADA DEL DSG.	38
TABLA 13. DESVIACIÓN DE FRECUENCIA PARA UNA AMPLITUD DE LA SEÑAL DE ENTRADA DE 0.59 V...	39
TABLA 14. POTENCIA DE LAS COMPONENTES GENERADAS POR LAS ENTRADAS L1 Y L2.....	41
TABLA 15. POTENCIA DE LAS COMPONENTES GENERADAS POR LAS ENTRADAS R1 Y R2.	41
TABLA 16. POTENCIA DE LAS COMPONENTES ARMÓNICAS GENERADAS POR EL DSG.	44
TABLA 17. DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE AUDIOFRECUENCIA	45
TABLA 18. NOMBRE DE LOS EDIFICIOS QUE APARECEN EN LA VISTA ÁREA.	48
TABLA 19. POTENCIA DE LOS PUNTOS SELECCIONADOS DENTRO DEL ÁREA DE SERVICIO.	49
TABLA 20. PRESUPUESTO DE LOS EQUIPOS PARA LA EMISORA E3T ESTÉREO.	62
TABLA 21. PRESUPUESTO DE LA ADECUACIÓN DE LOS ESTUDIOS PARA LA EMISORA E3T ESTÉREO.	63
TABLA 22. PRESUPUESTO GENERAL EMISORA E3T ESTÉREO.....	63

INTRODUCCIÓN

El objetivo de un sistema de comunicación es llevar información desde la fuente o quien envía el mensaje, hacia el destino o quien lo recibe. El mensaje enviado es conocido también como señal banda base. Para lograr que la información llegue a su destino es necesario modificar de alguna forma la señal banda base de manera que sea apta para su transmisión, este proceso se conoce como modulación y se consigue variando, de acuerdo con la onda moduladora o señal mensaje, alguna de las características de otra señal llamada portadora. La señal portadora podría tener muchas formas, sin embargo una muy usada y difundida es la onda senoidal, para la cual recibe el nombre de modulación de onda continua.

El interés de este proyecto se centra en la modulación de frecuencia o FM, la cual es utilizada por una gran cantidad de emisoras alrededor del mundo en radiodifusión. En este tipo de modulación es el ángulo de la portadora el que debe sufrir un cambio, en concordancia con la señal banda base, para obtener la señal modulada que será enviada al extremo receptor del sistema de comunicación, en el cual se aplicará el proceso inverso para obtener de nuevo la señal mensaje.

Sabiendo que la radio es uno de los medios de comunicación masivo más importante y más difundido en estos días y conociendo la necesidad de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, E3T, de brindarle a los estudiantes una forma más práctica y más realista de aplicar los conceptos teóricos en los laboratorios, en este caso en Sistemas de Comunicación y asignaturas afines, se lleva a cabo un estudio del funcionamiento de los antiguos equipos de transmisión de la emisora de FM “UIS Estéreo” y que fueron donados a la E3T por TeleUIS. Con base en los resultados obtenidos y con los equipos ya adecuados para funcionar como cualquier emisora que cumple con los parámetros que exige el Ministerio de Comunicaciones, se propone una guía de pruebas para la emisora, que sirva como herramienta de apoyo en los laboratorios de comunicaciones y de otras materias que lo requieran. Además, los equipos pueden ser utilizados para difundir información acerca de los eventos, actividades y demás asuntos que la escuela considere necesario comunicar a la comunidad E3T.

En el primer capítulo se hace una descripción de la estructura de una emisora FM y de las partes principales que la componen.

El capítulo dos contiene la descripción de los equipos de transmisión que se utilizan y algunas pruebas que se hicieron en ellos para revisar si presentaban fallas o comprobar su correcto funcionamiento. Además, se presenta un diagrama de bloques del Generador FM Estéreo y el diagrama esquemático del Excitador, con el fin de comprender mejor la forma en que operan estos dos equipos.

Basados en el Plan Técnico FM [10], el capítulo tres muestra los parámetros exigidos por el Ministerio de Comunicaciones para la puesta en funcionamiento de una emisora FM y el protocolo de pruebas diseñado para cumplir con los mencionados parámetros.

En el capítulo cuatro están consignados los resultados obtenidos al desarrollar el protocolo de pruebas y el análisis de estos resultados, de donde se infiere si los equipos utilizados cumplen con la normativa vigente para el funcionamiento de una emisora FM.

En el quinto capítulo se presenta una propuesta para la construcción de una emisora FM con los elementos necesarios para su puesta en marcha, entre los cuales se incluyen el estudio de locución, algunos equipos de medición y otros para mejorar la calidad de la señal.

Por último se presentan las conclusiones obtenidas y las recomendaciones para el mejoramiento de este trabajo y se incluyen algunos anexos que sirven como soporte para los principales temas tratados durante todo el libro.

Capítulo 1. EMISORA FM

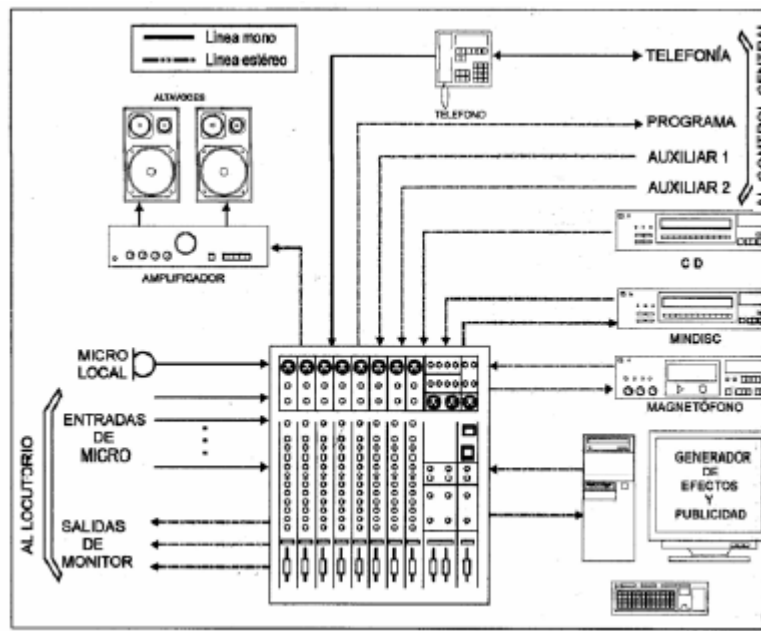
1.1 ESTRUCTURA DE UNA EMISORA

La estructura de una emisora de radio generalmente consta de un conjunto de locales y medios técnicos que se utilizan para producir y emitir un programa. Estos locales y medios técnicos se hallan distribuido en cuatro grupos fundamentales: el centro de producción de programas (CPP), el sistema de enlaces y un centro emisor [12][1].

- **Centro de producción de programas**

El CPP se conforma por los locales técnicos y administrativos que son destinados a producir programas de radio. Los locales técnicos que componen el CPP son fundamentalmente el estudio, control central, sala de enlace y archivos sonoros.

El estudio (Figura 1) generalmente comprende de dos salas acústicamente aisladas y divididas por un cristal, estos son: el estudio de palabra (locutorio) la cual está acondicionada para la toma de sonido y el estudio de música (control) que está dotada son los medios necesarios para la emisión y/o grabación de los diferentes programas.



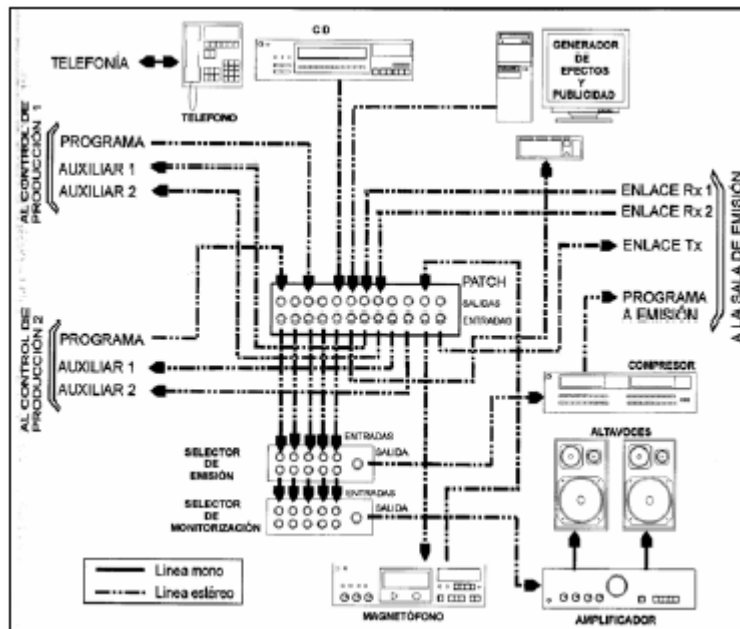
Fuente: [12]

Figura 1. Esquema de un estudio de radio.

Aquí se mezclan distintas señales sonoras (locutor, música de distintas fuentes, señales recibidas desde el exterior, efectos sonoros, etc.) para constituir una sola. El mezclador de sonido recibe las señales del locutorio y de otras fuentes sonoras (CD,

magnetófonos de casete y bobina abierta, minidiscos y platos giradiscos), así como un sistema informático que genera efectos, reproduce cabeceras y emiten publicidad. Además se necesita un micrófono para que el técnico de la mesa se comunique con el locutorio a través de las líneas de monitorización, o para que él mismo conduzca el programa. Además, el sistema ha de estar dotado de líneas de grabación. A través de las líneas auxiliares se reciben señales procedentes del control central o del exterior, y para comunicaciones telefónicas se incluye un híbrido telefónico (módulo que adapta la señal telefónica a la entrada del mezclador).

En el *control central* se dirige y se gestiona las señales generadas en cada uno de los estudios de producción. También controla la ruta que tienen que seguir las señales que llegan a la emisora. (Figura 2).



Fuente: [12]

Figura 2. Diagrama de una sala de control central.

En la *sala de enlaces* se encuentran todos los dispositivos que interconectan el CPP con el centro emisor. Los *archivos sonoros* corresponden a todos los medios tanto magnéticos como digitales en los cuales se encuentra toda la información referente a música, cuñas, propagandas, entre otros.

- **Sistema de enlaces**

Cuando se da el caso de que el estudio y el emisor FM se hallan situados en lugares diferentes de una zona o ciudad se diseñan radioenlaces, los cuales son conexiones de radiofrecuencia con antenas directivas entre los dos lugares que operan a frecuencias distintas de las utilizadas en FM. Entonces, harán falta nuevos equipos: el emisor, el receptor, antena emisora y antena receptora correspondientes al radioenlace.

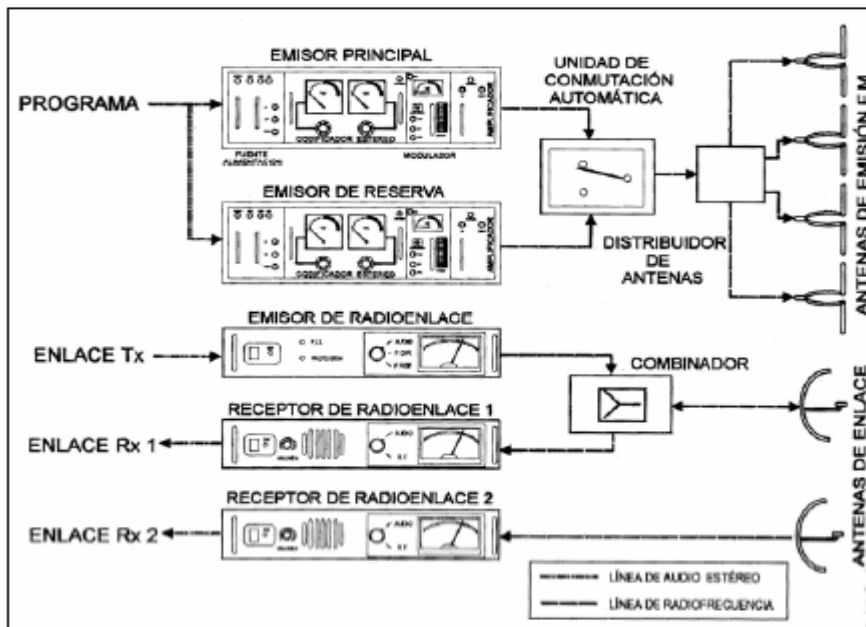
Este sistema también comprende de unidades móviles que envían programas provenientes de otros puntos para su retransmisión.

- **Centro emisor**

Consta de los sistemas de emisión que llevarán el programa hasta el público, así como los equipos de emisión y recepción de enlaces (Figura 3). Este se encuentra ubicado en zonas que tengan buenas condiciones para la propagación de la señal de radio, es decir, en lugares altos.

Aquí la señal que envía la emisora, se entrega al excitador de los emisores que efectúan la modulación en frecuencia con la portadora asignada a la cadena de radio, y entrega la señal ya modulada a las etapas de potencia para su amplificación y radiación.

Un equipo de emisión consta de: codificador estéreo, generador de RDS y modulador. Puede existir otro equipo de emisión como reserva en caso de fallo del emisor principal. Las antenas omnidireccionales de emisión difundirán el programa de radio con cobertura local. Para una mayor cobertura se utilizarán los radioenlaces, que comunican con otros centros emisores. Además, son las que captarán las señales procedentes de las unidades móviles.

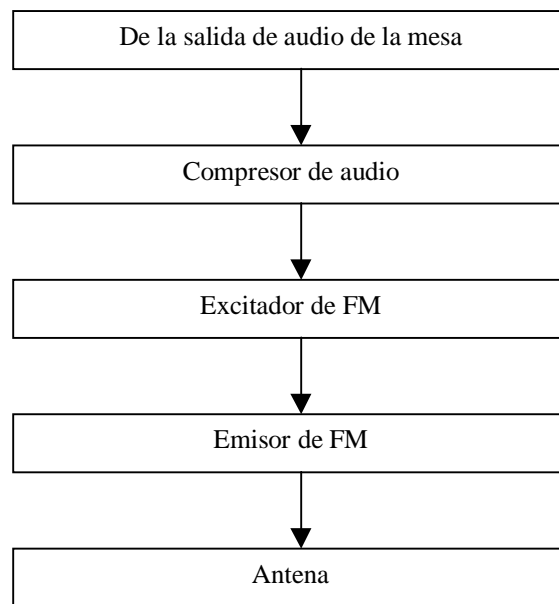


Fuente: [12]

Figura 3. Diagrama de una sala de emisión.

1.2 ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA EMISORA FM

Además de todos los equipos que conforman una emisora FM, hay una serie de elementos principales que conectados en serie harían posible una transmisión en FM, estos son mostrados en la Figura 4 [13] [14].



Fuente: autores.

Figura 4. Elementos principales de una Emisora FM.

- **Compresor/Limitador de audio**

Se coloca entre los módulos de audio (salida de audio de la mesa) y los módulos de radiofrecuencia (excitador, emisor, antenas). Su misión es mejorar la calidad del audio reduciendo las señales más fuertes (saturaciones) y aumentando las débiles (volumen bajo), ya que esta es muy importante dentro de la cadena de emisión para tener una buena calidad, pues si la calidad del audio es mala, la emisión por FM también será mala.

- **Excitador de FM**

Es el primer elemento de la parte de radiofrecuencia. Este modula la señal de audio a la frecuencia de FM asignada. Es decir que esta frecuencia de FM será la portadora de la señal de audio. La frecuencia portadora es generada por un oscilador de cristal. La sintonización o cambio de frecuencia del oscilador, se efectúa manual o electrónicamente; es muy importante controlar esta frecuencia, ya que por efectos de la temperatura y a limitaciones inherentes en el diseño esta frecuencia comienza a correrse. Este control de frecuencia es hecho por un circuito llamado PLL.

- **Emisor de FM**

Se encarga de amplificar la señal enviada por el excitador y enviarla a la antena ya que muchas veces se necesita mayor potencia para poder lograr la cobertura de un pueblo o un área de un centro urbano grande. Se pueden utilizar uno o varios amplificadores en cascada y se conectan a la salida del transmisor.

Los amplificadores de radiofrecuencia son mucho más sencillos en diseño y construcción a los transmisores y consiste de un grupo de componentes pasivos, que son conectados en una disposición particular para amplificar las frecuencias deseadas. Estos pueden ser amplificadores de banda ancha o sintonizados; estos últimos deben estar correctamente sintonizados para que no produzcan señales laterales anormales tanto dentro como fuera de la banda asignada de FM.

Es de vital importancia que los amplificadores de RF tengan disipadores de calor de buen tamaño y un ventilador externo para que provean un enfriamiento adecuado, ya que el sobrecalentamiento causaría fallas en los transistores. También se debe operar con una carga adecuada conectada a la salida.

- **Antena**

Las antenas son elementos que se encargan de radiar la señal de FM hasta los receptores de FM que se encuentran en su área de cobertura. Para que esto se cumpla, deben cumplirse unas condiciones: Por un lado, la antena debe estar sintonizada a la frecuencia que se transmite, y por otro, esta debe estar instalada y orientada correctamente.

Aquí las ondas de radio viajan en línea recta hasta que un obstáculo se atraviesa. Si hay línea de vista entre la antena transmisora y la receptora, y la distancia entre estas no es tan grande como para atenuar la señal, la señal puede ser recibida. A partir de esto, se puede decir que la altura de la antena es muy importante, ya que cuando la antena está a una altura elevada, hay una mayor distancia hasta el horizonte debido a la curvatura de la tierra.

Es importante tener en cuenta que el cable de radiofrecuencia y la antena tengan la misma impedancia de lo contrario habrían reflexiones de señal y podría dañarse el emisor de FM, por consiguiente, es conveniente hacer unas medidas para saber que todo está bien, estas son: la relación de onda estacionaria y el coeficiente de reflexión.

Capítulo 2. PRUEBAS PRELIMINARES

En este capítulo se describen los equipos utilizados en el proyecto, los instrumentos de medida y las pruebas que se hicieron antes de diseñar el protocolo de pruebas.

2.1 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

A continuación se describen los equipos que fueron donados por TeleUIS (a excepción de la antena) a la E3T. Esto sirve de referencia para una mejor comprensión del protocolo de pruebas.

- **Generador estéreo**

Generador estéreo: Iradio – DIGITAL STEREO GENERATOR. (Para propósitos prácticos nos referiremos a él como DSG.)

Este equipo principalmente tiene la función de tomar las señales de audio (dos canales) y una señal piloto de 19 KHz para transformarlas en una señal estéreo. Además de esto, el equipo tiene otras funciones complementarias como: preénfasis, limitación de las señales de audio, puede operarse en mono o en estéreo y presenta la opción de utilizar subportadora.

En la Figura 5 y en la Figura 6 se muestra la parte frontal y posterior de este equipo. La descripción de cada uno de sus puertos y controles es la siguiente:

- A – Interruptor para operación mono o estéreo.
- B – Control de nivel de la piloto (frecuencia 19 kHz).
- C – Controles de nivel de la señal de salida en banda base (OUT1 Y OUT2). Estos controlan la salida total del sistema y hay un controlador para cada salida.
- D – Controles de nivel para las señales de entrada L y R.
- E – Leds indicadores de máximo nivel permitido en cada una de las entradas, que causarían sonidos indeseados en los receptores.
- F – Led indicador de modo de funcionamiento en estéreo.
- G – Led indicador de encendido.
- H – Entradas de audio en cada uno de los canales. Estas se muestran en detalle en la Figura 7.
- I – Salidas de la señal banda base correspondientes a los controles OUT1 (blanca) y OUT2 (roja).
- J – Botón de encendido / apagado.
- K – Conector para la alimentación de 110 V.
- L – Salida de subportadora.
- M – Salida de la señal piloto.



Figura 5. Generador estéreo: Parte frontal.

Fuente: autores.

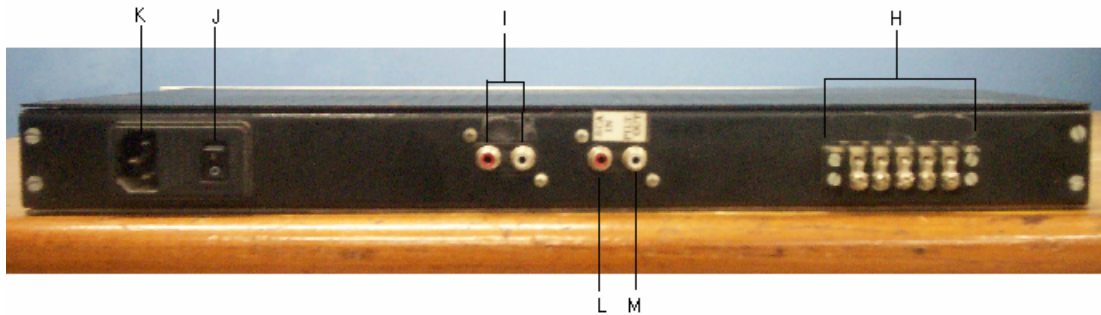


Figura 6. Generador estéreo: Parte posterior.

Fuente: autores.

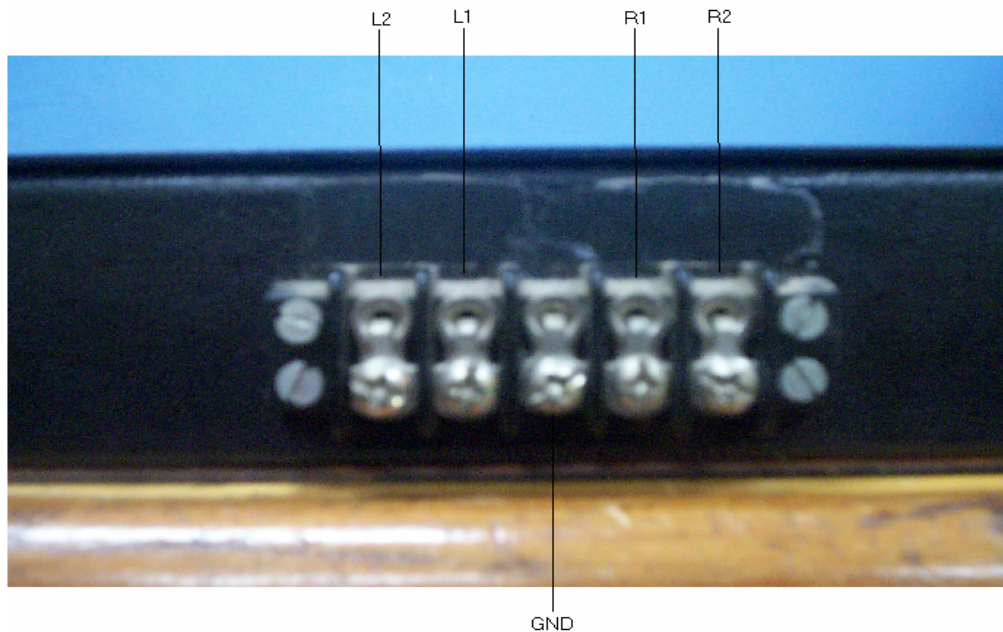
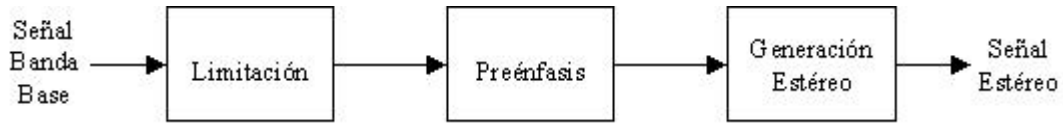


Figura 7. Detalle de entradas de canales de audio.

Fuente: autores.

La Figura 8 muestra el diagrama de bloques del DSG. Seguidamente se da una sucinta explicación de este.



Fuente: autores.

Figura 8. Diagrama de bloques del DSG.

La señal de entrada del DSG es la señal de audio que se desea transmitir y puede provenir de una mesa de mezclas, o sino se cuenta con ella, puede ser cualquier señal directa que se este generando desde algún micrófono, reproductor, etc. Esta señal llega al Limitador, el cual restringe la amplitud de la señal y dependiendo de la posición de los controles de nivel D.

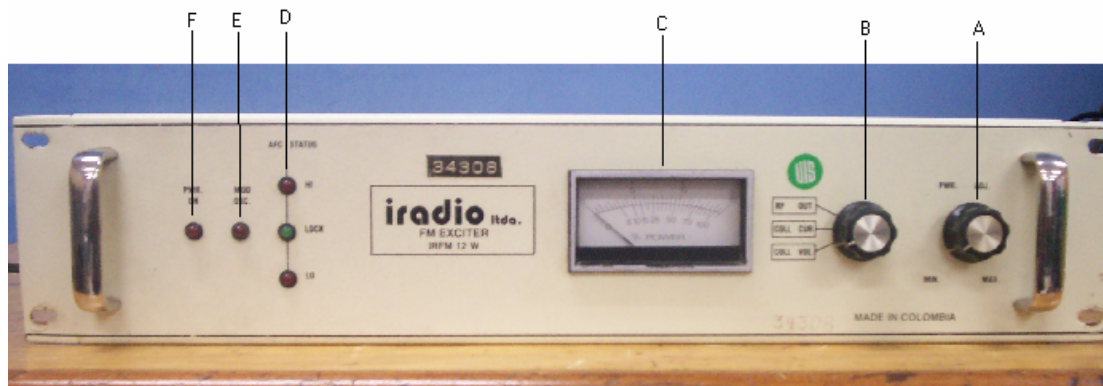
Luego del Limitador, la señal pasa al filtro de preénfasis. Este tiene la opción de seleccionar la constante de tiempo entre 50 μ s y 75 μ s o utilizar el equipo sin preénfasis (Flat).

Por último y después de los dos procesos anteriores, la señal es convertida en una señal estéreo, la cual va al excitador para su transmisión. No obstante, si no se quiere utilizar la señal estéreo, el DSG permite utilizar la señal monofónica, simplemente cambiando la posición del interruptor A.

• **Excitador FM**

Excitador FM: Iradio – FM EXCITER IRFM 12 W.

La función principal de este equipo es tomar la señal banda base para trasmitirla a una frecuencia fija de la banda de FM sin que esta varíe significativamente, darle la ganancia adecuada y, acoplar su impedancia de salida con la del sistema radiante. En la Figura 9 y en la Figura 10 se muestra la parte frontal y posterior de este equipo y la Figura 11 muestra algunos componentes internos del excitador. La descripción de cada uno de sus puertos y controles es la siguiente:



Fuente: autores.

Figura 9. Excitador FM: Parte frontal.

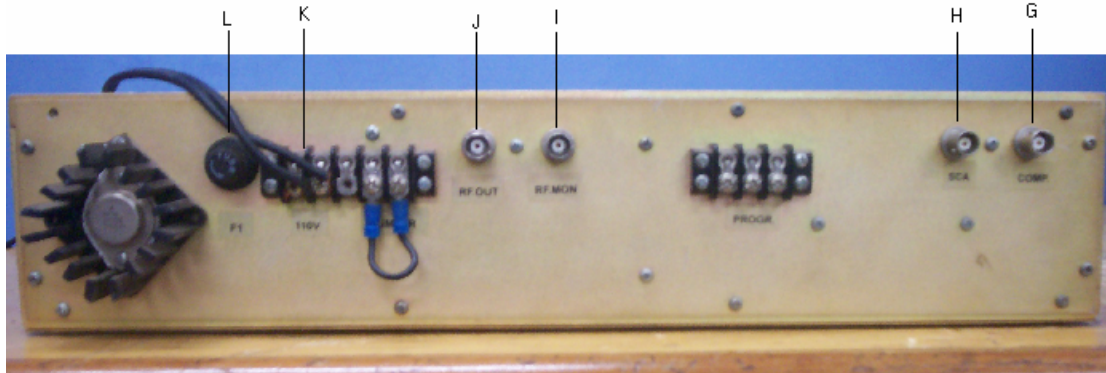
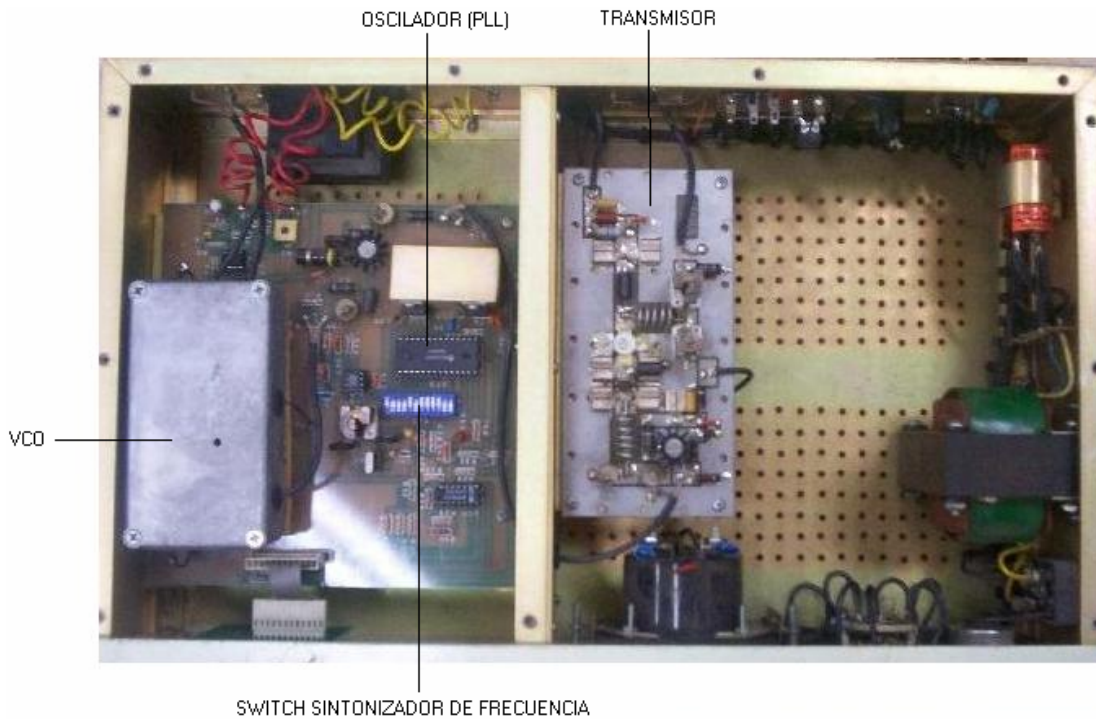


Figura 10. Excitador FM: Parte posterior.

Fuente: autores.

- A – Control de ajuste de potencia de salida.
- B – Selector de funciones para mostrar en el display. Este selecciona: la potencia de salida, el voltaje y la corriente consumidos por el equipo.
- C – Display analógico que indica la potencia de salida, el voltaje y corriente consumidos. El medidor de potencia se encuentra dañado.
- D – Leds indicadores del estado de enganche del PLL. Un buen estado de operación de este es indicado con el led verde encendido y los demás apagados.
- E – Led indicador de operación del oscilador.
- F – Led indicador de encendido.
- G – Conector de entrada de la señal banda base.
- H – Conector de entrada de subportadora.
- I – Salida del equipo para monitoreo.
- J – Salida del equipo hacia el sistema radiante.
- K – Entrada de fuente de alimentación de 110 V.
- L – Fusible.

Con el fin de comprender mejor el funcionamiento de este equipo se llevo a cabo el levantamiento del plano del mismo. En el se hace referencia a los elementos más importantes que lo componen y se da una pequeña explicación de su función, empero, debido a la distribución y la arquitectura del equipo, algunos componentes como el medidor de potencia (C) no aparecen en el circuito o como en el caso del oscilador controlado por voltaje (VCO) figuran como un solo elemento y no se especifican sus componentes internos. Sin embargo, esto no es un impedimento para entender el funcionamiento interno del excitador.



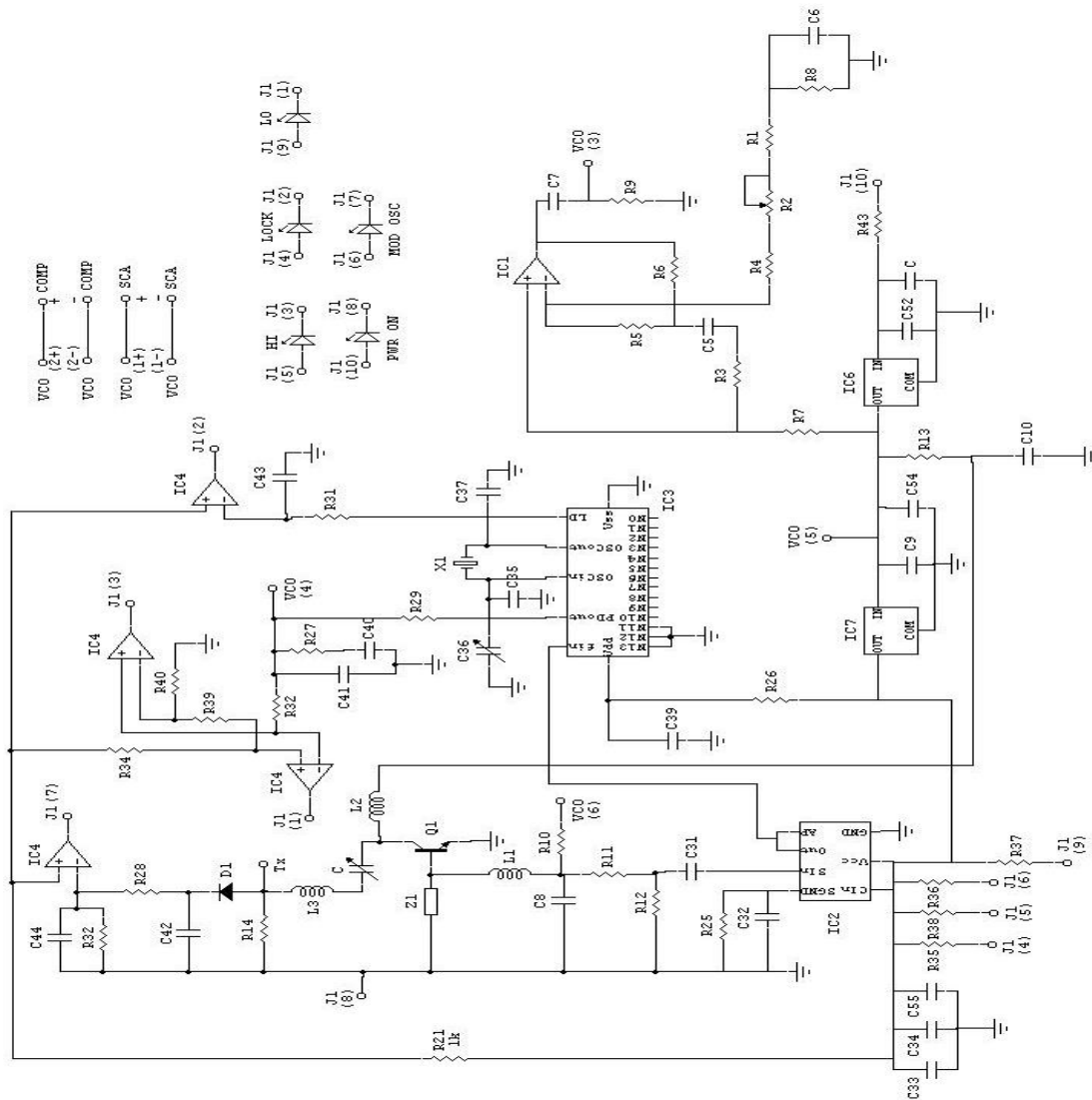
Fuente: autores.

Figura 11. Excitador FM: Vista interior.

La Figura 12 muestra el circuito principal del excitador. Los números y letras de referencia de los componentes y de las salidas y entradas, son los mismos que aparecen en el circuito impreso, con excepción de “VCO” y “Tx” que se adoptaron para indicar la conexión del circuito con estos elementos. La referencia de los circuitos integrados se lista a continuación:

Nombre	Referencia	Descripción
IC1	TL071CP	Amplificador operacional
IC2	MC12017P	PLL
IC3	MC145151P2	Prescalador
IC4	LM339N	Comparador de voltaje
IC6	LM340T15	Regulador de voltaje
IC7	LM340T5	Regulador de voltaje

Tabla 1. Referencia y descripción de los principales CI del excitador.



Fuente: autores.

Figura 12. Circuito de la etapa moduladora del excitador.

Se empezará con el circuito que genera la portadora, para esto se utiliza un oscilador controlado por cristal ($X1$), el cual genera una señal de referencia f_{ref} con una frecuencia que es muy pequeña para funcionar como portadora de FM. Por tanto, se utiliza un circuito PLL funcionando como sintetizador, lo que permite que la frecuencia de la señal se multiplique por el valor necesario para producir la señal portadora que se requiere y que se divida por el mismo valor para realimentar la señal al detector de fase del PLL. Para esto se conecta la señal de $X1$ a las entradas OSC_{in} y OSC_{out} de $IC3$ (PLL). La salida PD_{out} de $IC3$ va a $VCO(4)$ y a la salida $VCO(6)$, y la señal debería tener una frecuencia

$$f_o = Nf_{ref} \quad (1)$$

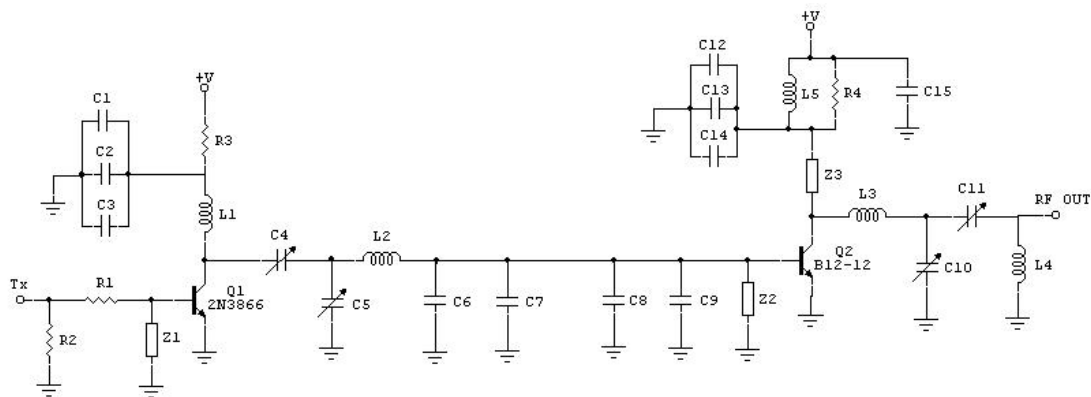
que sería la frecuencia de la señal portadora.

El valor de N es un número entero en binario que se introduce manualmente en $IC3$ por medio de las entradas $N0-N13$, donde $N0$ es la cifra menos significativa y $N13$ la más significativa. De esta forma, la frecuencia de la señal de salida se podrá variar entre f_{ref} y f_o con una diferencia f_{ref} entre cada frecuencia. Este comportamiento no es deseado puesto que la separación entre cada frecuencia generada debería ser de 100 kHz, para que las señales portadoras que sea capaz de generar el circuito sean las mismas que se utilizan en las transmisiones de FM. Para mejorar esto se utiliza un circuito preescalador ($IC2$), así que la señal de salida $VCO(6)$ se conecta a la entrada SIn (Signal Input) de $IC2$ el cual genera un factor K que se multiplica por N , haciendo que la señal a la salida de $VCO(6)$ no sea la de (1), sino

$$f_o = KNf_{ref} \quad (2)$$

lo que produce que la diferencia de frecuencia entre las señales no sea f_{ref} sino Kf_{ref} . El valor de K está ajustado para que la diferencia sea de 100 kHz. La salida de $IC2$ se conecta a la entrada f_{in} de $IC3$ donde la frecuencia de la señal se divide entre KN para poder ser realimentada al detector de fase y continuar el ciclo hasta que la frecuencia se estabiliza y se consigue la señal portadora deseada.

La señal del generador estéreo y la señal subportadora llegan al denominado circuito VCO , el cual no es solo un oscilador controlado por voltaje, sino que junto con $IC1$ funcionan como modulador de producto para así con la señal portadora generada producir la señal FM, la cual va al circuito transmisor y de potencia por la salida marcada como Tx . En este punto la señal es amplificada y entregada a la antena, a través de la salida marcada como $RF OUT$, para su posterior transmisión. Además, el equipo permite variar manualmente la potencia de salida (A), de acuerdo con las necesidades que se tengan. El diagrama esquemático de la etapa de potencia se puede ver en la Figura 13.



Fuente: autores.

Figura 13. Circuito de la etapa de potencia del Excitador.

Por último, el circuito *IC4* es el encargado de adecuar las señales que van a alimentar a los LED indicadores que están en la parte frontal del equipo (D, E y F) y los circuitos *IC6* e *IC7* son reguladores de voltaje que proveen la alimentación a todos los elementos del equipo.

• Sintonizador

Sintonizador AM / FM: Challenger ST200 – Digital Synthesizer Tuning.

Este equipo tiene salida en dos canales (estéreo) y puede ser usado para hacer retransmisiones de emisoras en AM o FM. En la Figura 14 y en la Figura 15 se muestra la parte frontal y posterior de este equipo. La descripción de cada uno de sus puertos y controles es la siguiente:

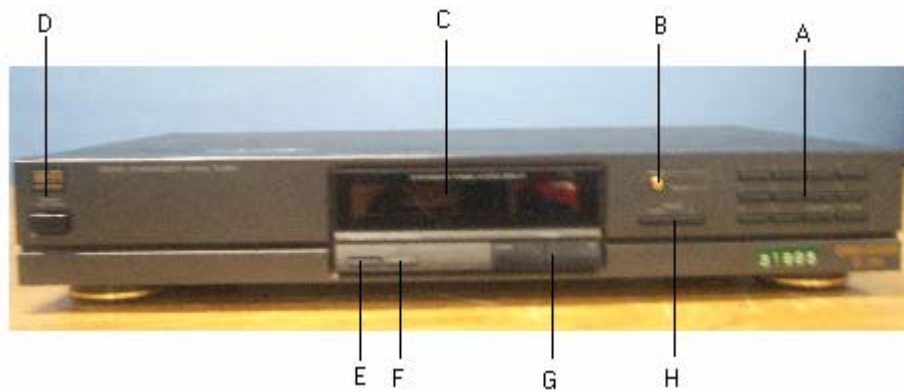


Figura 14. Sintonizador AM / FM: Vista frontal.

Fuente: autores.

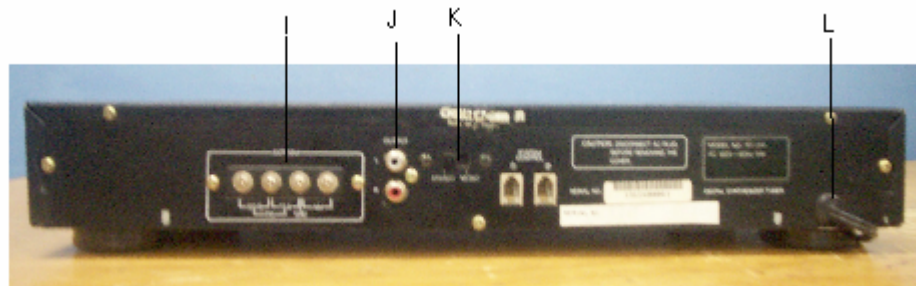


Figura 15. Sintonizador AM / FM: Vista posterior.

Fuente: autores.

- A – Botones de memorización de frecuencia. Estos permiten un rápido acceso a las estaciones de radio.
- B – Selector de banda AM / FM.
- C – Display digital. Muestra la banda, la frecuencia y el número de memoria.
- D – Botón de encendido / apagado.
- E – Boton para sintonización mono o estéreo.
- F – Selector para sintonización manual o automática.

- G – Sintonizador manual. Hace un barrido de frecuencias.
- H – Sintonizador secuencial para frecuencias en memoria.
- I – Puerto para conexión de antena AM y FM (75Ω y 300Ω).
- J – Salida estéreo (L y R).
- K – Modos de operación: mono y estéreo.
- L – Entrada de alimentación de 110 V.

2.2 INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPO DE PRUEBA

Los equipos de esta sección, a excepción del medidor de potencia, se encuentran disponibles en el laboratorio de comunicaciones de la E3T. Estos fueron necesarios en la realización de las pruebas.

- **Analizador de espectros**

Analizador de espectros: TEKTRONIX – 2712



Figura 16. Analizador de espectros TEKTRONIX - 2712

Fuente: autores.

De aquí en adelante nos referiremos a este elemento como TEK2712.

Características

Impedancia de entrada: $50\ \Omega$
Ancho de banda: 9 KHz a 1.8 GHz
Rango máximo de entrada: 100 mW
Receptor FM y AM con control de volumen
Sensibilidad: -140 dBm

- **Generador de señales**

Generador de señal: Marconi Instruments - sg2023



Figura 17. Generador de señal: Marconi Instruments - sg2023

Fuente: autores.

De aquí en adelante nos referiremos a este elemento como sg2023

Características

Rango de salida: 9 KHz a 1.2 GHZ. Modo de barrido

Amplitud de salida: -140 a 13 dBm.

Tipos de señales: Senoidal, triangular, cuadrada.

Resolución: 1 Hz, con display digital.

Modulación: FM, AM, FSK, de fase, de pulsos.

Impedancia de salida: 50 Ω .

Generador de señal: TEKTRONIX CFG253



Figura 18. Generador de señal: TEKTRONIX CFG253

Fuente: autores.

De aquí en adelante nos referiremos a este elemento como CFG 253

Características

Rango de frecuencias: 1 Hz a 1 MHz en 7 rangos

Amplitud de salida: Hasta 20 Vpp

Tipos de onda: Senoidal, triangular, cuadrada, pulsos. Con función de barrido.

Impedancia de salida: 50 Ω .

- **Osciloscopio**

Osciloscopio: TEKTRONIX TDS 520C



Figura 19. Osciloscopio: TEKTRONIX TDS 520C

Fuente: autores.

Características

- Máxima velocidad de muestreo: 1 GS/s
- Ancho de banda: 500 MHz
- Velocidad de captura de ondas: 180.000 formas de onda/ s
- Canales: 2+2 canales auxiliares
- Sensitividad: 1 mV a 10 V/div

- **Frecuencímetro**

Frecuencímetro: Contador TEKTRONIX CMC251



Figura 20. Frecuencímetro: Contador TEKTRONIX CMC251

Fuente: autores.

Características

Frecuencias de operación: 1 Hz a 100 MHz (canal A), 80 MHz a 1.3 GHz (canal B).

Base de tiempo: ± 1 ppm.

Tipos de onda: Seno, cuadrada y triangular.

Tipos de medidas: Frecuencia, periodo, ancho de pulso.

Impedancia de entrada: $1M\Omega$ (canal A), 50Ω (canal B).

- **Medidor de potencia**

Medidor de potencia: SWR & Power Meter DAIWA CN620A.



Fuente: <http://www.qsl.net/sk6al/albild.htm>

Figura 21. Medidor de potencia: SWR & Power Meter DAIWA CN620A.

Características

Mediciones: potencia (W), potencia reflejada (SWR)

Rango de frecuencias: 1.8 a 150 MHz.

Escala: 3 (20W, 200W y 1KW).

Medidor de aguja cruzada

2.3 PRUEBAS PRELIMINARES

El objetivo de estas pruebas es comprobar que el DSG está cumpliendo con la función de convertir la señal de entrada en una señal estéreo e identificar cual es la combinación que debe usarse entre las entradas L y R cuando se va a conectar una señal, pues como ya se vio el equipo tiene dos entradas L y dos entradas R que fueron llamadas L1-L2 y R1-R2 respectivamente. Además, los resultados que se obtengan también sirven para comparar las salidas OUT1 y OUT2 y ver que relación existe entre ellas.

La prueba se llevó a cabo dos veces, una con los controles de ganancia OUT1 y OUT2 en diferente posición y la otra con los controles en la misma posición (posición

de máxima ganancia), para obtener valores similares de potencia en las dos entradas. La señal utilizada para todas las pruebas fue un tono senoidal con frecuencia $f_m=10kHz$.

Los resultados de las pruebas están tabulados en las siguientes cuatro tablas. En la Tabla 2 aparecen los datos tomados a las salidas del DSG cuando se aplica la señal de prueba a cada una de las entradas independientemente y en la Tabla 3 están consignados los resultados cuando la señal de prueba se aplica a una combinación de dos entradas del DSG. Estas dos tablas contienen los resultados con los controles de ganancia en diferente posición.

Controles OUT1 y OUT2 del DSG en posiciones diferentes:

	$0kHz + f_m$		$38kHz + f_m$	
	P _{OUT1} [dBm]	P _{OUT2} [dBm]	P _{OUT1} [dBm]	P _{OUT2} [dBm]
IN _{L1}	-5.5	-5.5	-10.0	-10.0
IN _{L2}	-5.5	-5.5	-10.0	-10.0
IN _{R1}	3.8	3.8	-0.9	-0.6
IN _{R2}	3.8	3.8	-0.9	-0.6

Tabla 2. Prueba para entradas independientes.

	$0kHz + f_m$		$38kHz + f_m$	
	P _{OUT1} [dBm]	P _{OUT2} [dBm]	P _{OUT1} [dBm]	P _{OUT2} [dBm]
IN _{L2} -IN _{L1}	-	-	-50	-50
IN _{L2} -IN _{R1}	6.4	6.4	-4.5	-4.2
IN _{L2} -IN _{R2}	0	0	1.7	2.0
IN _{L1} -IN _{R1}	-0.3	-0.3	1.7	2.0
IN _{L1} -IN _{R2}	6.4	6.4	-4.2	-4.2
IN _{R1} -IN _{R2}	-58	-56	-54	-56

Tabla 3. Prueba para la combinación de las entradas.¹

La Tabla 4 y la Tabla 5 son análogas, respectivamente, a las dos anteriores pero con los controles de ganancia en la misma posición.

Controles OUT1 y OUT2 del DSG en posiciones iguales:

	$0kHz + f_m$		$38kHz + f_m$	
	P _{OUT1} [dBm]	P _{OUT2} [dBm]	P _{OUT1} [dBm]	P _{OUT2} [dBm]
IN _{L1}	3.4	3.4	-0.9	-0.9
IN _{L2}	3.4	3.4	-0.9	-0.9
IN _{R1}	3.4	3.4	-0.9	-0.9
IN _{R2}	3.4	3.4	-0.9	-0.9

Tabla 4. Prueba para entradas independientes.

¹ La notación IN_{XX}- IN_{XX} significa que se aplica la misma señal a ambas entradas.

	$0kHz + f_m$		$38kHz + f_m$	
	P _{OUT1} [dBm]	P _{OUT2} [dBm]	P _{OUT1} [dBm]	P _{OUT2} [dBm]
IN _{L2} -IN _{L1}	-55	-50	-48	-47
IN _{L2} -IN _{R1}	9.5	9.5	-34.4	-34
IN _{L2} -IN _{R2}	-17	-17	5.5	5.5
IN _{L1} -IN _{R1}	-23.4	-23	5.1	5.5
IN _{L1} -IN _{R2}	9.5	9.5	-34.1	-34.1
IN _{R1} -IN _{R2}	-56	-	-50	-50

Tabla 5. Prueba para la combinación de las entradas.

Comparando los valores de potencia de la salida OUT1 con los de la salida OUT2, se observa que son en su mayoría iguales, y los que no lo son, están muy cerca, lo que significa que la salida OUT1 y la salida OUT2 cumplen la misma función y la señal de salida se puede tomar de cualquiera de ellas. Las diferencias que se dieron entre ellas se pueden deber al error de medición o a las variaciones de los elementos electrónicos que conforman el DSG, pues aunque las señales en OUT1 y OUT2 sean prácticamente las mismas, cada una tiene un circuito igual pero independiente que las produce.

Por otro lado, de la Tabla 3 se puede ver que las combinaciones IN_{L2}-IN_{R1} y IN_{L1}-IN_{R2} producen una respuesta de mayor potencia en la banda base que en las componentes alrededor de 38 kHz. Esto es lo que se espera que haya a la salida puesto que en el multiplexado estereofónico las señales en banda base se suman y alrededor de 38 kHz se restan. Esto se ve mucho más claro cuando los controles OUT1 y OUT2 del DSG se encuentran en la misma posición (Tabla 5); como la señal es la misma tanto para la entrada L como para la entrada R y la ganancia es la misma (máxima), la señal en banda base es mucho más grande que la señal que se genera alrededor de 38 kHz, debido, como se dijo, a la característica de L+R y L-R que presenta el multiplexado estereofónico. Los resultados que presentan las otras combinaciones no corresponden a las características de las señales estéreo. Por lo tanto, se puede decir que al usar el DSG las señales de entrada deben suministrarse por las entradas IN_{L2}-IN_{R1} o IN_{L1}-IN_{R2} y no por otra combinación de estas. Por otra parte, también se puede concluir que el DSG en efecto está transformando la señal de entrada en una señal estereofónica.

Capítulo 3. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Este capítulo está dedicado al diseño de un protocolo que sirva como guía, en el desarrollo de las pruebas necesarias para comprobar que los equipos de transmisión de una emisora FM, cumplen las normas y parámetros técnicos que exige el Ministerio de Comunicaciones y que están consignados en el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada [10].

En este caso, el protocolo está propuesto para un tipo de emisoras conocidas como clase D. Este nombre surge de la división que hace el Ministerio de Comunicaciones de las emisoras según el tamaño de su área de servicio. En este trabajo se eligió la clase D debido a que su cubrimiento es de tipo local, el menor cubrimiento dentro de todas las clases, y el cual es suficiente para los propósitos establecidos.

El protocolo está dividido en nueve partes que son cada una de las nueve características que se van a evaluar. Dichas características están a su vez subdivididas en dos: la primera parte llamada “parámetros técnicos”, que contiene las normas que se deben cumplir y la segunda llamada “prueba”, en donde aparece la guía diseñada para realizar las pruebas de verificación de los parámetros citados.

Además de lo anterior, en algunas de las características evaluadas aparecen ciertos comentarios o notas aclaratorias, antes de los parámetros técnicos, que son necesarias para el entendimiento de lo que se va a hacer en las pruebas.

3.1 TOLERANCIA DE FRECUENCIA

- **Parámetros técnicos**

“La máxima variación de frecuencia admisible para la portadora principal será de +2 kHz.”¹

- **Prueba**

1. Calibrar el excitador a la frecuencia a la cual se va a transmitir².
2. Por medio del frecuencímetro medir la frecuencia a la salida del excitador a diferentes intervalos de tiempo, abarcando al menos una hora, y seleccionar los valores máximo y mínimo de todas las muestras tomadas para esta frecuencia. Si la diferencia entre estos dos valores no supera los 2 kHz, entonces la variación de la frecuencia portadora se encuentra dentro de los límites aceptados.

¹ [10], pág. 7.

² Las frecuencias asignadas para la radiodifusión FM están comprendidas entre 88 MHz y 108 MHz.

3.2 PORCENTAJE DE MODULACIÓN

El porcentaje de modulación está definido en el Plan Técnico FM como: “la razón de la oscilación real de la frecuencia a la oscilación de frecuencia definida como el 100% de modulación a una oscilación de frecuencia de +75 kHz.”³ Esto se puede expresar como:

$$\% \text{ mod} = \frac{\Delta f_{\text{obtenida}}}{\Delta f_{\text{permitida}}} \quad (3)$$

Es decir que para obtener 100% de modulación como máximo, es necesario que la máxima desviación de frecuencia sea de 75 kHz. Esto también se indica en el Plan Técnico FM como: “La máxima excursión de frecuencia permisible es 75 kHz a uno y otro lado de la portadora.”⁴

Esta prueba se debe realizar en el modo monofónico ya que los espectros de la señal FM que se van a comparar, están basados en las funciones de Bessel para modulación monofónica de señales senoidales puras. Para conseguir un porcentaje de modulación de 100% en el modo estereofónico, los equipos deben calibrarse como se indica en la prueba pero teniendo en cuenta que al pasar al modo estéreo, la amplitud de cada una las señales que llegan a los canales izquierdo y derecho debe reducirse, debido a que en este modo las amplitudes, tanto de las señales aplicadas a cada canal como de las generadas alrededor de 38 kHz, aportan para la modificación de la desviación de frecuencia y por ende cambia el índice de modulación.

- **Parámetros técnicos**

“En ningún caso debe exceder de los siguientes valores en las crestas de recurrencia frecuente:

- Para sistemas monofónicos o estereofónicos, únicamente: 100%.
- Para sistemas monofónicos o estereofónicos, que utilicen una subportadora: 110%.
- Para sistemas monofónicos o estereofónicos, que utilicen dos o más subportadoras: 115%.”⁵

- **Prueba**

³ [10], pág. 4.

⁴ [10], pág. 7.

⁵ [10], pág. 6.

1. Escoger dentro del ancho de banda de audiofrecuencia⁶ (50Hz-15kHz) un número finito de señales senoidales (tonos) con las que se van a realizar las pruebas. Se sugieren valores que vayan aumentando cada 1 kHz hasta llegar a 15 kHz.
2. Hallar con tablas⁷ o mediante MATLAB⁸ los coeficientes de Bessel para las frecuencias que se escogieron (entre 12 y 15 coeficientes por cada frecuencia). Para esto es necesario conocer el índice de modulación β , lo cual es posible ya que la máxima desviación de frecuencia debe ser de 75 kHz, luego de la ecuación:

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (4)$$

es posible obtener β para cada una de las frecuencias escogidas.

3. Sabiendo que la potencia promedio de una señal FM es:

$$P = \frac{1}{2} A_c^2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n^2(\beta) \quad (5)$$

elevar al cuadrado cada uno de los coeficientes de Bessel encontrados para hallar la potencia de las componentes del espectro que se generan⁹, expresarlas en dBm y para cada frecuencia, restar el valor del de potencia de la portadora (J_0) de los demás valores de potencia de cada componente, tabulando los resultados. Esto permitirá encontrar y verificar fácilmente la diferencia que existe entre la potencia de todas las componentes de frecuencia generadas en la modulación respecto de la portadora.

4. Modular en FM cada una de las señales y usando el analizador de espectros, observar el espectro que se produce a la salida del excitador comparando la diferencia de potencia de las componentes, respecto a la portadora con las diferencias encontradas en la tabla generada en el punto 3 de esta prueba.
5. Variar la amplitud del mensaje hasta conseguir que las diferencias vistas en el analizador sean lo mas parecidas a las de la tabla. Cuando esto se consiga, se puede decir que la desviación de frecuencia es muy cercana a 75 kHz y por tanto que el porcentaje de modulación es de 100% aproximadamente.

⁶ [10], pág. 6.

⁷ En [8] y [6] se pueden encontrar estas tablas.

⁸ La función utilizada para esto fue BESSELJ(NU,Z). En la ayuda de MATLAB se puede encontrar todo acerca de su funcionamiento.

⁹ El factor $\frac{A_c^2}{2}$ se puede obviar, ya que es constante y no se necesita el valor real sino la diferencia de potencia con respecto a la portadora.

6. Además de calibrar los equipos al 100% de modulación, al medir la nueva amplitud del mensaje esta prueba permite calcular la sensibilidad de frecuencia del sistema modulador k_f gracias a la ecuación:

$$\Delta f = k_f A_m \quad (6)$$

Esto se hace para cada una de las señales de prueba, luego se deben obtener varios valores para k_f , los cuales teóricamente deberían ser iguales puesto que la sensibilidad no depende de la frecuencia del mensaje. No obstante, los valores que se encuentren pueden variar un poco por causa del filtro de preénfasis que modifica internamente la sensibilidad del DSG. Por tanto lo mejor sería encontrar los valores máximo y mínimo para k_f , para tener una idea del rango entre el que se encuentra la sensibilidad del equipo. También puede hallarse un valor promedio, pero si la variación de la sensibilidad de frecuencia es muy grande, este valor será poco útil.

Por otra parte, la sensibilidad de frecuencia encontrada es la que presenta el sistema en la condición que se encuentra el DSG al momento de realizar la prueba. Sin embargo, esta sensibilidad puede variar al modificar los controles L, R, OUT1 y OUT2 en el DSG. Debido a lo anterior, es conveniente hacer esta prueba con los controles del DSG puestos al máximo o al mínimo, para encontrar los máximos y mínimos valores, tanto de amplitud de la señal de entrada como de sensibilidad, y obtener así los rangos en los que el sistema puede funcionar con un porcentaje de modulación de 100% y 75 kHz de desviación de frecuencia.

3.3 RESPUESTA DE AUDIOFRECUENCIA¹⁰

Cuando en el Plan Técnico FM se menciona que la característica de respuesta de audiofrecuencia debe medirse a la salida de audio del transmisor, esto no significa que debe hacerse sobre la salida de todo el sistema, sino a la salida del equipo que modifica la señal de audio, monofónica o estereofónica según sea el caso, que se va a transmitir. En este caso sería la salida del DSG.

También es pertinente decir que la amplitud de la señal de entrada no está atada a ningún valor, debido a que para la prueba de audiofrecuencia no es necesario calibrar el sistema para tener 100% de modulación. Sin embargo, se debe verificar que las señales no saturen las entradas del DSG.¹¹

- **Parámetros técnicos**

¹⁰ La anchura de audiofrecuencia va desde 50 Hz hasta 15 kHz.

¹¹ Aunque no sea necesario, sería conveniente realizar la prueba con el equipo funcionando al 100% de modulación, teniendo en cuenta que de todas formas se tendrá que calibrar así para otras pruebas.

“Las características de respuesta de audiofrecuencia desde las terminales de entrada de audio del transmisor, hasta la salida del mismo, no deben variar en +1 dB, para frecuencias de 50 a 15000 Hz empleándose la curva normal de preacentuación de 75 microsegundos.”¹²

• Prueba

1. Generar, por medio de cualquier programa que le permita hacer gráficas, la curva de la magnitud de un filtro de preénfasis cuya constante de tiempo sea $\tau=75 \mu\text{s}$. La función de transferencia para estos filtros es aproximadamente:

$$H_{pe}(\omega) = 1 + j \frac{\omega}{\omega_0} \quad (7)$$

2. Verificar que el DSG este utilizando el filtro de preénfasis con una constante de tiempo $\tau=75 \mu\text{s}$.
3. Utilizando el analizador de espectros, medir la potencia de cada una de las componentes generadas a la salida del DSG cuando se introducen señales con valores de 50, 100, 400, 1000, 2500, 5000, 7500, 9500 11000 13000 y 15000 Hz.¹³ Si la prueba se hace para una transmisión monofónica es evidente que solo se generarán componentes de frecuencia en banda base, pero si se va a utilizar el equipo para una transmisión estereofónica, se deben tomar los valores tanto de las componentes de banda base como de las componentes alrededor de 38 kHz.
4. Tabular los datos obtenidos, hacer una gráfica con ellos y comparar los resultados con la curva de preacentuación de 75 μs generada en el punto 1 de esta prueba. Verificar cual es la máxima variación de dichos datos con respecto a la curva. Si la variación de los datos no excede 1dB entonces el equipo se encuentra dentro de los rangos de respuesta en frecuencia aceptable.

3.4 *DISTORSIÓN ARMÓNICA DE AUDIOFRECUENCIA*

Al igual que con la respuesta de audiofrecuencia, la distorsión armónica no se mide a la salida de todo el sistema sino a la salida del DSG.

• Parámetros técnicos

¹² [10], pág. 7.

¹³ Estos valores de frecuencia se escogieron teniendo en cuenta las recomendaciones del Ministerio de Comunicaciones.

“La distorsión armónica total de audiofrecuencia desde las terminales de entrada de audio del transmisor, hasta la salida del mismo, no debe exceder del 0.1% con una modulación del 100% para frecuencias de 50 a 15000 Hz.”¹⁴

- **Prueba**

1. Calibrar el sistema de transmisión para obtener una modulación del 100%.
2. Con ayuda del analizador de espectros medir la potencia de las componentes armónicas más significativas que se generan a la salida del DSG cuando se introducen señales senoidales puras a la entrada del mismo. La frecuencias de las señales de prueba son: 50, 100, 400, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 y 7000 Hz, y la amplitud de las señales debe ser la misma que se obtuvo en el punto 1 de esta prueba al calibrar el equipo para conseguir 100% de modulación. Las señales con frecuencias de 8 kHz en adelante no se utilizan puesto que sus armónicos estan por fuera del ancho de banda de audiofrecuencia.
3. Mediante la ecuación:

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100 \quad (8)$$

y utilizando los valores medidos, calcular la distorsión armónica (THD) para cada frecuencia. Si la distorsión encontrada para cada frecuencia no sobrepasa el 0.1%, entonces el sistema de transmisión se encuentra dentro de los limites permitidos.

3.5 EMISIONES NO ESENCIALES

Como las emisiones no esenciales deben medirse con la portadora sin modular, en la prueba que se haga solo se debe utilizar el excitador.

- **Parámetros técnicos**

“Las emisiones no esenciales, con respecto a la portadora sin modular, deben atenuarse de la siguiente manera:

Separación con la portadora	Atenuación
Entre 120 y 240 kHz.	25 dB
Entre 240 y 600 kHz.	35 dB

Para separaciones de más de 600 kHz con respecto a la portadora, se debe aplicar el valor que resulte de la expresión:

¹⁴ [10], pág. 7.

$$dB = 43 + 10 \log P[W]^{15} \quad (9)$$

- **Prueba**

1. Con ayuda del analizador de espectros observar la salida del excitador y medir la potencia de la portadora sin modular y de las componentes de frecuencia comprendidas en los rangos descritos en los parámetros técnicos y revisar si cumple o no con la condición de atenuación.

3.6 NIVEL DE RUIDO DE LA PORTADORA

- **Parámetros técnicos**

“El nivel de ruido modulado en frecuencia medido a la salida del transmisor, debe ser por lo menos, 60 dB inferior al nivel correspondiente a una modulación del 100% con una excursión de frecuencia de +75 kHz.

El nivel de ruido modulado en amplitud medido a la salida del transmisor, en la gama de frecuencias de 50 a 1500 Hz, debe ser por lo menos, 50 dB inferior al nivel correspondiente a una modulación del 100% con una excursión de frecuencia de +75 kHz.”¹⁶

- **Prueba**

1. Calibrar el sistema de transmisión para obtener una modulación del 100%.
2. Medir con el analizador de espectros la potencia del ruido de piso a la salida del excitador cuando se introducen al sistema señales entre 50 y 1500 Hz¹⁷ y comparar con la potencia de las componentes de la señal modulada. El sistema estará funcionando dentro de los rangos permitidos si la diferencia de potencia entre el ruido y las componentes es por lo menos 50 dB.
3. Repetir la mismas mediciones del punto 2 de esta prueba pero utilizando señales de entrada comprendidas entre 1500 y 15000 Hz.¹⁸ Para estas frecuencias el ruido debe estar mínimo 60 dB por debajo de las componentes de la señal modulada.

¹⁵ [10], pág. 8.

¹⁶ [10], pág. 8.

¹⁷ La amplitud de las señales debe ser la misma que se obtuvo al calibrar el equipo al 100% de modulación.

¹⁸ *Ibíd.*

3.7 INTENSIDAD DE CAMPO UTILIZABLE

- **Parámetros técnicos**

“La intensidad de campo utilizable para las diferentes clases de estaciones es de $66\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$. El contorno delimitado por este nivel determina el área de servicio.”¹⁹

- **Prueba**

1. Definir el área de servicio en la cual va a funcionar la emisora.
2. Con un receptor de FM seleccionar algunos puntos dentro del área de servicio en los cuales la recepción sea muy buena o muy deficiente.
3. Con un medidor de campo tomar medidas de la señal en los diferentes puntos seleccionados y determinar si la intensidad de campo en dichos puntos es de $66\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ o mayor. Esta zona delimita el área de servicio.

3.8 POTENCIA DE OPERACIÓN PARA ESTACIONES CLASE D

- **Parámetros técnicos**

“Máximo 250 vatios de p. r. a.²⁰, en la dirección de máxima ganancia de antena.”²¹

- **Prueba**

1. Por medio de un vatímetro ó analizador de espectros medir la potencia a la salida del transmisor (sin la antena).
2. Medir la potencia a la salida del cable que conecta al transmisor con la antena (sin conectar la antena) para poder calcular las pérdidas en cables y conectores.
3. Si se conoce la ganancia de la antena, ajustar el excitador para que la potencia de salida de la antena no sobrepase los 250 W, sino se conoce la ganancia de la antena, ajustar el excitador a una potencia baja para no sobrepasar el límite.

¹⁹ [10], pág. 8.

²⁰ Potencia radiada aparente.

²¹ [10], pág. 6.

4. Con la ayuda de un vatímetro medir la potencia del sistema en la dirección de máxima ganancia de la antena para verificar que no se sobrepasen los 250 W permitidos. Si esto llegará a ocurrir, modificar la ganancia de la antena, la potencia en el excitador o ambas para lograr que la p.r.a. sea menor a 250 W.

3.9 TOLERANCIA DE POTENCIA

- **Parámetros técnicos**

“Las variaciones de la p. r. a., no deben ser superiores a más o menos (\pm) el 10% de la potencia radiada aparente autorizada.”²²

- **Prueba**

1. Haciendo uso de los resultados de la prueba de potencia de operación, examinar si la p.r.a. medida tiene un valor cercano al límite (250 W). Si esto es así, se deben tomar medidas de potencia con el vatímetro cada ciertos intervalos de tiempo para observar las variaciones de potencia del sistema. Si la p.r.a. está excediendo en más de 10% el máximo valor autorizado, se debe modificar la ganancia de la antena, la potencia en el excitador o ambas hasta evitar que esto suceda.

²² [10], pág. 7.

Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Todas las pruebas llevadas a cabo de acuerdo con el protocolo diseñado y presentado en el Capítulo 3, el desarrollo de estas y el análisis que se hizo de ellas son el objeto de este capítulo. Esto incluye las modificaciones que debieron hacerse en las pruebas debido a la limitación de los equipos de medición o de prueba, o a la falta de ellos.

Antes de empezar el estudio es necesario mencionar algunos factores que intervinieron en las pruebas y algunas características que se mantendrán en la mayoría de ellas:

- La potencia utilizada en todas las pruebas, excepto las de potencia e intensidad de campo (4.7,4.8 y 4.9), fue la más baja que permite el excitador.
- Los resultados que se presentan son solo para la salida OUT1 del DSG teniendo en cuenta que los valores obtenidos para la salida OUT2 son prácticamente los mismos.

4.1 TOLERANCIA DE FRECUENCIA

• Equipos utilizados

- Excitador FM.
- Frecuencímetro CMC251

• Conexión y calibración de los equipos

Para realizar la medida se conecta la salida RF MON del excitador al CANAL B del frecuencímetro CMC251, el cual se debe calibrar de la siguiente forma:

- Botón Prescale: oprimido.
- Function: FREQ B.
- Gate: $\times 1000$.

• Desarrollo de la prueba

1. La frecuencia de transmisión del excitador escogida fue 98,1 MHz, ya que en esta frecuencia no se encuentra ninguna emisora en funcionamiento hasta el momento.
2. Con ayuda del frecuencímetro se tomaron los datos de frecuencia con intervalos de 1 minuto, 5, 10 y 15 minutos. La Tabla 6 muestra los resultados.

	Intervalo de tiempo entre muestras[<i>min</i>]			
	1	5	10	15
Muestra	f_c [MHz]	f_c [MHz]	f_c [MHz]	f_c [MHz]
1	98,09988	98,09988	98,09988	98,09988
2	98,09987	98,09987	98,09985	98,09983
3	98,09987	98,09985	98,09983	98,09982
4	98,09987	98,09983	98,09982	98,09980
5	98,09987	98,09983	98,09980	98,09979
6	98,09986	98,09982	98,09980	98,09979
7	98,09986	98,09982	98,09979	98,09977
8	98,09985	98,09981	98,09979	98,09977
9	98,09985	98,09980	98,09978	98,09977
10	98,09985	98,09980	98,09977	98,09977

Tabla 6. Mediciones de la tolerancia de frecuencia del excitador.

• Análisis

Revisando los datos se ve que el valor máximo es 98,09988 MHz (muestra 1 de todos los intervalos); el valor mínimo es 98,09977 MHz que aparece en la muestra 10 del intervalo de 10 minutos y en las muestras 7, 8, 9 y 10, tomadas con un intervalo de 15 minutos. Al hacer la diferencia entre estos dos valores el resultado es 0.11 kHz. De lo que se puede concluir que la tolerancia de frecuencia del excitador esta dentro de los límites admisibles, puesto que la máxima variación permitida es de 2 kHz.

Además de los datos que aparecen en la Tabla 6, se hizo la medición del valor de la frecuencia una hora después de tomar la última muestra del intervalo de 15 minutos, es decir con 3 ½ de diferencia respecto a la primera, y la frecuencia seguía manteniéndose en 98,09977 MHz, lo que lleva a pensar que la frecuencia no cambiará notablemente con el funcionamiento continuado del equipo, ni superará los 2 kHz de tolerancia.

Por otra parte, aunque la frecuencia no es exactamente 98.1 MHz, es lo suficientemente cercana a este valor como para ser sintonizada ya que los valores de frecuencias habilitados para el funcionamiento de las emisoras tienen una separación de 200 kHz.

4.2 PORCENTAJE DE MODULACIÓN

• Equipos utilizados

- Generador digital estéreo DSG.

- Excitador FM.
- Analizador de espectros TEK2712.
- Generadores de señales sg2023 y CFG253.
- Osciloscopio.

El generador sg2023 produce señales con menor distorsión armónica que el CFG253, sin embargo se deben utilizar los dos ya que el primero solo permite variar la amplitud de la señal en la salida de alta frecuencia y esta solo genera señales a partir de 9 kHz, luego para señales de menor frecuencia se utiliza el segundo generador.

• **Conexión y calibración de los equipos**

En la primera parte de la prueba los controles L, R, OUT1 y OUT2 del DSG deben estar en su máximo valor. La salida OUT1 se conecta a la entrada COMP del excitador y al osciloscopio y la salida RF MON del excitador se conecta al analizador de espectros.

Para obtener la precisión más grande en las medidas, el TEK2712 se debe calibrar como sigue:

- FREQUENCY: 98,1 MHz.
- SPAN DIVISION: dos o tres veces el valor de la frecuencia de prueba.
- RES BW: 300Hz.
- VERTICAL SCALE: 5 dB/div.
- REF LEVEL: este varía de acuerdo con las señales de prueba y su valor debe ser el necesario para observar todas las componentes de frecuencia que el SPAN DIVISION permita.

• **Desarrollo de la prueba**

Esta prueba se divide en dos partes, la primera se desarrolla con los controles L, R, OUT1 y OUT2 del DSG en su máximo valor y la segunda con la amplitud más grande para las señales que puede entregar el generador de señales sg2023.

Primera parte:

1. Los valores de frecuencia de las señales senoidales seleccionados para la realización de la prueba son los que aparecen en la Tabla 7. Con estos valores se hallaron los coeficientes de Bessel, se elevaron al cuadrado, se halló la potencia expresada en dBm y se encontró la diferencia entre la potencia de la portadora y la de las demás componentes. Los resultados de potencia se pueden ver en la

Tabla 7 y las diferencias en la Tabla 8. Obviamente, el índice de modulación utilizado para hallar los coeficientes de Bessel para cada frecuencia es el necesario para conseguir una desviación de frecuencia de 75 kHz, lo que implica un porcentaje de modulación de 100%.

	Frecuencia de prueba [kHz]							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$P(J_0)$	0,7925	7,1131	9,6695	11,2686	-6,9393	13,3395	16,6356	14,7191
$P(J_1)$	8,6027	10,6543	11,9625	12,9420	16,2395	14,3751	11,9600	15,4129
$P(J_2)$	1,3439	7,7830	10,5302	12,3251	2,3760	14,7791	15,6335	16,5248
$P(J_3)$	8,3995	9,9617	10,6960	11,0179	15,7569	10,8285	15,8772	9,6500
$P(J_4)$	2,7834	9,4072	12,4310	14,4372	11,5240	17,0885	8,1821	18,7368
$P(J_5)$	7,9000	8,0219	6,3919	2,3231	12,3093	0,8160	18,2085	12,7517
$P(J_6)$	4,6540	11,1866	14,0116	15,5158	16,2837	15,9497	14,0292	12,0762
$P(J_7)$	6,8868	2,6591	-9,8551	8,0023	0,7472	17,0505	7,9729	19,5376
$P(J_8)$	6,5321	12,3237	13,6942	12,2376	14,8102	4,6195	18,3823	20,1234
$P(J_9)$	4,8964	-7,8528	10,6759	15,5687	16,8503	13,8782	19,9054	17,8743
$P(J_{10})$	8,1071	11,9052	7,5220	4,4664	9,0918	18,9081	18,3997	13,7844
$P(J_{11})$	0,6608	7,9766	14,5184	12,5065	9,9957	19,2453	15,0163	8,3018
$P(J_{12})$	9,1260	7,8477	7,2507	16,4223	17,4827	17,2862	10,2406	1,6839
$P(J_{13})$	-15,7038	12,2234	9,8496	12,5852	18,9032	13,7687	4,3418	-5,9002
$P(J_{14})$	9,2970	-8,7805	14,8648	-2,8678	17,8342	9,0482	-2,5075	-14,3301

	Frecuencia de prueba [kHz]							
	9	10	11	12	13	14	15	
$P(J_0)$	8,8018	18,5087	19,3738	16,5713	8,2832	4,9680	14,9887	
$P(J_1)$	18,5537	12,6226	5,5213	16,8769	19,9763	20,7819	20,3063	
$P(J_2)$	-2,8181	17,2449	19,8760	19,0578	15,6385	7,2845	3,3612	
$P(J_3)$	18,9026	18,2344	11,8107	1,8523	15,2333	19,2897	21,2418	
$P(J_4)$	14,9986	-2,4595	16,1649	20,1381	21,6269	22,0307	21,8487	
$P(J_5)$	10,6691	19,0503	21,1688	21,4136	20,7856	19,6921	18,3375	
$P(J_6)$	19,7543	20,9835	20,2977	18,7580	16,7948	14,6201	12,3487	
$P(J_7)$	20,4921	19,0404	16,6161	13,7584	10,7183	7,6246	4,5470	
$P(J_8)$	18,1247	14,8313	11,0273	7,0477	3,0528	-0,8769	-4,7012	
$P(J_9)$	13,7840	8,9799	3,9682	-1,0290	-5,9092	-10,6260	-15,1608	
$P(J_{10})$	7,9644	1,8209	-4,2998	-10,2513	-15,9732	-21,4453	-26,6666	
$P(J_{11})$	0,9459	-6,4342	-13,6012	-20,4651	-26,9990	-33,2044	-39,0957	
$P(J_{12})$	-7,0889	-15,6382	-23,8086	-31,5555	-38,8802	-45,8032	-52,3520	
$P(J_{13})$	-16,0106	-25,6819	-34,8248	-43,4332	-51,5330	-59,1616	-66,3588	
$P(J_{14})$	-25,7217	-36,4805	-46,5729	-56,0264	-64,8893	-73,2144	-81,0528	

Tabla 7. Potencia en dBm para las componentes J_0 a J_{14} .

		Frecuencia de prueba [kHz]							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Diferencia para cada componente	J_0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0000	-0,0000	0,0000
	J_1	7,8102	3,5412	2,2930	1,6734	23,1788	1,0356	-4,6756	0,6938
	J_2	0,5514	0,6699	0,8607	1,0565	9,3153	1,4396	-1,0021	1,8057
	J_3	7,6070	2,8486	1,0265	-0,2507	22,6962	-2,5110	-0,7584	-5,0691
	J_4	1,9909	2,2941	2,7615	3,1686	18,4633	3,7490	-8,4535	4,0177
	J_5	7,1075	0,9088	-3,2776	-8,9455	19,2486	-12,5235	1,5729	-1,9674
	J_6	3,8615	4,0735	4,3421	4,2472	23,2230	2,6102	-2,6064	-2,6429
	J_7	6,0943	-4,4540	-19,5246	-3,2663	7,6865	3,7110	-8,6627	4,8185
	J_8	5,7396	5,2106	4,0247	0,9690	21,7495	-8,7200	1,7467	5,4043
	J_9	4,1039	-14,9659	1,0064	4,3001	23,7896	0,5387	3,2698	3,1552
	J_{10}	7,3146	4,7921	-2,1475	-6,8022	16,0311	5,5686	1,7641	-0,9347
	J_{11}	-0,1317	0,8635	4,8489	1,2379	16,9350	5,9058	-1,6193	-6,4173
	J_{12}	8,3335	0,7346	-2,4188	5,1537	24,4220	3,9467	-6,3950	-13,0352
	J_{13}	-16,4963	5,1103	0,1801	1,3166	25,8425	0,4292	-12,2938	-20,6193
	J_{14}	8,5045	-15,8936	5,1953	-14,1364	24,7735	-4,2913	-19,1431	-29,0492

		Frecuencia de prueba [kHz]							
		9	10	11	12	13	14	15	
Diferencia para cada componente	J_0	-0,0000	0,0000	-0,0000	-0,0000	-0,0000	-0,0000	0,0000	
	J_1	9,7519	-5,8861	-13,8525	0,3056	11,6931	15,8139	5,3176	
	J_2	-11,6199	-1,2638	0,5022	2,4865	7,3553	2,3165	-11,6275	
	J_3	10,1008	-0,2743	-7,5631	-14,7190	6,9501	14,3217	6,2531	
	J_4	6,1968	-20,9682	-3,2089	3,5668	13,3437	17,0627	6,8600	
	J_5	1,8673	0,5416	1,7950	4,8423	12,5024	14,7241	3,3488	
	J_6	10,9525	2,4748	0,9239	2,1867	8,5116	9,6521	-2,6400	
	J_7	11,6903	0,5317	-2,7577	-2,8129	2,4351	2,6566	-10,4417	
	J_8	9,3229	-3,6774	-8,3465	-9,5236	-5,2304	-5,8449	-19,6899	
	J_9	4,9822	-9,5288	-15,4056	-17,6003	-14,1924	-15,5940	-30,1495	
	J_{10}	-0,8374	-16,6878	-23,6736	-26,8226	-24,2564	-26,4133	-41,6553	
	J_{11}	-7,8559	-24,9429	-32,9750	-37,0364	-35,2822	-38,1724	-54,0844	
	J_{12}	-15,8907	-34,1469	-43,1824	-48,1268	-47,1634	-50,7712	-67,3407	
	J_{13}	-24,8124	-44,1906	-54,1986	-60,0045	-59,8162	-64,1296	-81,3475	
	J_{14}	-34,5235	-54,9892	-65,9467	-72,5977	-73,1725	-78,1824	-96,0415	

Tabla 8. Diferencia de potencia entre las componentes de frecuencia halladas.

- Con el CFG253 se introdujeron las señales senoidales puras entre 1kHz y 8 kHz y con el sg2023 las señales entre 9 kHz y 15 kHz,¹ a la entrada L2 del DSG y se observaron los espectros generados al modularlas.

¹ Como se menciona antes, estas señales se toman de la salida de alta frecuencia del generador de señales.

3. Comparando el espectro obtenido con la Tabla 8, se varió la amplitud de la señal de entrada hasta obtener aproximadamente, las mismas diferencias de potencia entre las componentes que en la tabla. Se tomó nota de la amplitud de las señales de entrada.
4. Se repitieron los puntos 2 y 3 para las entradas L1, R1 y R2. Los datos obtenidos aparecen en la Tabla 9.

	IN_{L1}	IN_{L2}	IN_{R1}	IN_{R2}
f_m [kHz]	A_m [V]	A_m [V]	A_m [V]	A_m [V]
1	–	–	–	–
2	–	–	–	–
3	–	–	–	–
4	1,25	1,43	1,38	1,21
5	1,17	1,27	1,24	1,15
6	1,09	1,13	1,11	1,06
7	0,99	1,02	1	0,94
8	0,88	0,9	0,88	0,85
9	0,8	0,8	0,79	0,775
10	0,735	0,74	0,725	0,72
11	0,69	0,69	0,67	0,67
12	0,64	0,64	0,625	0,62
13	0,61	0,61	0,595	0,59
14	0,6	0,6	0,6	0,6
15	0,705	0,705	0,735	0,735

Tabla 9. Amplitud necesaria de la señal mensaje para conseguir 100% de modulación con los controles del DSG en el máximo valor.

Segunda parte:

5. En esta parte se deberían poner los controles del DSG al mínimo para hallar el máximo voltaje necesario para conseguir una modulación de 100%. Sin embargo, el voltaje máximo del sg2023 no es suficiente para conseguirlo. Por esto se utiliza el sg2023 con la máxima amplitud de salida, que es 3.26 V, y se hace un barrido entre 9 kHz y 15 kHz para revisar que la señal de entrada no sature el equipo. Si esto sucede, se deben modificar los niveles de entrada L y R del DSG hasta que no halla saturación a ninguna frecuencia.²
6. De la Tabla 9 se ve que la amplitud mayor para este equipo aparece en 9 kHz. Por lo tanto, la prueba se comenzó introduciendo la señal con máxima amplitud en 9 kHz a la entrada L2 y observando el espectro en TEK2712. Luego se modificó el nivel de OUT1 hasta conseguir que las diferencias de potencia en el espectro mostrado fueran similares a las de la Tabla 8.

² La explicación acerca de la saturación del equipo aparece en el capítulo 2.

7. Con el equipo funcionando al 100% de modulación, se repitieron los puntos 2, 3 y 4. Los resultados se muestran en la Tabla 10. En esta no aparecen los datos entre 1 kHz y 8 kHz debido a que el CFG253 produce señales de muy baja calidad cuando se aumenta la amplitud de ellas.

	IN_{L1}	IN_{L2}	IN_{R1}	IN_{R2}
f_m [kHz]	A_m [V]	A_m [V]	A_m [V]	A_m [V]
9	3,26	3,22	3,18	3,14
10	2,98	2,93	2,92	2,88
11	2,74	2,74	2,69	2,66
12	2,58	2,58	2,52	2,5
13	2,44	2,44	2,38	2,23
14	2,44	2,44	2,4	2,4
15	2,8	2,8	2,91	2,91

Tabla 10. Amplitud necesaria de la señal mensaje para conseguir 100% de modulación con la máxima amplitud de señal del sg2023.

• Análisis

Antes de realizar el análisis de resultados, es necesario aclarar que en la primera parte de la prueba, la amplitud de la señal de entrada para frecuencias entre 1 kHz y 3 kHz no fue posible tomarla, debido a que la señal generada por el CFG253 a estas frecuencias presentaba mucha distorsión y los espectros generados no concordaban con lo que se esperaba.

Para la segunda parte también se presentaron problemas con el CFG253, pero esta vez no fue posible generar ninguna señal con este equipo pues con los niveles de voltaje de salida necesarios, el CFG253 presenta demasiada distorsión en la señal y el espectro generado a la salida del DSG se ve afectado drásticamente, por lo que fue imposible conseguir la respuesta deseada y las amplitudes de la señal de entrada para frecuencias entre 1 kHz y 8 kHz no se tomaron.

Primera parte:

Con los resultados obtenidos en esta parte de la prueba se puede encontrar el mínimo valor de amplitud que necesita el Generador Estéreo para conseguir un porcentaje de modulación de 100%. De la Tabla 9 se observa que este valor es $A_m=0.59$ V y ocurre a una frecuencia de 13 kHz, aunque alrededor de esta frecuencia también aparecen valores de amplitud muy cercanos. Con base en esto se puede afirmar que la amplitud mínima de la señal de entrada, para el DSG, está definida por las frecuencias de audio más altas y es aproximadamente $A_{m-min}=0.59$ V.

La sensibilidad de frecuencia también puede ser calculada con los datos que se obtuvieron. Como se sabe, dicha sensibilidad debe ser la misma para todo el ancho de banda de audiofrecuencia, sin embargo, al comparar los valores de amplitud de la señal de entrada para las frecuencias más bajas (4-9 kHz) con los valores de amplitud para las frecuencias más altas (10-15 kHz) en la Tabla 9, se nota que la diferencia que hay entre ellos producirá valores de sensibilidad k_f que diferirán un poco entre ellos. Por lo tanto, no es conveniente hallar un valor único de k_f , sino un rango de valores entre los que puede estar. Esto se había mencionado en el Capítulo 3 y se debe a la modificación que provoca el filtro de preénfasis en la señal de entrada.

Antes de hallar un rango para la sensibilidad de frecuencia, es necesario estimar los valores de amplitud que no fue posible conseguir en la práctica. En la Tabla 11 se muestra los datos obtenidos mediante una estimación lineal para cada una de las entradas del DSG.

	IN_{L1}	IN_{L2}	IN_{R1}	IN_{R2}
f_m [kHz]	A_m [V]	A_m [V]	A_m [V]	A_m [V]
1	1,411	1,554	1,510	1,364
2	1,342	1,471	1,431	1,298
3	1,273	1,389	1,351	1,232

Tabla 11. Estimación de la señal de entrada para frecuencias entre 1 kHz y 3 kHz.

La sensibilidad de frecuencia se calcula por medio de la ecuación (16) y los resultados esta consignados en la Tabla 12.

	Entradas			
	IN_{L1}	IN_{L2}	IN_{R1}	IN_{R2}
f_m [kHz]	k_f [kHz/V]	k_f [kHz/V]	k_f [kHz/V]	k_f [kHz/V]
1	53,15	48,26	49,67	54,98
2	55,89	50,98	52,41	57,78
3	58,91	53,99	55,51	60,88
4	60	52,45	54,35	61,98
5	64,10	59,05	60,48	65,22
6	68,81	66,37	67,57	70,75
7	75,76	73,53	75	79,79
8	85,23	83,33	85,23	88,23
9	93,75	93,75	94,94	96,77
10	102,04	101,35	103,45	104,17
11	108,69	108,69	111,94	111,94
12	117,19	117,19	120	120,97
13	122,95	122,95	126,05	127,12
14	125	125	125	125
15	106,38	106,38	102,04	102,04

Tabla 12. Sensibilidad de frecuencia para cada entrada del DSG.

Como puede verse, la sensibilidad k_f varía considerablemente, más de 150% entre el menor y el mayor valor considerando todas las entradas, con el cambio de la frecuencia, lo que produce también una variación en la desviación de frecuencia para un mismo valor de amplitud de la señal de entrada. Este es un efecto no deseado que presenta el equipo (DSG), así que al calibrarlo se deberá hacer para aquellas frecuencias que consiguen un 100% de modulación con una amplitud menor de la señal de entrada (frecuencias entre 12 kHz y 14 kHz).

Por ejemplo, al utilizar como máxima amplitud para la señal de entrada $A_{m-max}=0.59$, que es el mínimo valor que se obtuvo en la prueba (Tabla 9), para evitar que la desviación de frecuencia sobrepase los 75 kHz se obtendrían los valores para dicha desviación que se observan en la Tabla 13. La desviación de frecuencia presenta una variación de más de 130% para cada una de las entradas.

	Entradas			
	IN _{L1}	IN _{L2}	IN _{R1}	IN _{R2}
f_m [kHz]	Δf [kHz]	Δf [kHz]	Δf [kHz]	Δf [kHz]
1	31,36	28,47	29,30	32,44
2	32,97	30,08	30,92	34,09
3	34,76	31,86	32,75	35,92
4	35,4	30,94	32,06	36,57
5	37,82	34,84	35,68	38,48
6	40,60	39,16	39,86	41,74
7	44,70	43,38	44,25	47,07
8	50,28	49,17	50,28	52,06
9	55,31	55,31	56,01	57,10
10	60,20	59,80	61,03	61,46
11	64,13	64,13	66,04	66,04
12	69,14	69,14	70,80	71,37
13	72,54	72,54	74,37	75
14	73,75	73,75	73,75	73,75
15	62,76	62,76	60,20	60,20

Tabla 13. Desviación de frecuencia para una amplitud de la señal de entrada de 0.59 V.

Segunda parte:

En esta parte se pretendía encontrar la máxima amplitud en la señal de entrada con la que el DSG es capaz de trabajar funcionando al 100% de modulación. No obstante, el generador de señales utilizado (sg2023) no permite producir señales de más de 3,26 V de amplitud, por lo que el valor máximo con el que puede trabajar el DSG no se pudo hallar. Sin embargo, los controles OUT1 y OUT2 no se acercaron a su valor mínimo, lo que significa que el equipo puede trabajar fácilmente con señales de entrada más

grandes, como las generadas por cualquier equipo de amplificación de los que se utilizan en la actualidad.

También se pueden comparar la Tabla 9 y la Tabla 10 para comprobar que la menor variación en la señal de entrada se produce en las frecuencias más altas.

4.3 RESPUESTA DE AUDIOFRECUENCIA

Aunque no era necesario, para esta prueba se utilizó el DSG calibrado como en la segunda parte de la prueba de porcentaje de modulación, pero con la diferencia que esta vez se utilizó la salida de baja frecuencia del sg2023 que me permite generar señales entre 50 Hz y 9 kHz, algo que no es posible con la salida de alta frecuencia.

• Equipos utilizados

- Generador digital estéreo DSG.
- Generador de señales sg2023.
- Analizador de espectros TEK2712.

• Conexión y calibración de los equipos

Esta prueba se puede realizar en modo monofónico o estereofónico y sólo se utiliza el DSG, el cual debe tener el filtro de preénfasis funcionando con una constante de tiempo $\tau=75 \mu\text{s}$. La salida OUT1 de este se conecta al analizador de espectros.

Para una buena medición, el TEK2712 debe ser ajustado así:

- FREQUENCY: la frecuencia central se debe ir cambiando entre 0 Hz y 38 kHz, dependiendo de la componente que se va a medir.
- SPAN DIVISION: la mitad o el mismo valor de la frecuencia de prueba.
- RES BW: 300Hz.
- VERTICAL SCALE: 1 dB/div.
- REF LEVEL: este varía de acuerdo con las señales de prueba y su valor debe ser el necesario para observar todas las componentes de frecuencia que se generan.

• Desarrollo de la prueba

1. Utilizando la salida de baja frecuencia del sg2023, se introdujeron una por una las señales senoidales con los valores de frecuencia que aparecen en la Tabla 14 en la entrada L2 del DSG, el cual fue utilizado en el modo estéreo. Por tanto las mediciones se realizaron alrededor de 0 kHz y 38 kHz.

- Se midió la potencia de cada una de las componentes generadas por las señales de entrada en la salida OUT1. Se tomo nota de estos valores.
- Usando las mismas señales, se procedió de manera similar con las entradas L1, R1 y R2, mediciones hechas también para la salida OUT1. Todos los datos encontrados fueron tabulados y se pueden ver en la Tabla 14 y la Tabla 15.

	IN _{L1}				IN _{L2}			
	0-f	0+f	38-f	38+f	0-f	0+f	38-f	38+f
f_m [kHz]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]
0.4	-44,9	-41,8	-34,1	-34,1	-44,8	-41,6	-34,0	-34,1
1	-35,1	-34,0	-22,1	-22,0	-35,6	-34,5	-22,7	-22,6
2.5	-10,9	-10,9	-6,9	-6,9	-13,3	-13,3	-9,2	-9,2
5	-4,2	-4,2	-5,2	-5,1	-4,7	-4,7	-5,9	-5,7
7.5	0,1	0,2	-3,1	-3,0	0,0	0,0	-3,3	-3,1
9.5	2,8	2,8	-1,5	-1,3	2,7	2,7	-1,5	-1,3
11	4,2	4,2	-0,7	-0,4	4,2	4,2	-0,6	-0,5
13	5,5	5,5	0,5	0,7	5,6	5,6	0,5	0,8
15	4,4	4,4	-0,9	-0,6	4,5	4,5	-0,8	-0,5

Tabla 14. Potencia de las componentes generadas por las entradas L1 y L2.

	IN _{R1}				IN _{R2}			
	0-f	0+f	38-f	38+f	0-f	0+f	38-f	38+f
f_m [kHz]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]	P [dBm]
0.4	-42,5	-45,6	-34,9	-34,9	-42,6	-45,5	-35,0	-34,9
1	-35,3	-35,3	-23,4	-23,4	-34,6	-35,6	-22,8	-22,8
2.5	-13,1	-13,1	-9,2	-9,1	-10,8	-10,8	-6,7	-6,6
5	-4,7	-4,7	-5,7	-5,6	-4,1	-4,1	-5,2	-5,0
7.5	0,0	0,0	-3,3	-3,1	0,2	0,2	-3,0	-2,9
9.5	2,7	2,7	-1,4	-1,3	2,8	2,8	-1,4	-1,2
11	4,3	4,2	-0,5	-0,3	4,3	4,3	-0,5	-0,3
13	5,6	5,6	0,6	0,8	5,6	5,6	0,5	0,8
15	4,1	4,1	-1,3	-1,0	4,1	4,1	-1,4	-1,0

Tabla 15. Potencia de las componentes generadas por las entradas R1 y R2.

• Análisis

Además de los valores de frecuencia utilizados para las señales de prueba, también se sugería utilizar señales de 50 Hz y 100 Hz. Infortunadamente, la mínima separación horizontal (span/div) que permite el analizador de espectros es 1 kHz/div y las frecuencias mucho más bajas que este valor no se pueden apreciar.

En cuanto a los resultados de las pruebas realizadas, se dibujaron las gráficas de la curva de preénfasis con una constante de $75 \mu\text{s}$ y la curva obtenida de las pruebas en el DSG (Figura 22). Para esta última curva solo se utilizaron los datos de de la entrada IN_{L1} ($0+f$ Hz) ya que los resultados para los otras entradas son similares y el análisis hecho es válido para todas.

De la Figura 22 se observa que para valores de frecuencia mayores a $5 \cdot 2\pi$ rad/s (5 kHz), la curva obtenida de la prueba al DSG es similar a la curva teórica y la variación con respecto a la curva de $75 \mu\text{s}$, aunque en algunos casos sobrepasa el límite de 1 dB, se mantiene cerca de este. Caso contrario ocurre con la diferencia de ganancia para las frecuencias de 2.5 kHz hacia abajo, las cuales presentan una gran diferencia con respecto a la curva teórica y sobrepasan considerablemente el límite, al punto que para los valores de frecuencia de 400 Hz y 1 kHz no aparece su valor de ganancia en la gráfica.

Se puede concluir de lo anterior que para valores mayores a 5 kHz la respuesta de audiofrecuencia del DSG es cercana a lo aceptable, aunque se esté tan cerca del límite exigido y que en algunos casos se sobrepase un poco. Para valores menores de frecuencia la respuesta del DSG comienza a ser bastante deficiente, sobretodo a bajas frecuencias. Por lo tanto, se puede afirmar que la respuesta de audiofrecuencia del DSG no es la idónea y no cumple con los estándares exigidos, por lo cual se considera que para esta característica, el sistema de transmisión no se encuentra dentro de los parámetros exigidos para una emisora FM.

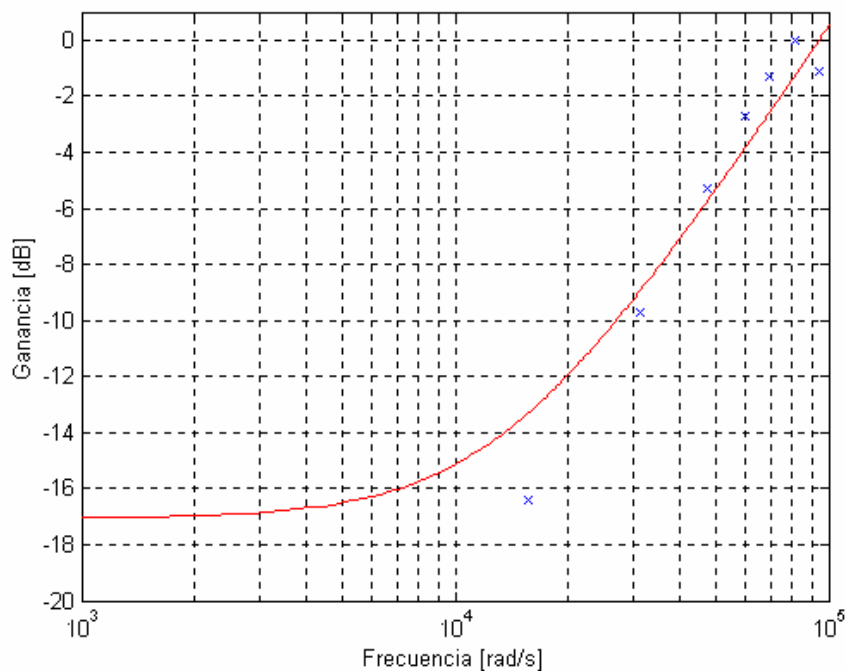


Figura 22. Comparación de la curva de preénfasis de 75 μ s (rojo) con la curva obtenida de la prueba de audiofrecuencia (azul).

4.4 DISTORSIÓN ARMÓNICA DE AUDIOFRECUENCIA

• Equipos utilizados

- Generador digital estéreo DSG.
- Generador de señales sg2023.
- Analizador de espectros TEK2712.

• Conexión y calibración de los equipos

Para empezar, se debe calibrar el sistema de transmisión al 100% de modulación como se hizo en la prueba de porcentaje de modulación en el numeral 4.2, pero esta vez se usará la salida de baja frecuencia del sg2023 puesto que para la prueba no es necesario variar la amplitud de la señal. Después de asegurarse de que el sistema esté trabajando al 100% de modulación, se conecta la salida del generador al TEK2712, que se debe calibrar de la siguiente forma:

- FREQUENCY: el valor de la frecuencia de prueba.
- SPAN DIVISION: el valor de la frecuencia de prueba.
- RES BW: 300Hz.
- VERTICAL SCALE: 5 dB/div.
- REF LEVEL: este varía de acuerdo con las señales de prueba y su valor debe ser el necesario para observar todas las componentes armónicas que se puedan.

• Desarrollo de la prueba

1. Con el sg2023 se introdujeron una a una las señales que se muestran en la tabla, a la entrada L2 del DSG y se observaron los espectros generados por cada una de ellas en la salida OUT1.
2. Se tomó nota de los valores de potencia de la componente fundamental y de los armónicos más representativos, es decir aquellos con mayor potencia y que eran perceptibles por el analizador.

3. Se repitieron las mismas mediciones introduciendo las señales en las otras entradas del DSG. Los resultados están consignados en la Tabla 16.

Las señales con frecuencias menores a 1 kHz no pudieron utilizarse debido a que la resolución del TEK2712 no permite observar estas componentes.

		<i>Armónico</i>				
		<i>Fundamental</i>	1		2	
	f_m [kHz]	P [dBm]	$f_{armónico}$ [kHz]	P [dBm]	$f_{armónico}$ [kHz]	P [dBm]
IN_{L1}	1	-33,6	2	-63	3	-61,6
	2	-15,4	4	-51,3	6	-60,9
	3	-8,4	6	-59,1	9	-60,4
	4	-5,3	8	–	12	-55,9
	5	-3,7	10	-57,2	15	-52,3
	6	-2,2	12	–	–	–
	7	0,1	14	–	–	–
IN_{L2}	1	-33,8	2	-65,2	3	-64,1
	2	-17,4	4	-65,8	6	-63,4
	3	-10,0	6	-62,8	9	-61,8
	4	-6,6	8	–	12	-57,0
	5	-4,3	10	-58,4	15	-54,4
	6	-1,9	12	–	–	–
	7	0,0	14	–	–	–
IN_{R1}	1	-36,3	2	-66,9	3	-64,5
	2	-17,8	4	-46,6	6	-70,1
	3	-10,0	6	-68,8	9	-71,1
	4	-6,3	8	-63,8	12	-58,4
	5	-3,6	10	-59,8	15	-53,4
	6	-1,8	12	–	–	–
	7	0,0	14	–	–	–
IN_{R2}	1	-35,6	2	-65,5	3	-63,0
	2	-15,4	4	-45,8	6	-67,0
	3	-8,1	6	-63,8	9	-70,4
	4	-5,1	8	-61,8	12	-56,1
	5	-4,2	10	-60,4	15	-52,7
	6	-1,5	12	–	–	–
	7	0,1	14	–	–	–

Tabla 16. Potencia de las componentes armónicas generadas por el DSG.

- **Análisis**

Con los valores medidos anteriormente, se calculó la distorsión armónica para cada entrada y para cada una de las señales de prueba que se usaron. Los resultados se muestran en la Tabla 17.

Es claro que con señales de 1 kHz la distorsión armónica total sobrepasa el 0.1% permitido, y que para 2 kHz la entrada IN_{R1} también lo hace y la entrada IN_{R2} se acerca al límite. Esto permite concluir que para señales menores de 2 kHz es probable que la distorsión armónica de audiofrecuencia no cumpla con los parámetros exigidos y por tanto que el sistema de transmisión tampoco los cumpla para esta característica.

f_m [kHz]	Distorsión armónica total [%]			
	IN_{L1}	IN_{L2}	IN_{R1}	IN_{R2}
1	0,19570752	0,11814275	0,17462661	0,20876877
2	0,02585801	0,00289808	0,13182699	0,09120371
3	0,0010595	0,00084376	0,00015298	0,00027552
4	0,00087096	0,00091201	0,00064173	0,0008226
5	0,00145086	0,00105183	0,00107425	0,00143276
6	–	–	–	–
7	–	–	–	–

Tabla 17. Distorsión armónica total de audiofrecuencia

Teniendo en cuenta los resultados de esta prueba y de la anterior, se observa que los problemas se están presentando en las frecuencias más bajas. Esto se puede deber a que los equipos ya han sido modificados anteriormente y esto pudo alterar las características del equipo, sobre todo en lo correspondiente al filtro de preénfasis. Las mediciones también se pudieron ver afectadas por la distorsión armónica del generador de señales que es mayor a bajas frecuencias.

4.5 EMISIONES NO ESENCIALES

- **Equipos utilizados**

- Excitador FM
- Analizador de espectros TEK2712.

- **Conexión y calibración de los equipos**

Se conecta la salida RF MON del excitador a la entrada del analizador de espectros y este se usa calibrado como se indica a continuación:

- FREQUENCY: 98,1 MHz.
- SPAN DIVISION: cambiar entre 100 kHz/div o 200 kHz/div.
- RES BW: 300Hz.
- VERTICAL SCALE: 10 dB/div.
- REF LEVEL: bajar paulatinamente el nivel hasta lograr ver las componentes de frecuencia de las emisiones no esenciales.

- **Desarrollo de la prueba**

1. Mediante el TEK2712 se observó el espectro generado a la salida del excitador, en un rango de frecuencias separado de la portadora entre 120 kHz y 2 MHz. Sin embargo no se encontraron componentes de frecuencia en estos rangos, por lo que no existen datos de esta prueba.

- **Análisis**

El hecho de que no se halla podido encontrar ninguna componente de frecuencia a pesar de la resolución del analizador de espectros, que es de más de 70 dB, significa que la potencia de las componentes no esenciales es muy pequeña, y que no afecta significativamente el rendimiento de los equipos ni del sistema de transmisión. Además el requisito de atenuación exigido se cumple ampliamente.

4.6 NIVEL DE RUIDO DE LA PORTADORA

- **Equipos utilizados**

- Generador digital estéreo DSG.
- Excitador FM.
- Analizador de espectros TEK2712.
- Generador de señales sg2023.

- **Conexión y calibración de los equipos**

Se deben calibrar los equipos al 100% de modulación. La salida OUT1 del DSG se conecta a la entrada COMP del excitador, y la salida RF MON se conecta al analizador de espectros.

- **Desarrollo de la prueba**

1. Con el sg2023 se generaron señales senoidales de las siguientes frecuencias: 50, 100, 400, 1000, 2500, 5000, 7500, 9500 11000 13000 y 15000 Hz y se

introdujeron a la entrada L2 del DSG. En el TEK2712 se observó el espectro y se comparó con el ruido generado para encontrar la diferencia en dB entre la potencia del ruido y la de la señal FM.

2. Se repitió el punto anterior para las demás entradas del DSG. Los datos obtenidos de todas las pruebas mostraron que el ruido es inferior en más de 60 dB para todas las entradas y todas las frecuencias probadas.

- **Análisis**

Del desarrollo de la prueba se extrae que el ruido presente en el sistema de transmisión es tolerable y cumple con las expectativas propuestas en cuanto al los parámetros requeridos.

4.7 INTENSIDAD DE CAMPO UTILIZABLE

Infortunadamente no fue posible conseguir el medidor de campo, necesario para precisa realización de la prueba, debido a que en los laboratorios de la E3T no se cuenta con estos equipos y a que en la ciudad son muy pocas las entidades o empresas que cuentan con ellos y no permiten su préstamo o alquiler. Por todo esto la prueba se hizo de manera cualitativa, utilizando un receptor común para detectar de manera aproximada el área de servicio en la que funciona la emisora y cuantitativa, midiendo la potencia de algunos puntos seleccionados dentro del área de servicio.

- **Equipos utilizados**

- Generador digital estéreo DSG.
- Excitador FM.
- Analizador de espectros TEK2712.
- Generador de señales sg2023.
- Receptor FM estéreo.

- **Conexión y calibración de los equipos**

La salida OUT1 del DSG, que debe estar funcionando al 100% de modulación, se conecta a la entrada COMP del excitador; la salida RF OUT del excitador se conecta a la antena con la que se va a transmitir. Al analizador de espectros se conecta una antena para la recepción de la señal y se calibra como sigue:

- FREQUENCY: 98,1 MHz.
- SPAN DIVISION: 100 kHz/div.

- RES BW: auto.
- VERTICAL SCALE: 1 dB/div.
- REF LEVEL: bajar paulatinamente el nivel hasta lograr ver la señal de la emisora.

• Desarrollo de la prueba

1. Con el sg2023 se generó un tono de 4 kHz y se aplicó a una de las entradas del DSG. El tono utilizado debe estar entre las frecuencias más bajas para que pueda ser escuchado más fácilmente.
2. Con los equipos calibrados como se dijo y con el tono generado, se puso en funcionamiento la emisora.

Con el receptor FM sintonizado a la frecuencia de la emisora (98,1 MHz) se fueron tomando puntos donde se podía escuchar la emisora y eran susceptibles para hacer una medición,³ (Figura 23 y Figura 24). Más allá de los puntos que se ven en las figuras la recepción es de muy baja calidad.

Los puntos en rojo corresponden a lugares fuera de los edificios y se identifican con la letra "O". Los puntos en el interior de los edificios se identifican con la letra "I" y el color morado (oscuro) corresponde al primer nivel de los edificios, el azul al segundo, el amarillo al tercero y el verde identifica a puntos que están tanto en el segundo como en el tercer nivel pero que coinciden al verlos desde arriba. Los números encerrados en un círculo sirven para reconocer los edificios:

Número	Nombre del edificio
1	Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas
2	Edificio Daniel Casas
3	Centro de Documentación e Investigación Histórica Regional, Cicelpa y Laboratorio de Restauración de Documentos
4	Laboratorio de Alta Tensión
5	Ingeniería Eléctrica
6	Ingeniería Industrial
7	Edificio Federico Mamitza
8	Instituto de Lenguas
9	Capruis y Favuis
10	Aula Máxima de Física
11	Biblioteca

Tabla 18. Nombre de los edificios que aparecen en la vista aérea.

³ Debido a que el analizador de espectros con el que cuenta la E3T no es portátil, no es posible hacer mediciones en cualquier lugar y se está sujeto a los lugares donde exista una toma de energía para alimentar el equipo.

Punto	I-0	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10	I-11	I-12
Potencia [dBm]	-35	-59	-51	-43	-70	-61	-50	-68	-43	-54	-47	-60	-70
Punto	I-13	I-14	I-15	I-16	I-17	I-18	I-19	I-20	I-21	I-22	I-23	I-24	I-25
Potencia [dBm]	-65	-67	-56	-54	-59	-59	-52	-52	-57	-42	-41	-49	-41
Punto	I-26	I-27	I-28	O-1	O-2	O-3	O-4	O-5	O-6	O-7	O-8	O-9	O-10
Potencia [dBm]	-20	-35	-31	-54	-56	-53	-67	-61	-56	-60	-55	-54	-18

Tabla 19. Potencia de los puntos seleccionados dentro del área de servicio.

- Con el analizador de espectros se midió la potencia de cada uno de los puntos seleccionados dentro del área de servicio y se tabularon los datos obtenidos (Tabla 19).



Figura 23. Puntos seleccionados para realizar mediciones (primer nivel dentro de los edificios y afuera de ellos).

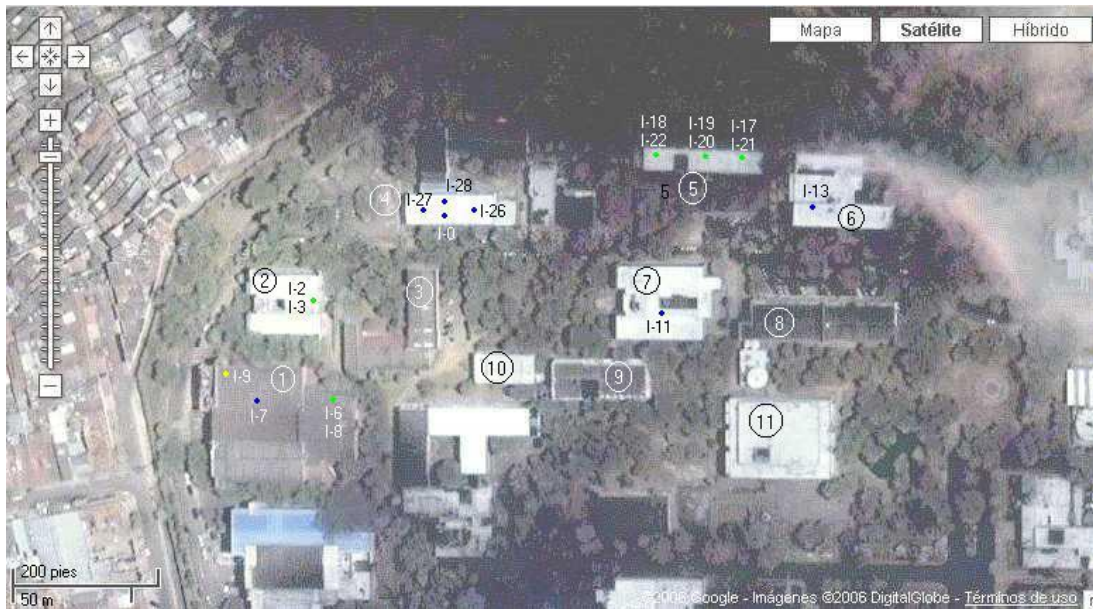


Figura 24. Punto seleccionados para realizar mediciones (segundo y tercer nivel dentro de los edificios).

Fuente : autores

• Análisis

Aunque la falta de equipos impidió realizar mediciones del campo eléctrico generado, con los datos de potencia obtenidos durante la prueba se generó una gráfica del área de cobertura de la emisora (Figura 25). Para esto se creó una matriz con las coordenadas de los puntos donde se tomaron las medidas y se estimaron los valores de potencia para los lugares o posiciones en la matriz en los cuales no fue posible realizar mediciones por la dificultad que se presentó al no contar con un dispositivo portátil. Esta estimación se hizo basada en la propagación de espacio libre y los puntos utilizados para generar la gráfica fueron los que se encontraban a nivel del suelo puesto que no se contaba con los datos de altura para cada punto.

En la gráfica se muestra en rojo las zonas de mejor recepción, variando hasta llegar al color azul, que representa las zonas donde la cobertura es de menor calidad. Al lado derecho de la gráfica hay una guía de cómo van cambiando los colores con respecto al valor de la potencia. La zona roja que aparece en el edificio (4) corresponde a la antena de transmisión.

El reducido tamaño del área de cobertura se debe principalmente a que la antena que se utilizó para la transmisión no es la adecuada para la radiodifusión FM, y a la pérdida de potencia por la diferencia que existe entre la impedancia de salida del excitador y la de la antena. No obstante, para fines académicos esto puede representar una ventaja ya que cuando se vaya a realizar una práctica acerca de este tema, las personas que lo estén haciendo no tendrán que salir del campus para tomar las

medidas. De todos modos se espera poder conseguir la antena adecuada para mejorar en este aspecto.

4.8 POTENCIA DE OPERACIÓN PARA ESTACIONES CLASE D

- **Equipos utilizados**

- Excitador FM.
- Antena de transmisión.
- Vatímetro CN620A.
- Antena de carga (Dummy Load)

- **Conexión y calibración de los equipos**

Conectar la salida RF OUT del Excitador a la entrada del vatímetro y la salida de este a la antena de carga o a la de transmisión, dependiendo de la prueba.

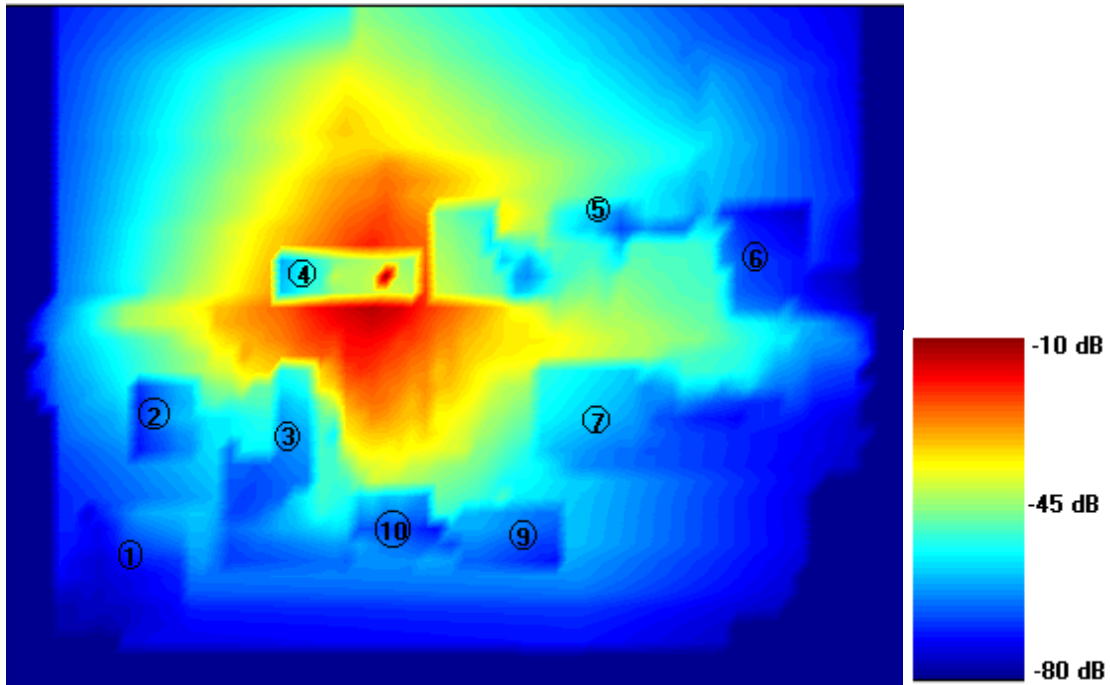


Figura 25. Gráfica de la estimación del área de cobertura de la emisora.

Fuente: autores

- **Desarrollo de la prueba**

1. Se midió la potencia que entrega el excitador cuando se conecta a una antena de carga con una impedancia de igual a la impedancia de salida del excitador (50Ω). El valor medido cuando el excitador está funcionando con su máxima potencia fue de $P = 7 \text{ W}$.
2. Se realizó la misma medición anterior pero esta vez se utilizó la antena de transmisión. El valor obtenido para la máxima potencia fue $P = 4 \text{ W}$.

- **Análisis**

De la primera medición se puede extraer que la máxima potencia que el excitador es capaz de proporcionar es de 7 W , ya que la medida se hizo con las impedancias del excitador y la antena de carga acopladas, lo que permite obtener la máxima transferencia de potencia.

Ahora, al utilizar la antena de transmisión se obtuvo un valor de potencia de 4 W , menor que el anterior, lo que quiere decir que en los conectores, el cable y la antena se están perdiendo 3 W . Este comportamiento se esperaba porque la antena utilizada no está dentro del rango de frecuencias de FM, además la impedancia del cable de la antena no está acoplada con la salida del excitador.

De lo anterior se concluye que no existe ningún problema con sobrepasar la máxima potencia permitida pues la emisora está trabajando con potencias bajas. Incluso si se utilizara una antena calibrada a la frecuencia de funcionamiento de la emisora, no se violaría el límite porque la potencia del excitador es muy baja y la antena tendría que tener una ganancia mayor a $35,7$.

4.9 TOLERANCIA DE POTENCIA

- **Equipos utilizados**

- Excitador FM.
- Antena de transmisión.
- Vatímetro CN620A.

- **Conexión y calibración de los equipos**

Conectar la salida RF OUT del Excitador a la entrada del vatímetro y la salida de este a la antena de transmisión.

- **Desarrollo de la prueba**

1. En esta prueba se debía tomar los valores de la potencia de salida cada cierto intervalo de tiempo pero no fue posible debido a que la sensibilidad del vatímetro utilizado no lo permitió. Sin embargo la aguja del vatímetro que indicaba el valor de la potencia de salida, se mantuvo muy cercana (prácticamente estática) a los 4 W medidos.

- **Análisis**

Aunque no fue posible tomar datos precisos de los valores de potencia, el hecho de que la aguja de medida se mantuviera casi fija en un solo valor indica que la variación de la potencia es muy poca. Además al estar funcionando la emisora a potencias alejadas del límite se asegura que a pesar de la variación que se produzca, nunca se alcanzarán los 250 W máximos permitidos.

Capítulo 5. PROPUESTA EMISORA E3T ESTÉREO

La implementación y puesta en funcionamiento de la emisora E3T estéreo requiere de algunos equipos que aún no se tienen, y de la ubicación y adecuación de los estudios, por lo tanto aquí se da un referente para ello [7][3].

5.1 EQUIPOS NECESARIOS

- **Generador estéreo**

Actualmente se cuenta con este equipo. Este se encarga de mezclar las señales que vienen en dos canales y la portadora para transmitir las en una sola banda, además, indica cuando se sobrepasan los niveles de entrada. Se sugiere conseguir un generador nuevo, ya que el que se tiene presenta problemas en su funcionamiento.

- **Transmisor**

Actualmente se cuenta con este equipo y consta de un excitador que genera la frecuencia a la cual se va a transmitir y un amplificador de potencia. Este va conectado al cable que va a la antena.

- **Antena**

Este elemento se encarga de radiar la energía hasta los receptores encontrados en el área de cobertura. El elemento que actualmente se tiene es una antena omnidireccional que opera en las bandas de 135 a 180 MHz. No obstante, se está gestionando el traslado de una antena que fue donada por la emisora TELEUIS, la cual aumentará la cobertura.

- **Cable de radiofrecuencia**

Este elemento transfiere la energía del transmisor a la antena. Actualmente se tiene un cable RG-8 con una longitud de 30 m.

- **Fuente de alimentación**

Se dispondrá de este equipo con las condiciones requeridas en la medida que se vaya necesitando.

- **Equipos de audio**

Es fundamental para la cadena de audio tener un limitador / compresor ya que este evitara la sobremodulación mejorando la calidad del audio. Además de este equipo, hay un equipamiento básico para los estudios de locución y grabación que son elegidos dependiendo de las necesidades de la emisora. Para este caso son:

- Mesa de mezclas con diversidad de canales.

- Micrófonos
- Uno o varios equipos reproductores de Discos Compactos.
- Distribuidores de sonido con una entrada de audio y múltiples salidas.
- Altavoces para la monitorización del sonido.
- Amplificadores.
- Ecualizadores gráficos
- Generadores de efectos especiales.
- Unidades híbridas para incorporar las líneas telefónicas a la mesa de mezclas.
- Sintonizador FM-AM digital
- Cascos Auriculares
- Magnetófonos

Algunos de estos equipos se pueden reemplazar por un computador y un software de edición de audio (ver sección 5.4), los cuales tienen muchas funciones y aplicaciones. En la siguiente sección se darán las especificaciones y cotizaciones de algunos equipos.

5.2 DISEÑO DE LOS ESTUDIOS

En una emisora simple sólo es necesaria la intercomunicación. La emisora más sencilla de todas puede componerse de una sola habitación en la que se realizan todas las funciones de: control, locutorio, conmutación y envío de señales. Las emisoras más complejas tienen autocontrol y pueden componerse de muchas salas como: el estudio de continuidad, de producción, de locución, de grabación, repartidor de telefónica, entre otros. La dotación técnica de una emisora para la producción consiste en varios estudios de locución y grabación, estudio de continuidad y múltiples cabinas de grabación y transmisión de crónicas por línea telefónica.

• Condiciones a cumplir en los estudios

Hay algunos factores que hay que tener en cuenta en la construcción de los estudios de grabación y locución como son:

1. Mantener una temperatura constante.
Esto contribuye a la protección y al funcionamiento adecuado de los equipos que se encuentran al interior. Aprovechando el hecho de que el laboratorio de comunicaciones tiene aire acondicionado se recomienda usar el mismo en el interior de los estudios.
2. Aislamiento sonoro del estudio de locución.
Aquí se abordan dos problemas independientes el uno del otro. Por un lado, el acondicionamiento interno debe proporcionar una calidad de sonido adecuada al que

es recogido por los micrófonos y evitando defectos que no han sido deseados, tales como: ecos y reverberaciones. Por otro, el aislamiento de sonidos que proceden del exterior del locutorio. Estos sonidos tienen que atenuarse hacia el interior del locutorio de al menos 60 dB ya que garantiza una relación señal / ruido aceptable.

En la construcción del recinto hay que abordar cada parte por separado y, haciendo algunas recomendaciones generales, estas son:

a. Paredes.

La atenuación necesaria se puede conseguir colocando sobre las paredes de ladrillo, una capa de triplex-icopor-triplex recubierta con una esponja acústica (estas son costosas y pueden reemplazarse por cartones de huevos).

b. Ventanas existentes en el recinto.

c. Puerta de acceso al locutorio.

Deben ser herméticas y capaces de absorber el sonido con capas de filtro aislante y tablero aglomerado de madera.

d. Visor de comunicación visual entre control y locutorio.

Visor pequeño de doble luna de cristal (120 cm x 80 cm).

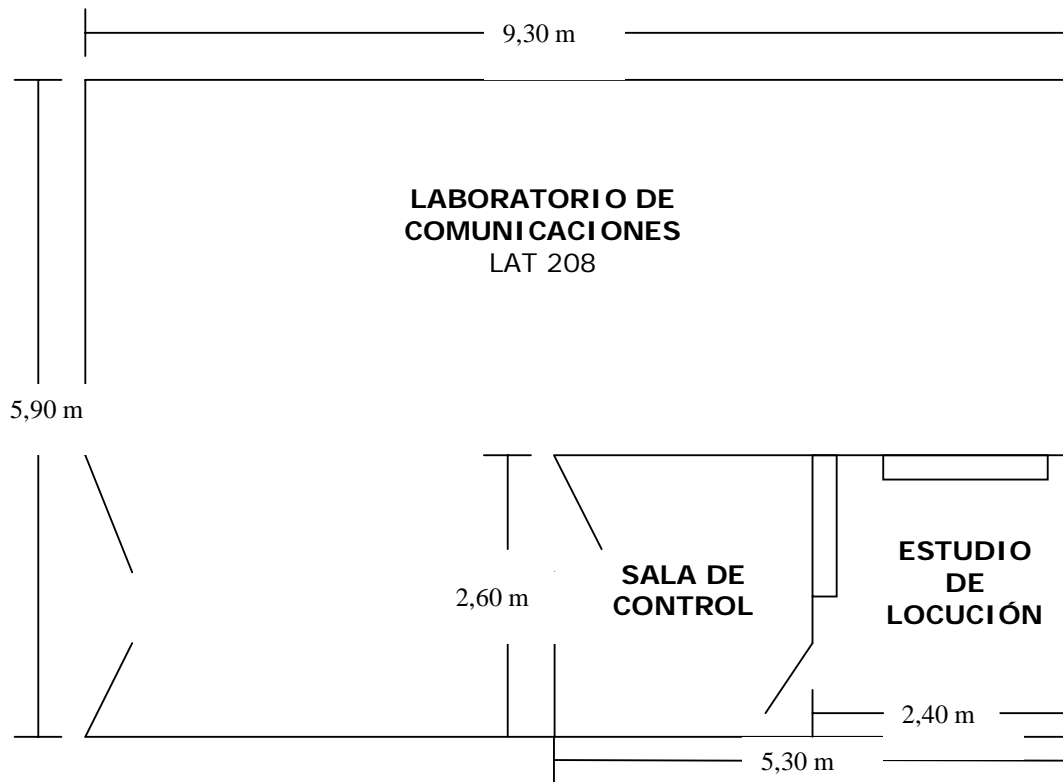
e. Techo y suelo

En el suelo se puede instalar un pavimento de caucho y en el techo paneles acústicos con cámaras de aire.

• Ubicación y distribución

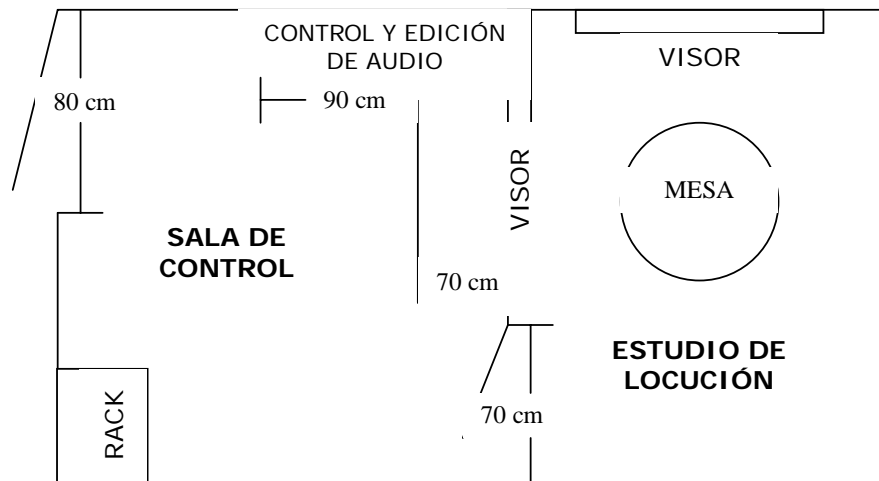
Los estudios quedarán ubicados en laboratorio de comunicaciones de la Universidad Industrial de Santander (LAT 208). Los estudios se componen de la sala de control y del estudio de locución. En la Figura 26 se muestra la ubicación de los estudios en el laboratorio de comunicaciones y en la Figura 27 se muestran detalles de distribución en la sala de equipos y en el estudio de locución.

La sala de control se compone de: el rack y la sección de control y edición de audio. En el rack va el transmisor y fuentes de alimentación; el rack se ha puesto en este punto de la sala para mantener una distancia prudente con los equipos de audio, ya que las señales de radiofrecuencia podrían entrar a los equipos de audio y producir zumbidos y otras clases de ruido.



Fuente: autores.

Figura 26. Ubicación de los estudios en el salón LAT 208.



Fuente: autores.

Figura 27 Detalles de distribución en la sala de control y el estudio de locución.

En la sección de control y edición de audio se encuentra el técnico que es el encargado de monitorear la transmisión, de editar el audio maniobrando los equipos que aquí se encuentran, entre otras funciones. Los equipos de esta sección incluyen:

La mesa de mezclas, un computador, el limitador / compresor, grabadores y reproductores de CD, magnetófonos, controles de audio, ecualizador, generador de efectos especiales, amplificadores, altavoces para monitorización del sonido, cascos auriculares, sintonizadores FM – AM, entre otros. Aquí también se encuentra una mesa en forma de L, la cual está dispuesta de esta forma para que exista un acceso fácil a todos los controles y equipos. El visor se dispone de esa manera para que exista comunicación visual entre el técnico y el locutor. El estudio de locución está acondicionado de tal manera que permita un buen aislamiento sonoro; aquí se encuentra el locutor, algunos micrófonos, audífonos. La mesa está dispuesta de tal manera que permita el acceso a invitados.

5.3 EQUIPOS PROPUESTOS¹

- **Transmisor FM**

IRADIO FM EXCITER IRFM 12W

Transmisor FM con amplificador de 12 W. Salida de monitoreo.
Equipo donado por TELEUIS.

- **Antena**

ANTENA MONOPOLAR OMNIDIRECCIONAL

Rango de frecuencias: 135 a 180 MHz. Ganancia: 6 dB.

Potencia máxima: 500 W.

Se encuentra disponible en el laboratorio de comunicaciones.

- **Cable de RF**

Cable de transmisión coaxial de baja pérdida RG-8

Longitud 30 m. Impedancia característica: 52 Ω.

Se encuentra disponible en el laboratorio de comunicaciones.

- **Sintonizador FM-AM digital**

Sintonizador FM-AM marca CHALLENGER

Función en mono y en estéreo.

Equipo donado por TELEUIS.

- **Mesa de mezclas**

MIXER 2 CANALES SOUNDKING AS602A

¹ Estos equipos fueron cotizados por Internet.

Mixer 2 canales (mic/line), 2 canales estéreo, Entrada y salida para tape
Precio: \$ 250.000

- **Micrófonos**

MICROFONO SHURE C606N/ PG/ SM/ INALAMBRICO
Cardioide Dinámico, Baja Z, On-Off Switch, XLR a 1/4 Cable entrada
Precio: \$ 58.000

- **Reproductor de CD**

SONY Modelo: DVP-NC60K
Reproductor de DVD/CD RW/ R, DVD-RW/-R, DVD R Dual, CD-R/RW, Súper
VCD
MP3, JPEG con Cambiador de 5 Discos y Karaoke
Salida de audio análogo, coaxial digital, óptica digital
Precio: \$300.000

- **Monitores de sonido**

MONITORES DE ESTUDIO ALESIS ONE MK2
Excelente respuesta en bajos, manejo de potencia alta, alta potencia de salida
Precio: \$ 800.000

- **Amplificador**

POTENCIA 7 AUDIO P-900.
Amplificador de audio profesional de 500 w
Precio: \$460.000

- **Ecualizador grafico:**

PIONNER MODELO SG-9500.
2 Canales, 10 Bandas por canal, para un total de 20 bandas
Control de encendido, apago en línea y off/on para grabación.
Gran rango de funcionamiento
Precio: \$ 130.000

- **Cascos Auriculares**

AURICULAR PHILIPS HP 195 PROFESIONAL

Diseño Moderno, Adaptadores Plug

Respuesta de frecuencia: 20 - 22.000 Hz Impedancia : 32 ohmios Entrada máxima de potencia : 500 mw.

Precio: \$35.000

- **Platina doble cassette**

PIONEER CT-W208R

Reductor de ruidos, grabación y lectura. Copia a velocidad normal y doble.

Silenciador de grabación. Indicador de nivel de picos.

Precio: \$300.000

- **Software de edición de audio**

ZaraRadio v1.6.1

Este un software gratuito para automatización de emisiones radiofónicas, convirtiendo el PC en una máquina musical y es muy útil para bares, restaurantes, pero sobre todo para cadenas de radio.

El entorno tiene características similares a los programas pagos, siendo una de las mejores opciones en cuanto a software de edición de audio. El programa está especialmente recomendado para emisoras que no disponen de un gran presupuesto pero que necesitan un programa robusto, estable y con muchas posibilidades a la hora de programar la emisión automatizada de una emisora, así como para el momento en que el locutor necesita una herramienta, fácil, rápida y estable que le ayude en su trabajo delante del micrófono. Estas son algunas de sus características:

- Reproducción de múltiples formatos y ficheros.
- Programación de eventos con varias posibilidades.
- Lanzamiento de cuñas y locuciones de hora.
- Búsqueda de canciones en lista, carpetas y directorios.
- Calcula la duración de la lista e informa a que hora finaliza el tema que está sonando.
- Selección de la tarjeta de audio y opción de preescuchar con una segunda tarjeta.
- Opción de emisión por entrada de línea (satélite).

Hay algunos instrumentos necesarios para hacer mediciones con los cuales no cuenta la escuela, por lo que aquí se muestra una referencia propuesta para su adquisición. Además se propone un generador estéreo para remplazar el que se tiene y que presenta algunos problemas.

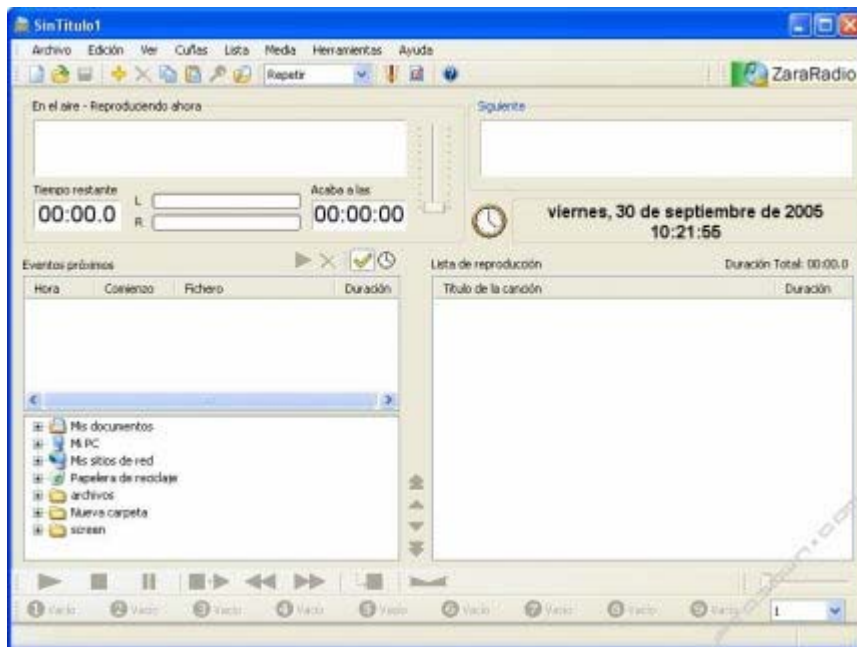


Figura 28. Aspecto del software ZaraRadio v1.6.1.

- **Medidor de campo electromagnético**

MEDIDOR DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO Y ELECTRICO NF-1010E

Mide la intensidad del Campo eléctrico: de 1 V/m hasta 5.000 V/m

Campo electromagnético: de 10 nT hasta 100.000 nT

Medición en tres ejes. Alarmas programables.

<http://www.tiendaelektron.com>

Precio: \$250.000

- **Medidor de potencia**

DAIWA MEDIDOR SWR CN-101L

Mide la ROE y SWR

Rango de frecuencias: 1.8 – 150 MHz

Rango de Potencia: 15/50/1500

http://www.wimo.de/cgi-bin/verteiler.pl?url=swr_s.htm

Precio: \$500.000 (incluye la carga fantasma).

- **Generador estéreo digital**

GENERADOR ESTEREO DIGITAL SERIE 2000 – LINK – 800111

Salida normalizada de 3.5 Vpp. Z: < 20 ohms

Salida de señal piloto, para sincronizar "coders" R.D.S.

Entrada, balanceada electrónicamente, de 600 o 5000 ohms.

Entrada de subportadora R.D.S. o S.C.A.

Distorsión inferior al 0.02 %.

Relación señal/ruido superior a 80 dB.

Separación entre canales de 60 dB (a 1 kHz).

Indicaciones de niveles de funcionamiento por barras de

LEDs, con selección secuencial de la medida.

<http://www.citysound.net>

Precio: \$3.000.000

5.4 PRESUPUESTO

La Tabla 20 se muestra el presupuesto² en lo que respecta a los equipos que se necesitan adquirir y en la Tabla 21 se muestra el costo de la construcción de la locación para la emisora. El valor total del proyecto incluyendo los gastos mencionados en las dos tablas anteriores se muestran en la Tabla 22. Los gastos varios corresponden a: mobiliario, cables, conectores, bases para micrófono, rack, etc.

CANTIDAD	CONCEPTO	VALOR UNIDAD (\$)	TOTAL (\$)
1	Transmisor FM	-	-
1	Generador estéreo	3.000.000	3.000.000
1	Medidor de Potencia	500.000	500.000
1	Medidor de campo electromagnético	250.000	250.000
1	Antena	-	-
1	Cable de RF	-	-
1	Sintonizador FM-AM	-	-
1	Mesa de mezclas	250.000	250.000
3	Micrófono	58.000	174.000
1	Reproductor de CD	300.000	300.000
1	Monitor de sonido	800.000	800.000
1	Amplificador	460.000	460.000
1	Ecuador	130.000	130.000
3	Cascos auriculares	35.000	105.000
1	Platina doble cassette	300.000	300.000
PRESUPUESTO TOTAL			6.269.000

Tabla 20. Presupuesto de los equipos para la emisora E3T estéreo.

² Todos los valores están en pesos.

CANTIDAD	CONCEPTO	VALOR UNIDAD (\$)	TOTAL (\$)
1	Construcción de paredes y mano de obra	600.000	600.000
2	Puerta	150.000	300.000
1	Alfombra	100.000	120.000
10	Triplex	18.000	180.000
30	Icopor	3.400	102.000
2	Vidrio	35.000	70.000
1	Mesa en L	150.000	150.000
1	Mesa circular	180.000	180.000
-	Cartones de huevo	30.000	30.000
1	Rack	150.000	150.000
PRESUPUESTO TOTAL			1.882.000

Tabla 21. Presupuesto de la adecuación de los estudios para la emisora E3T estéreo.

CONCEPTO	TOTAL (\$)
Equipos	6.269.000
Construcción y adecuación de estudios	1.882.000
Gastos varios	400.000
Instalación	500.000
PRESUPUESTO TOTAL	9.051.000

Tabla 22. Presupuesto general emisora E3T estéreo.

CONCLUSIONES

- Contar con una emisora FM en la E3T se convierte en un elemento importante para el estudio de asignaturas que hacen referencia a este tema contribuyendo al mejoramiento del laboratorio de comunicaciones ya que éste permite apreciar las diferentes transformaciones que sufren las señales en las diferentes etapas de este sistema de comunicación.
- Se elaboró un protocolo de pruebas para medir algunos parámetros referentes a emisoras FM de acuerdo a la normativa vigente establecida en Colombia por el Ministerio de Comunicaciones y que se encuentra consignada en el Plan Técnico de Radiodifusión Nacional con equipos que se encuentran disponibles en el laboratorio de comunicaciones de la E3T. Este protocolo puede servir, entre otras aplicaciones, como referente para cualquier organización que desee medir estos parámetros para un posterior montaje de una emisora FM.
- El desarrollo de las pruebas estuvo limitado principalmente por la capacidad o la falta de los equipos de medida, sin embargo, la mayor parte de las pruebas se realizaron satisfactoriamente y se pudo comprobar que los parámetros exigidos se cumplían. Entre los parámetros medidos en este proyecto que no presentaron inconvenientes cumpliendo con la normativa están:
 - * Tolerancia de frecuencia
 - * Emisiones no esenciales
 - * Nivel de ruido de la portadora
 - * Intensidad de campo utilizable
 - * Potencia de operación para estaciones clase D
 - * Tolerancia de potencia

En cuanto a los parámetros medidos que presentaron inconvenientes están:

- * Porcentaje de modulación: la sensibilidad de modulación k_f presenta una variación de más de 150% en sus entradas cuando se varía la frecuencia, produciendo una variación en la desviación de frecuencia.
 - * Respuesta de audiofrecuencia: la respuesta del generador estéreo tiene una variación de más de 1 dB, sobretodo a frecuencias menores de 5 kHz.
 - * Distorsión armónica: El generador estéreo sobrepasa el nivel de distorsión exigido (0.1 %) a frecuencias menores de 1 kHz y en algunas entradas a frecuencias menores de 2 kHz.
- Es importante dar a conocer las características y las diferentes partes de los equipos, además de la función que cada uno cumple en el sistema, ya que esto

junto con el protocolo de pruebas sirve como ayuda didáctica en las diferentes asignaturas ofrecidas en la E3T referentes a este tema tanto en pregrado como en postgrado.

- Con los equipos que se tienen actualmente es posible realizar transmisiones FM cumpliendo con la normativa con un buen comportamiento de estos, pero, en la propuesta se encuentra consignado los detalles de compra de equipos y de construcción de los estudios para que la emisora E3T estéreo tenga mejor desempeño y mejor facilidad de operación.
- El área de cobertura se encuentra limitada principalmente por: la altura de la antena sobre el terreno, la potencia de salida del excitador, la ganancia de la antena, la constitución topográfica del terreno y los obstáculos presentes en dicha área. En este caso la mayor limitación es causada por la constitución irregular del terreno ya que el lugar en donde se encuentra ubicada la antena está a una altura mas baja con respecto a zonas cercanas las cuales impiden que la señal se propague a una mayor distancia y por ende tener una mayor área de cobertura.
- La licencia de operación para la emisora no es posible conseguirla por el momento, debido que el Ministerio de Comunicaciones no ha hecho ninguna convocatoria para el tipo de emisora que se adecuó. No obstante, ahora el laboratorio de Comunicaciones de la E3T cuenta con una herramienta de ayuda para asignaturas de pregrado y postgrado, y se ha dejado una propuesta para terminar de equipar una emisora para la cual, en un mediano plazo, sea posible conseguir la licencia de funcionamiento.
- A pesar de no haber contado con manuales de operación y/o descripción de los equipos que fueron donados por TeleUIS a la E3T se pudo conocer y describir cada una de sus partes como: Puertos de entrada y de salida, identificación de etapas en los circuitos, además, de la función que estos cumplen en el equipo y en el sistema en general.
- Es importante la realización de visitas técnicas a entidades relacionadas con el tema, que en este caso fueron: el Ministerio de Comunicaciones y la emisora UIS Estéreo y, las entrevistas con personas especializadas ya que ellas poseen una vasta experiencia dando aportes valiosos al proyecto.

OBSERVACIONES

- En vista de la evidente utilidad de los protocolos que nos llevan a reducir errores y a automatizar procesos, estos deben expandirse a muchos otros procesos no sólo a la electrónica, sino a la industria en general.
- Realizar la gráfica de predicción de propagación de la señal en 3D con las herramientas de cómputo adecuadas, ya que éstas nos permiten calcular de antemano la altura de la antena, la potencia máxima entregada por el transmisor y el área de cobertura. También debe hacerse una gráfica de propagación de la señal en 3D para contrastarla con la de la predicción con equipos más precisos que los utilizados y podría hacerse de la siguiente manera: se trazan radiales a partir del centro de radiación para trazar los perfiles topográficos de dichos radiales que con ayuda de un mapa topográfico del terreno del área de cobertura se va construyendo tridimensionalmente dicha gráfica con el mayor número de puntos posibles alrededor del terreno.
- Al medir la potencia entregada a la antena y la reflejada por esta, se pudo apreciar que se pierde mucha potencia que debería ser aprovechada y que podría dañar el equipo excitador; esto ocurre porque el sistema radiante no es el adecuado ya que debería tener una impedancia de 50Ω , por lo tanto, es recomendable conseguir el cable y la antena que cumplan con esta condición para un correcto funcionamiento.
- A raíz del comportamiento presentado por los equipos al realizar las pruebas se puede decir que el excitador tuvo buen comportamiento, sin embargo, el generador estéreo no presentó una respuesta deseable ante algunos parámetros, específicamente en la variación de la sensibilidad de modulación k_f , en la respuesta de audiofrecuencia y en la presencia de unos armónicos indeseables, por lo cual se aconseja conseguir otro con un mejor desempeño ante dichos parámetros.
- Realizar las pruebas con equipos más sofisticados y con mayor resolución con el mayor número de muestras posibles para obtener datos más precisos y reducir la tasa de errores.
- Para que la emisora de FM E3T Estéreo se convierta en realidad es importante hacer la inversión económica considerando el modelo de la propuesta ya sea por parte de la Universidad, de la Escuela, de la Especialización en Telecomunicaciones o de algún otro ente.

Anexo 1. CONCEPTOS BÁSICOS

Este anexo se hizo como base de los principales temas tratados durante todo el libro y contiene una síntesis de la teoría necesaria para su comprensión.

A.1.1 MODULACIÓN DE FRECUENCIA

Una de las formas de modulación más comunes es la modulación angular en la cual se varía el ángulo de la portadora de acuerdo con la señal mensaje. La modulación de frecuencia es un tipo de modulación angular en la cual se varía de manera lineal la frecuencia instantánea $f_i(t)$ con respecto a la señal mensaje $m(t)$:

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t), \quad (10)$$

donde f_c representa la frecuencia de la portadora no modulada en [Hz] y k_f es la sensibilidad de frecuencia del modulador expresada en [Hz/V] suponiendo que $m(t)$ es una forma de onda de voltaje.

Podemos denotar el ángulo de la portadora senoidal modulada como $\theta_i(t)$ y expresar la onda modulada en ángulo como:

$$s(t) = A_c \cos[\theta_i(t)] \quad (11)$$

donde A_c representa la amplitud de la portadora y sus unidades podrían ser [V] o [A].

Sin embargo, el ángulo de la señal portadora $\theta_i(t)$ varía en forma no lineal, ya que éste y la frecuencia instantánea se relacionan como sigue:

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta_i(t)}{dt} \quad (12)$$

haciendo que $\theta_i(t)$ se modifique de acuerdo con las ecuaciones (10) y (12) de la siguiente manera:

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \quad (13)$$

En FM existen algunos parámetros, como el índice de modulación y la desviación de frecuencia que son muy importantes cuando se definen las características que va a tener la señal modulada. Para explicar dichos parámetros se va a utilizar una señal moduladora de un solo tono:

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) \quad (14)$$

Remplazando la ecuación (14) en (10) obtenemos:

$$\begin{aligned} f_i(t) &= f_c + k_f A_m \cos(2\pi f_m t) \\ f_i(t) &= f_c + \Delta f \cos(2\pi f_m t) \end{aligned} \quad (15)$$

donde:

$$\Delta f = k_f A_m \quad (16)$$

La cantidad Δf dada en [Hz] se conoce como desviación de frecuencia y representa la máxima desviación de la frecuencia instantánea de la señal FM respecto a la frecuencia de la portadora f_c .

Valiéndose de la ecuación (15), el ángulo $\theta_i(t)$ de la señal FM se obtiene como:

$$\begin{aligned} \theta_i(t) &= 2\pi \int_0^t f_i(\tau) d\tau \\ \theta_i(t) &= 2\pi f_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin(2\pi f_m t) \end{aligned} \quad (17)$$

La proporción entre la desviación de frecuencia Δf y la frecuencia de modulación f_m suele denominarse índice de modulación de la señal FM y se denota por medio de β :

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (18)$$

Las expresiones (16) y (18) se pueden generalizar para una señal multitono, usando los valores máximos de amplitud y frecuencia del mensaje, obteniendo así la máxima desviación de frecuencia Δf_{max} y la razón de desviación D que es igual a:

$$D = \frac{\Delta f_{max}}{W} \quad (19)$$

donde W es la máxima frecuencia del mensaje.

Finalmente, la señal modulada en frecuencia está dada por:

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)) \quad (20)$$

Como puede observarse, el índice de modulación aparece directamente en la ecuación de la señal FM, y es el que permite definir si esta modulación es de banda angosta

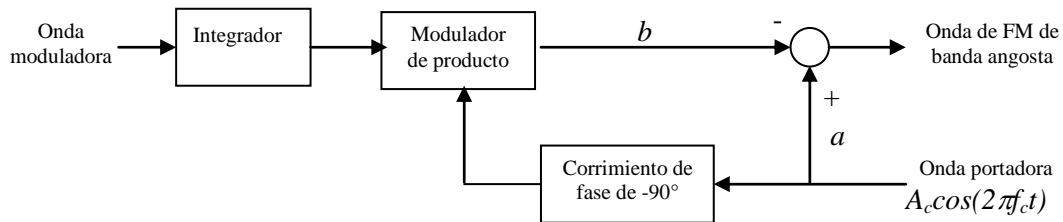
(valores de β pequeños comparados con 1) o de banda ancha (valores de β mayores que 1).

• **FM de banda ancha y de banda angosta**

La modulación FM de banda angosta o NBFM se compone de dos términos: uno de portadora discreta y otro de banda lateral; esta modulación se parece a la de AM con la diferencia que el término de banda lateral está desfasado 90° con respecto al término de portadora discreta. La modulación FM de banda angosta se representa por:

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) - \beta A_c \sin(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_m t) \quad (21)$$

En la Figura 29 se observa un diagrama de bloques de un método para generar FM de banda angosta. En el se pueden ver como se conforman los términos a y b de la ecuación (21).



Fuente: autores.

Figura 29. Generación de NBFM.

La modulación FM de banda ancha o WBFM es más complicada en su representación y para esto se utilizan las funciones de Bessel $J_n(\beta)$, como se muestra a continuación

$$s(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cos[2\pi(f_c + nf_m)t] \quad (22)$$

donde

$$J_n(\beta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \exp[j(\beta \sin x - nx)] dx \quad (23)$$

La ecuación (22) también se puede representar en la frecuencia para observar claramente el comportamiento de la señal como sigue

¹ Para ver la deducción de la ecuación (22) consulte [8] (pp 113-114)

$$S(f) = \frac{A_c}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) [\delta(f - f_c - nf_m) + \delta(f + f_c + nf_m)] \quad (24)$$

De la ecuación anterior se puede ver que una señal FM contiene infinito número de componentes de frecuencias laterales separadas cada una por una distancia de f_m Hz, sin embargo sólo en algunas componentes se encuentra la mayoría de la potencia, esto debido a que al crecer β la función de Bessel se hace más pequeña. Entre más grande sea β más componentes con una potencia significativa aparecerán en la señal modulada. El espectro de frecuencias formado por estas componentes es el que define el ancho de banda.

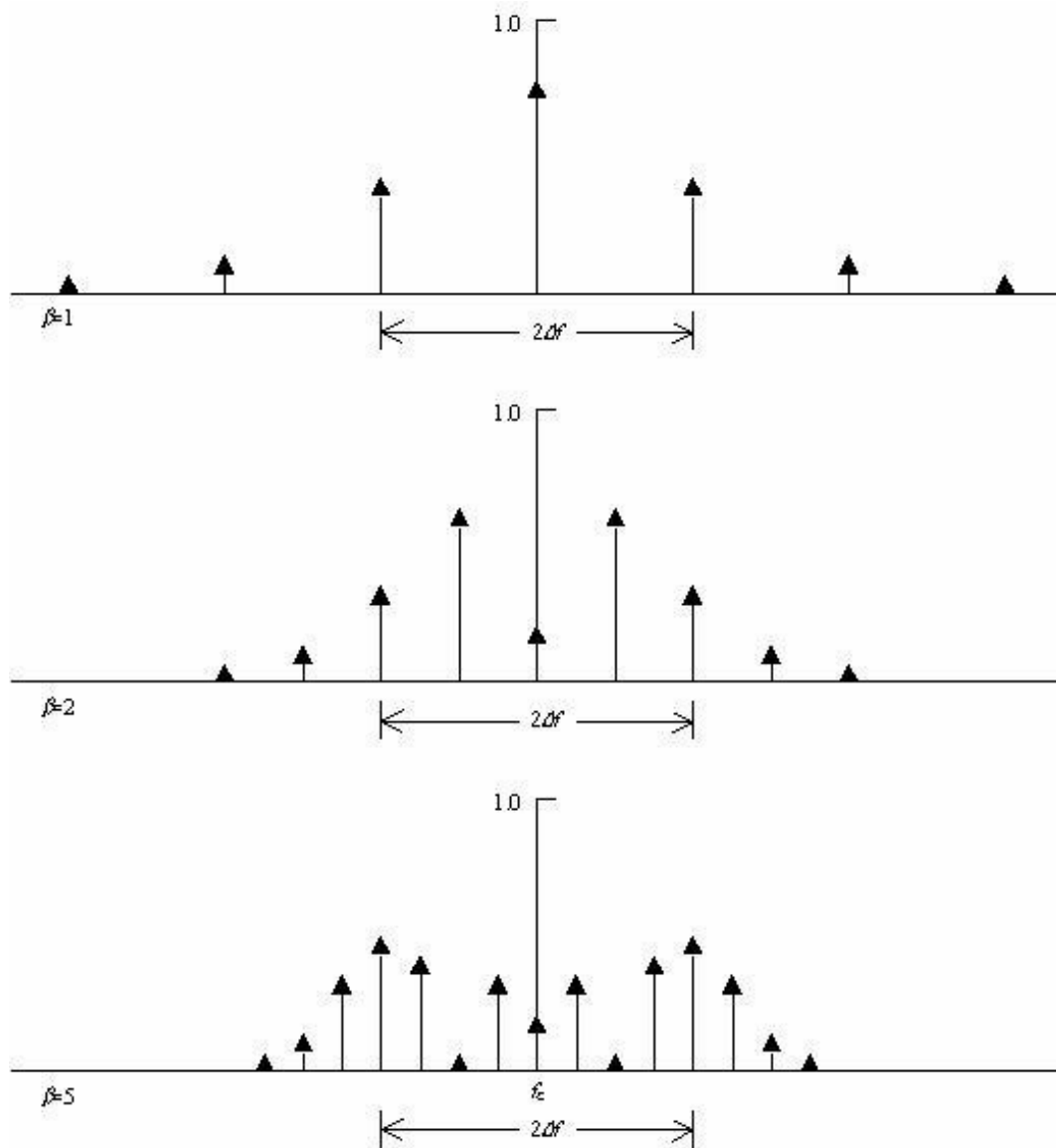
- **Ancho de banda**

Como se dijo anteriormente, las componentes de frecuencia de una señal FM son infinitas, pero existe un número finito de éstas en las cuales se concentra la mayor parte de la frecuencia, y esto es lo que permite definir un ancho de banda para la señal. Esto se puede observar al comparar las gráficas de la Figura 30.

Es claro que aunque aumente el valor del índice de modulación β , las componentes de frecuencia con potencia significativa, son aquellas que van sólo un poco más allá de la desviación de frecuencia Δf . Basado en lo anterior, J. R. Carson ideó una relación empírica para hallar el ancho de banda de una señal FM, conocida como la regla de Carson:

$$B_T \approx 2\Delta f + 2f_m = 2\Delta f \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (25)$$

Otra forma de calcular el ancho de banda es teniendo en cuenta la amplitud de las componentes de frecuencia y elegir aquellas que sobrepasen algún valor predeterminado. Este valor suele ser el 1% de la amplitud de la portadora sin modular.



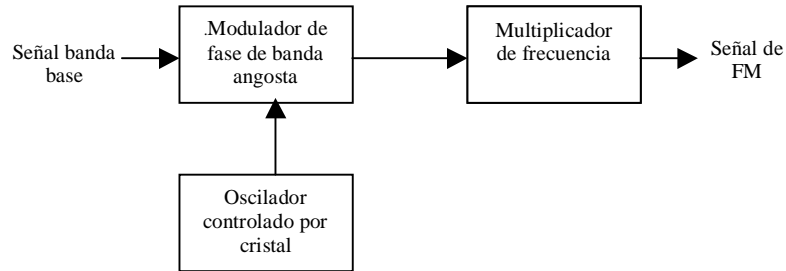
Fuente: autores.

Figura 30. Espectros de amplitud discretos de una señal de FM normalizada con respecto a la amplitud de la portadora, para el caso de modulación senoidal de frecuencia variable y amplitud fija. Solo se muestran los espectros de frecuencias positivas.

• Generación de FM: directa e indirecta

La generación directa es el método en el cual la frecuencia de la portadora es modificada directamente por la señal del mensaje. Sin embargo, la generación indirecta es preferida sobre la directa cuando se va a utilizar en radio comercial, ya que en el método indirecto la frecuencia de la portadora es más estable. En este método primero se genera una señal FM de banda angosta y luego se pasa por un multiplicador de frecuencia para aumentar la desviación de frecuencia hasta el nivel que se requiera. En la Figura 31 se muestra un diagrama de bloques del método

indirecto de generación FM. En el se puede ver como la señal FM de banda angosta pasa a través de un multiplicador de frecuencia para producir la señal de banda ancha que se va a transmitir. Además, el sistema cuenta con un oscilador controlado por cristal para darle estabilidad de frecuencia.

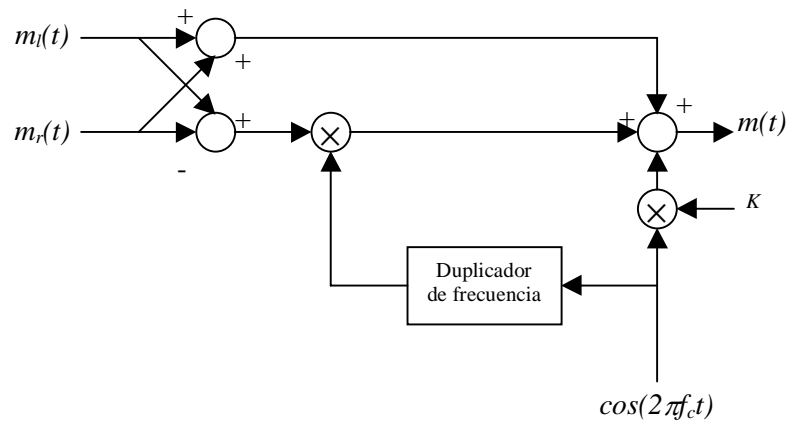


Fuente: autores.

Figura 31. Generación de WBFM indirecto.

• **FM estéreo**

El multiplexado por división de frecuencia o FDM es un proceso que permite combinar varias señales independientes en una sola para enviarlas por un mismo canal. Esta técnica se utiliza en FM para enviar dos señales, generadas por elementos diferentes, con la misma portadora, provocando una sensación de espacio en el oyente. Comúnmente se conoce como FM estéreo o multiplexado estereofónico. El diagrama de bloques de este sistema se presenta en la Figura 32.



Fuente: autores.

Figura 32. Multiplexor FM estéreo.

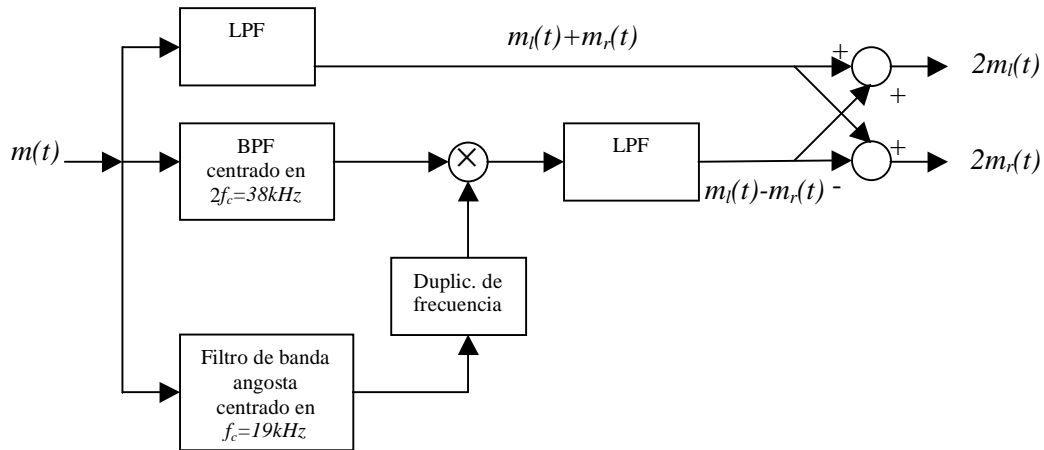
De acuerdo con el diagrama de bloques, la señal multiplexada que se obtiene es

$$m(t) = [m_l(t) + m_r(t)] + [m_l(t) - m_r(t)]\cos(4\pi f_c t) + K \cos(2\pi f_c t) \quad (26)$$

El primer término a la derecha de la ecuación es la suma de los dos mensajes que se están enviando, estos se dejan en banda base para que la recepción monofónica este

disponible. Los siguientes dos términos son la diferencia de los mensajes multiplicados por una señal portadora de 38 kHz y una señal piloto de 19 kHz, los cuales conforman una onda modulada DSB-SC², que es la que permite la transmisión y recepción estereofónica.

Para la recepción se utiliza el sistema mostrado en Figura 33.



Fuente: autores.

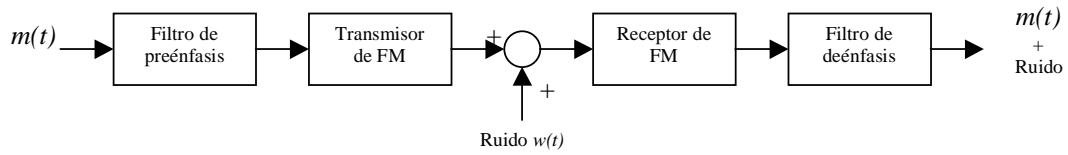
Figura 33. Demultiplexor FM estereo.

La rama superior del diagrama es la que se utiliza si se requiere sólo recepción monofónica. Para recepción estereofónica se debe usar el sistema completo, en el cual la combinación apropiada de filtros y un duplicador de frecuencia logran producir las dos señales mensaje por separado.

• **Preénfasis y deénfasis**

Generalmente la densidad espectral de potencia del mensaje disminuye con el aumento de la frecuencia, en contraste con el ruido que a altas frecuencias tiene una densidad de espectral de potencia mayor, provocando distorsión del mensaje a estas frecuencias. Para solucionar esto se utilizan procesos de amplificación y atenuación de la señal. En el preénfasis se amplifica el extremo superior del espectro del mensaje antes de ser modulado y por tanto antes de que se introduzca el ruido, lo que provoca que la señal que se va a transmitir sea mucho mayor que el ruido que se presenta. En el deénfasis se aplica el proceso inverso atenuando las altas frecuencias a la salida del receptor, para conseguir de nuevo la señal original (Figura 34).

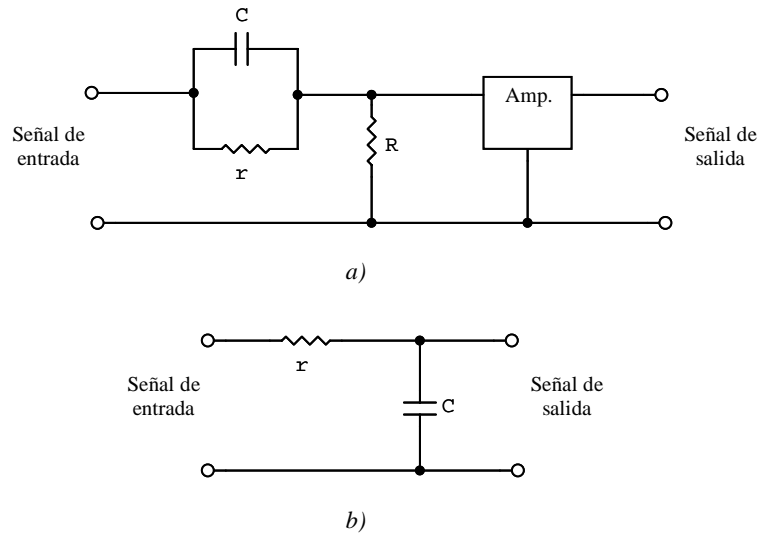
² El estudio de este tipo de modulación se puede ver en [8] y [6]



Fuente: autores.

Figura 34. Preénfasis y deénfasis en FM.

Los circuitos típicos de preénfasis y deénfasis se muestran en Figura 35.



Fuente: autores.

Figura 35. a) Filtro de preénfasis. b) Filtro de deénfasis.

La respuesta en frecuencia del circuito de preénfasis es aproximadamente:

$$H_{pe}(\omega) = 1 + j \frac{\omega}{\omega_0} \quad (27)$$

si $R \ll r$ y $\omega Cr \ll 1$.

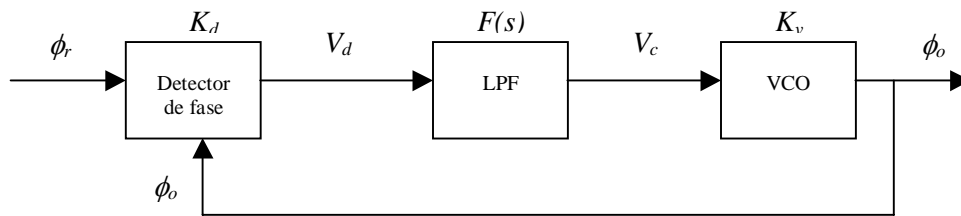
El filtro de deénfasis presenta la siguiente respuesta:

$$H_{de}(\omega) = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} \quad (28)$$

Para que el proceso funcione correctamente, las respuestas en frecuencia de los filtros de preénfasis y deénfasis deben ser inversas una respecto de la otra. Generalmente se utiliza una constante de tiempo $\tau = 75 \mu s$.

A.1.2 CIRCUITO DE FASE CERRADA (PLL)

El PLL es un circuito realimentado de control con el que se intenta conseguir que la fase de un oscilador variable sea una replica de la fase de la señal de entrada. Basándonos en esto, existen varias aplicaciones del PLL, todas ellas matizadas por el efecto del filtrado. Una de ellas es la recuperación de portadoras extrayéndolas de la señal y del ruido que las acompañan, estas portadoras son utilizadas en el proceso de demodulación.



Fuente: autores.

Figura 36. Esquema de bloques de un PLL.

Otra aplicación de diseño del PLL está en hacer que las frecuencias de entrada y salida sean diferentes manteniendo entre ellas una relación exacta, con lo que el ruido de fase y la estabilidad de la entrada se transfieren a la salida.

En el diagrama de bloques de Figura 36 se muestra un PLL ideal. Aquí la fase de salida ϕ_o se sincroniza con la de referencia ϕ_r , comparándolas en el detector de fase. La tensión obtenida del detector de fase V_d , es filtrada para eliminar las componentes de alta frecuencia V_c , el cual se aplica a la entrada del VCO para corregir la posible diferencia de fases. La magnitud que aquí se controla es la fase de la señal de salida, y cuando el bucle está enganchado deben coincidir las señales de referencia y de salida. Estos bloques dentro de ciertos límites se pueden describir como elementos ideales comportándose como elementos ideales.

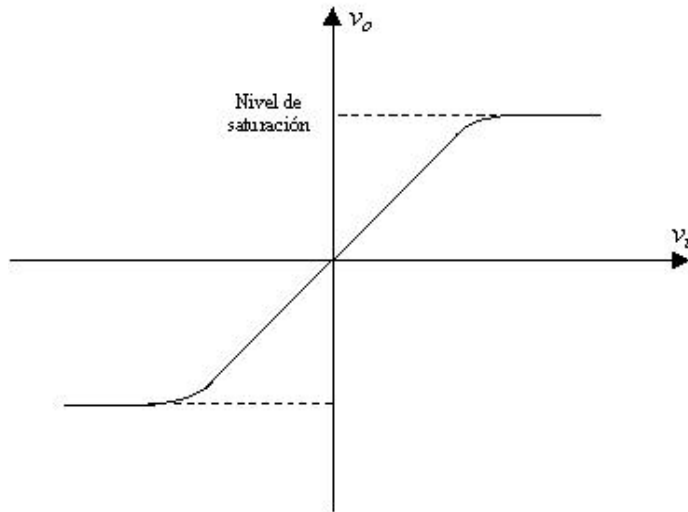
A.1.3 DISTORSIÓN ARMÓNICA

La distorsión armónica es un tipo de distorsión no lineal, que se presenta cuando un sistema tiene elementos no lineales en él. Para examinar los efectos producidos por esto se analizará un sistema amplificador sin memoria con la siguiente relación entrada-salida:

$$v_o(t) = K v_i(t) \quad (29)$$

donde K es la ganancia de voltaje del amplificador. Según la ecuación, la salida puede crecer indefinidamente, sin embargo, en la práctica esto no es cierto y la salida se

saturará en algún momento con el incremento de la señal de entrada. Esto se ilustra en la Figura 37, donde se puede ver la característica no lineal del amplificador.



Fuente: autores.

Figura 37. Característica entrada-salida de un amplificador no lineal.

Esta característica se puede modelar por medio de la serie de Maclaurin:

$$v_o = K_0 + K_1 v_i + K_2 v_i^2 + \Lambda = \sum_{n=0}^{\infty} K_n v_i^n \quad (30)$$

donde

$$K_n = \frac{1}{n!} \left(\frac{d^n v_o}{d v_i^n} \right) \Bigg|_{v_i=0} \quad (31)$$

de lo cual se puede concluir que habrá distorsión sí $K_{n>1} \neq 0$. K_0 es el nivel de DC de salida, $K_1 v_i$ es el término (lineal) de primer grado, $K_2 v_i^2$ es el término de segundo grado, etc.

La distorsión armónica a la salida se encuentra aplicando un tono senoidal a la entrada del amplificador. Si se representa el tono de entrada como:

$$v_i(t) = A_0 \text{sen } \omega_0 t \quad (32)$$

el término de segundo grado es:

$$K_2(A_0 \text{ sen } \omega_0 t)^2 = \frac{K_2 A_0^2}{2} (1 - \cos 2\omega_0 t) \quad (33)$$

Esto significa que la distorsión de segundo grado crea un nivel de DC $K_2 A_0^2/2$, diferente del de polarización, y una amplitud igual para la componente de distorsión. En general, la salida para un tono será:

$$v_{\text{salida}} = V_0 + V_1 \cos(\omega_0 t + \varphi_1) + V_2 \cos(\omega_0 t + \varphi_2) + V_3 \cos(\omega_0 t + \varphi_3) + \Lambda \quad (34)$$

donde V_n es el valor pico de la salida a la frecuencia de $n f_0$ hertz. El porcentaje de distorsión armónica total (THD³) está definido por:

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100 \quad (35)$$

La THD se puede medir con un analizador de distorsión, o evaluando la ecuación anterior con los valores de V_n obtenidos a través del analizador de espectros.

A.1.4 ANTENAS

Las ecuaciones de Maxwell relacionan los campos eléctricos y magnéticos con las cargas y corrientes que los crean. La solución general de las ecuaciones, en el caso variable en el tiempo, es en forma de ondas, que pueden estar ligadas a una estructura, como es el caso de una línea de transmisión o guía de ondas, o bien libres en el espacio, como ocurre con las producidas por las antenas.

Una antena se puede definir como aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas (IEEE Std. 145-1983). Existen de formas muy variadas, pero todas tienen en común que son una región de transición entre una zona donde existe una onda en el espacio libre y una onda electromagnética guiada, a la que puede asignar un carácter direccional.

La misión fundamental de una antena es radiar la potencia que le es suministrada con las características de direccionalidad adecuadas a la aplicación específica, ya que cada aplicación tendrá unos requisitos determinados por la zona espacial en la que se desee distribuir la energía.

- **Tipos de antenas**

Las funciones básicas de una antena son: transmitir y recibir, en donde cada aplicación impone condiciones particulares sobre la direccionalidad de la antena, niveles de potencia que debe soportar, frecuencia de trabajo, entre otros parámetros.

³ Total Harmonic Distortion.

Esta diversidad de condiciones es la que origina los diferentes tipos de antenas, los cuales se pueden agrupar en los siguientes grandes bloques:

a) Antenas alámbricas

Están construidas con hilos conductores quienes soportan las corrientes que originan la radiación de los campos. Pueden ser de diferentes tipos como: hilos rectos, espiras y hélices. En estas antenas las corrientes y cargas varían de forma armónica con el tiempo y sus amplitudes también varían a lo largo de los hilos (Figura 38).



Figura 38. Dipolos y espiras.

Fuente:[3]

b) Antenas de apertura y reflectores

Aquí la generación de la onda radiada es conseguida por la distribución de campos soportada por la antena que muchas veces suele ser excitada con guías de ondas. Algunos tipos de antenas de apertura son las bocinas (piramidales y cónicas), las aperturas y las ranuras sobre planos conductores, y las bocas de guía. En la apertura Los campos eléctricos y magnéticos se encuentran variando armónicamente con el tiempo. El uso de reflectores, hace que las antenas presten servicios de comunicaciones a grandes distancias, ya sean terrestres ó espaciales. El reflector más usado es el parabólico (Figura 39).

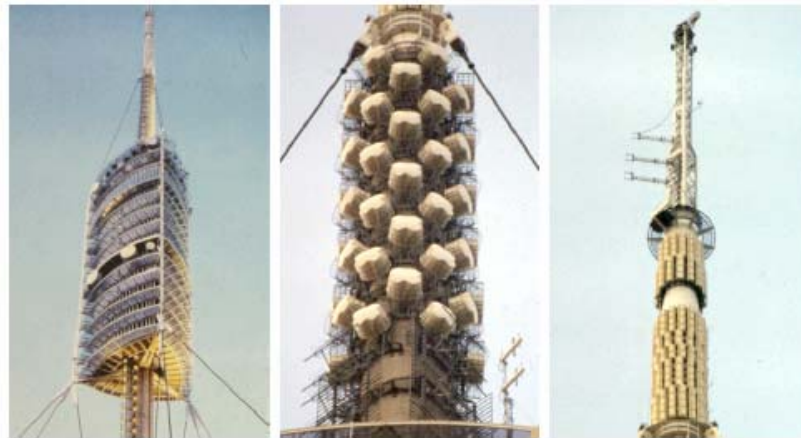
c) Agrupaciones de antenas

A veces se necesita obtener en determinadas aplicaciones ciertas características de radiación que no pueden ser obtenidas con una antena sencilla; sin embargo, estas características pueden ser obtenidas combinando varios elementos de estas antenas (Figura 40).



Fuente:[3]

Figura 39. Reflectores usados para radiotelescopios y comunicaciones.



Fuente:[3]

Figura 40. Agrupaciones de antenas usadas en radiodifusión.

- **Parámetros fundamentales de las antenas**

Las antenas forman parte de sistemas más amplios, las cuales se deben caracterizar con parámetros que las describan y así evaluar el efecto que producen en determinados sistemas. Algunos de estos parámetros se describen a continuación.

a) Impedancia

Se define como la relación entre la tensión y la corriente en los terminales de entrada. Esta es en general compleja. La parte real es llamada resistencia de antena y la parte imaginaria, reactancia de antena.

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_a + jX_a \quad (36)$$

La resistencia de antena es la suma de la resistencia de radiación y la resistencia óhmica. La resistencia de radiación se puede definir como la relación entre el total de potencia radiada por una antena y el valor eficaz de la corriente en los terminales de entrada, elevada al cuadrado, y, la resistencia óhmica como la relación entre la potencia disipada por causa de las pérdidas resistivas y la corriente en sus terminales al cuadrado.

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_a + jX_a = (R_r + R_\Omega) + jX_a \quad (37)$$

La eficiencia de una antena se puede obtener a partir de las resistencias de radiación y óhmicas, teniendo en cuenta que es la relación entre el total de potencia radiada y la potencia entregada a la antena.

$$\eta = \frac{W_r}{W_e} = \frac{W_r}{W_r + W_\Omega} = \frac{I^2 R_r}{I^2 (R_r + R_\Omega)} = \frac{R_r}{R_r + R_\Omega} \quad (38)$$

b) Densidad de potencia radiada

La densidad de potencia radiada es la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección. Las unidades son watts por metro cuadrado. La potencia total radiada se puede obtener integrando la densidad de potencia en una esfera que encierre a la antena.

$$W_r = \iint \vec{P}(\theta, \phi) \cdot \vec{ds} \quad (39)$$

La intensidad de radiación se puede definir como la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en determinada dirección. Las unidades son watts por estereoradián. Este parámetro es independiente de la distancia a la que está la antena emisora.

La relación entre la intensidad de radiación y la densidad de potencia radiada es:

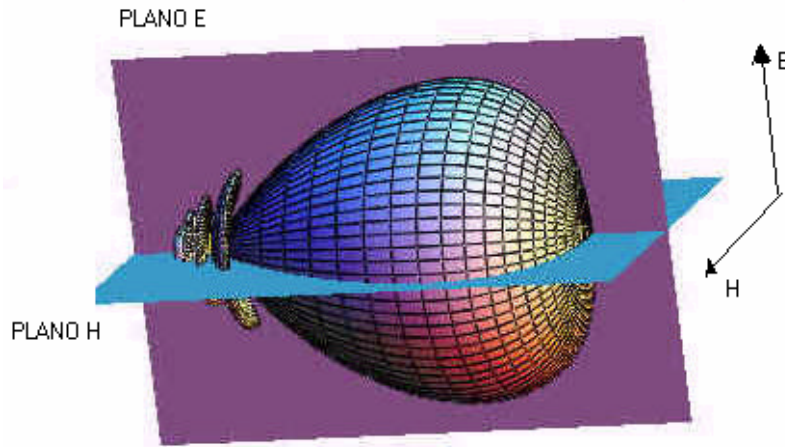
$$K(\theta, \phi) = P(\theta, \phi)r^2 \quad (40)$$

c) Diagramas de radiación

Los diagramas de radiación representan gráficamente las propiedades de radiación de la antena, en función de las direcciones del espacio, a una distancia fija. Generalmente se usa el sistema de coordenadas esféricas.

Habitualmente los diagramas se refieren al campo eléctrico. El campo se puede representar de forma absoluta o relativa, normalizando el valor máximo a la unidad. También es bastante habitual la representación del diagrama con la escala en decibelios.

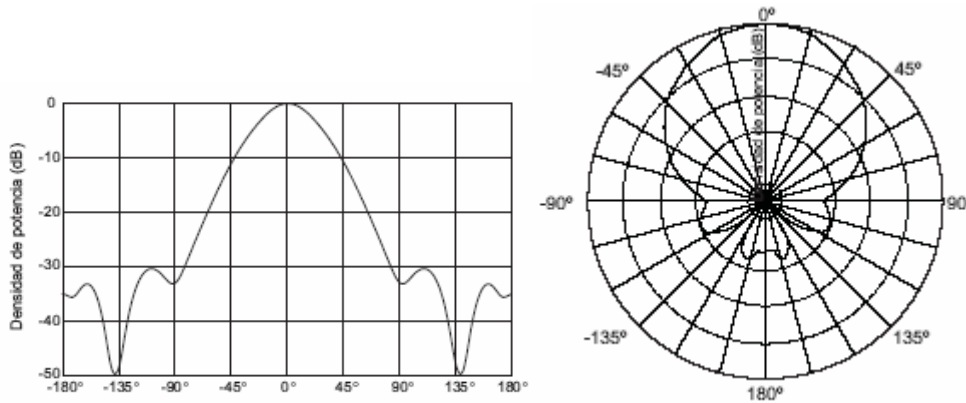
Un diagrama de radiación también puede presentarse en forma tridimensional usando diversas técnicas gráficas, como el dibujo en perspectiva o las curvas de nivel. En la Figura 41 muestra el diagrama tridimensional de una antena y sus planos E y H, correspondientes a los campos eléctrico y magnético respectivamente. Los valores se dan en decibelios referidos al máximo de radiación.



Fuente:[3]

Figura 41. Diagrama de radiación tridimensional.

Los diagramas de radiación también pueden verse en forma bidimensional que pueden ser representados en coordenadas polares o cartesianas. La representación en coordenadas cartesianas permite ver detalles en antenas muy directivas, mientras que el diagrama polar nos da información clara de la distribución de la potencia en las direcciones espaciales. En las Figura 42 se muestran unos ejemplos.



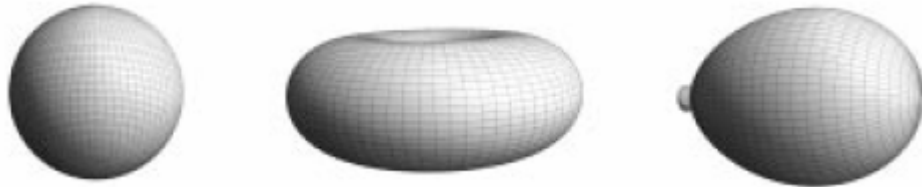
Fuente:[4]

Figura 42. Diagramas de radiación bidimensionales en coordenadas polares y cartesianas.

En un diagrama de radiación, como los que se han mostrado, se puede ver una zona de radiación máxima, llamada haz principal o lóbulo principal. Las zonas que rodean a los máximos de amplitud menor se llaman lóbulos laterales y los lóbulos laterales de mayor amplitud se llaman lóbulos secundarios.

La relación de lóbulo principal a secundario (NLPS) es el cociente, entre el valor del diagrama en la dirección de radiación máxima y en la dirección del lóbulo secundario. Generalmente, es referida al lóbulo secundario de mayor amplitud. Este suele ser expresado en dB.

Los diagramas de radiación que presentan simetría de revolución referidos a un eje son llamados omnidireccionales. Si se radia la misma intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio el diagrama es isotrópico, aunque esto es ideal sirve como referencia para definir algunos parámetros (Figura 43).



Fuente:[4]

Figura 43. Diagramas de radiación isotrópico, omnidireccional y directivo respectivamente.

d) Directividad

La directividad D de una antena es la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a cierta distancia, y la densidad de potencia que radiaría a esa misma distancia una antena isotrópica. La directividad es obtenida a partir del diagrama de radiación de la antena, en donde simplificando términos nos resulta:

$$D = \frac{4\pi}{\iint \frac{P(\theta, \phi)}{P_{\max}} \sin(\theta) d\theta d\phi} = \frac{4\pi}{\Omega_e} \quad (41)$$

En donde Ω_e es como el ángulo sólido equivalente.

e) Polarización

La polarización en una dirección es la de la onda radiada por la antena en esa dirección. La polarización de una onda describe una figura geométrica, que al transcurrir el tiempo, por el extremo del vector campo eléctrico en un punto fijo del

espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Para ondas con variación temporal senoidal la figura es una elipse, pero cuando la figura trazada es un segmento, se dice que la onda es linealmente polarizada y cuando es un círculo es circularmente polarizada.

El sentido de giro del campo eléctrico, tanto en las ondas circularmente polarizadas como en las elípticas, se dice que es derecha si sigue el sentido de avance en la dirección de propagación, y es izquierda si es el sentido contrario.

f) Ganancia

La ganancia de una antena es la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia radiada por una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.

$$G(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{W_e}{4\pi r^2}} \quad (42)$$

En la definición de directividad se refiere a la potencia radiada por la antena, mientras que en la definición de ganancia se refiere a la potencia entregada a la antena. La diferencia entre ambas potencias es la potencia disipada por la antena, debida a pérdidas resistivas.

g) Ancho de banda

El ancho de banda (BW) se puede especificar como la relación entre el rango de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central.

Esta relación se expresa en porcentaje.

$$BW = \frac{f_{m\acute{a}x} - f_{m\acute{i}n}}{f_0} \quad (43)$$

En antenas de banda ancha la relación es:

$$BW = \frac{f_{m\acute{a}x}}{f_{m\acute{i}n}} : 1 \quad (44)$$

El ancho de banda de la antena es impuesto por el sistema del que forme parte y afectará al parámetro más crítico de la aplicación.

h) Adaptación

La impedancia de una antena receptora igual que la impedancia de dicha antena actuando como transmisora. En recepción, la antena es conectada a una línea de transmisión o a un receptor. La transferencia de potencia entre la antena y la carga es máxima cuando las impedancias son complejas conjugadas. Entonces

$$P_{L\max} = \frac{|V_{ca}|^2}{4R_a} \quad (45)$$

El coeficiente de adaptación es la relación entre la potencia recibida y la potencia que se recibiría cuando ocurre la máxima transferencia de potencia. Este toma valores entre 0 y 1.

$$C_a = \frac{W_r}{W_r^m} = \frac{4R_a R_L}{(R_a + R_L)^2 + (X_a + X_L)^2} \quad (46)$$

i) Área y longitud efectiva

El área efectiva es la relación entre la potencia recibida y la densidad de potencia que incide en una antena. La antena se debe adaptar a la carga, para que la potencia transferida sea máxima. La onda recibida debe estar adaptada a la antena en polarización.

$$A_{ef} = \frac{W_r}{P_i} \quad (47)$$

La longitud efectiva de una antena linealmente polarizada es la relación entre la tensión inducida en una antena a condición de circuito abierto y el campo que incide en ésta.

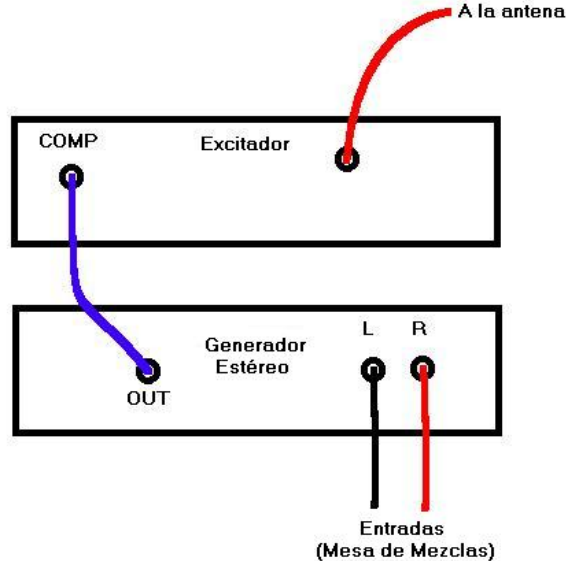
$$I_{ef} = \frac{V_a}{E_i} \quad (48)$$

Anexo 2. VISITAS TÉCNICAS

A.2.1 UIS ESTÉREO

Al inicio del proyecto se realizó una visita a las instalaciones de la emisora UIS ESTÉREO buscando tener una mejor visión de lo que es una emisora FM en la realidad, y con el ánimo de obtener más conocimientos sobre la distribución y conexión de dicho tipo de emisoras.

Para empezar se revisaron los equipos de transmisión de la emisora y se identificaron las entradas y salidas de cada uno de ellos, haciendo un diagrama de estas para que sirviera como base en la comparación con los equipos que se utilizaron en el proyecto. El diagrama se muestra en la Figura 44.



Fuente: autores.

Figura 44. Diagrama de conexión del generador estéreo y el excitador de la emisora UIS ESTÉREO.

Además del excitador y del generador estéreo, la cabina de emisión cuenta con una mesa de mezclas con vómetro, reproductores de CD y minidisc, monitores y un computador desde donde se controla la programación de la emisora. El software utilizado para este fin es *DINESAT*.

En cuanto al estudio de locución, se encuentra aislado acústicamente y cuenta con varios micrófonos y audífonos que les permiten al locutor y a las personas que estén dentro comunicarse con la cabina de emisión o salir al aire.

Como resultado de la visita se consiguió identificar algunas de las salidas de los equipos que hacen parte del proyecto y las conexiones que existen entre ellos.

También se pudo ver que a pesar de que una emisora FM puede tener algunos equipos más que con los que se cuenta en el proyecto, para empezar se puede implementar la emisora sin ellos, y no por eso se dejara de cumplir con el objetivo planteado.

A.2.2 MINISTERIO DE COMUNICACIONES

Las emisoras tanto en AM como en FM se dividen según la potencia de operación en clase A, B, C o D y según la función para la que hayan sido creadas en emisoras comerciales, emisoras comunitarias o emisoras de interés público. En el caso de los equipos utilizados en este proyecto y teniendo en cuenta los objetivos que se pretenden, la emisora propuesta es clase D y se encuentra dentro de las emisoras de interés público en la modalidad emisoras educativas, las cuales tienen como objetivo y están definidas así: “Las Emisoras Educativas tienen a su cargo la radiodifusión Estatal con el objeto, entre otros, de difundir la cultura, la ciencia y la educación, de estimular el flujo de investigaciones y de información científica y tecnológica aplicada al desarrollo, de apoyar el proyecto educativo nacional y, servir de canal para la generación de una sociedad mejor informada y educada. Este servicio se prestará a través de las entidades educativas públicas de nivel superior”¹

La visita al Ministerio de Comunicaciones se hizo con el objetivo de investigar acerca del procedimiento para obtener una licencia de operación para una emisora FM de este tipo y para conocer si era posible obtener una licencia de operación.

En lo que respecta al procedimiento para la obtención de la licencia, el Ministerio de Comunicaciones no ha expedido un documento donde se puedan ver claramente los pasos a seguir para su consecución, no obstante, gracias a la ayuda del ingeniero Jaimes de la División Territorial del Ministerio de Comunicaciones para Santander se conoció que las licencias para este tipo de emisoras se otorgan después de una convocatoria pública que hace el Ministerio. Estas convocatorias no tienen una fecha definida y se realizan teniendo en cuenta las necesidades o la falta de este tipo de medio de comunicación en la región escogida. Por el momento, el Ministerio de Comunicaciones no tiene planeado hacer una convocatoria en Santander, por lo que la obtención de la licencia para la emisora propuesta no podrá ser obtenida en un corto plazo.

¹ [11], pág. 23.

Anexo 3. GUÍA DE LABORATORIO

Para un mejor aprovechamiento y utilización de los equipos con los que se trabajó, se diseñó una guía de laboratorio en donde se incluyen la mayoría de las pruebas que se desarrollaron a lo largo del proyecto. Las prácticas de campo y potencia están supeditadas a la consecución de los equipos de medición necesarios y que se incluyen dentro de la propuesta presentada en el Capítulo 5.

LABORATORIO DE COMUNICACIONES ANALÓGICAS

Práctica

Medición de parámetros técnicos en emisoras FM

Integrantes

Nombre	Código	Grupo	Fecha

Objetivos

- Comprobar que el espectro de FM está caracterizado por las funciones de Bessel.
- Ajustar el sistema de transmisión al 100% de modulación.
- Verificar el correcto funcionamiento del filtro de preénfasis en el generador estéreo.
- Calcular la distorsión armónica que presenta el generador estéreo.
- Observar y medir las emisiones no esenciales y el ruido presentado a la salida del excitador.
- Realizar mediciones del campo eléctrico y hacer una estimación del área de cobertura de la emisora.
- Observar y medir la potencia que se transmite y la que se refleja al equipo.

Marco de referencia

Modulación de frecuencia

La modulación de frecuencia es un tipo de modulación angular en la cual se varía de manera lineal la frecuencia instantánea $f_i(t)$ con respecto a la señal mensaje $m(t)$:

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta_i(t)}{dt},$$

donde f_c representa la frecuencia de la portadora no modulada en [Hz], k_f es la sensibilidad de frecuencia del modulador expresada en [Hz/V] suponiendo que $m(t)$ es una forma de onda de voltaje y θ_i es el ángulo de la señal portadora.

Si la señal moduladora es un tono senoidal $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$ y sabiendo que $s(t) = A_c \cos[\theta_i(t)]$, entonces la señal modulada en frecuencia está dada por:

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t))$$

donde $\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$ (índice de modulación) y $\Delta f = k_f A_m$ (desviación de frecuencia). El

índice de modulación β es el que define si la modulación es de banda angosta (valores de β pequeños comparados con 1) o de banda ancha (valores de β mayores que 1), esta última la más importante y la que utiliza las funciones de Bessel para su representación:

$$s(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cos[2\pi(f_c + n f_m)t]$$

También se puede determinar la potencia promedio de una señal FM utilizando las funciones de Bessel:

$$P = \frac{1}{2} A_c^2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n^2(\beta)$$

Para la obtención del ancho de banda de una señal FM se utilizan varios métodos entre los cuales se encuentra la regla de Carson:

$$B_T \approx 2\Delta f + 2f_m = 2\Delta f \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Es común que al transmitir una señal FM se envíen dos señales diferentes con la misma portadora. Esto se conoce como multiplexado estereofónico o FM estéreo y se hace para crear la sensación de espacio en el oyente.

Otra cosa que es importante mencionar es el proceso de preénfasis que se le hace a la señal banda base antes de modularla. Esto se hace debido a que la densidad espectral de potencia del mensaje disminuye con el aumento de la frecuencia, al contrario del

ruido cuya densidad espectral de potencia aumenta con la frecuencia. Este proceso amplifica el extremo superior del espectro del mensaje antes de ser modulado y por tanto antes de que se introduzca el ruido. El proceso inverso se llama deénfasis y se realiza después de que la señal ha sido demodulada para obtener así la señal original.

La respuesta en frecuencia del circuito de preénfasis es aproximadamente:

$$H_{pe}(\omega) = 1 + j \frac{\omega}{\omega_0} \quad (27)$$

si $R \ll r$ y $\omega Cr \ll 1$.

El filtro de deénfasis presenta la siguiente respuesta:

$$H_{de}(\omega) = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} \quad (28)$$

Para que el proceso funcione correctamente, las respuestas en frecuencia de los filtros de preénfasis y deénfasis deben ser inversas una respecto de la otra. Generalmente se utiliza una constante de tiempo $\tau = 75 \mu s$.

Trabajo Previo

1. Investigar los conceptos principales de modulación FM.
2. Buscar los parámetros técnicos exigidos por el Ministerio de Comunicaciones para la radiodifusión FM (ver plan técnico FM en www.mincomunicaciones.gov.co)
3. Hallar los 10 primeros coeficientes de Bessel para frecuencias de 1 a 15 kHz (separadas a 1 kHz), considerando una desviación de frecuencia $\Delta f = 75$ kHz y calcular la potencia en dBm para cada uno (despreciar el término $\frac{1}{2} A_c^2$).
4. Investigar sobre preénfasis y deénfasis y dibujar la curva de preacentuación para un filtro con una constante de 75 μs .
5. Buscar una foto aérea de la UIS. (Sugerencia: www.maps.google.com)

Equipo requerido

Equipo	Pruebas en las que se utiliza
Generador Digital Estéreo (DSG)	A, B, C, F
Excitador FM	A, D, E, F, G
Antena	G
Generador de señales (sg2023)	A, B, C, F
Analizador de espectros	A, B, C, D, E, F
Vatímetro	G
Antena de carga	G

Procedimiento

Antes de comenzar con el procedimiento se debe aclarar que todas las pruebas, exceptuando la de intensidad de campo y la de potencia se pueden llevar a cabo con la mínima potencia de salida del excitador.

A. Porcentaje de modulación

1. Conectar la salida de alta frecuencia del generador de señales sg2023* a una de las entradas del DSG; conectar una de las salidas del DSG a la entrada COMP del excitador; la salida del excitador (RF MON) debe ir al analizador de espectros (No se debe conectar la salida RF OUT al analizador de espectros porque podría ocasionar daños a este). Además de esto el DSG debe operar en modo mono.
2. Ajustar los controles L, R, OUT1 y OUT2 del DSG al máximo. (Todos los controles aumentan en el sentido de las manecillas del reloj)
3. Escoger un valor de frecuencia para el cual se haya encontrado los coeficientes de Bessel y aplicar una señal senoidal con este valor a la entrada del DSG.
4. Observar el espectro mostrado en el analizador de espectros y compararlo con el obtenido en el trabajo previo.
5. Variar la amplitud de la señal de entrada hasta conseguir que las diferencias de potencia entre las componentes sean aproximadamente las mismas que las halladas teóricamente. Se sugiere tomar como referencia la componente de la portadora y comparar las demás con ésta para hacer más fácil el ejercicio.
6. Repetir los puntos 3 a 5 para otros valores de frecuencia, tratando de abarcar todo el espectro de audiofrecuencia (50 Hz – 15kHz).

* Las señales generadas por este equipo son las que tienen menor distorsión armónica, por lo que se sugiere su utilización, sin embargo, la mínima frecuencia para una señal que permite este generador es 9 kHz, por lo tanto para señales con frecuencias menores debe usarse otro generador.

Preguntas Clave

- Según el espectro hallado ¿la modulación de frecuencia es de banda ancha o de banda angosta? ¿Es consecuente con el valor del índice de modulación?
- ¿Qué tan cercano es el espectro generado en la práctica con lo que se espera teóricamente?
- ¿Qué sucede cuando se varía la amplitud de la señal de entrada?
- ¿Cómo debe comportarse la sensibilidad de frecuencia del modulador con la variación de la frecuencia de la señal de entrada? ¿Ocurre lo esperado con el equipo?
- ¿Por qué la desviación de frecuencia debe ser de 75 kHz para obtener un 100% de modulación?
- ¿Cuál es el mínimo valor de amplitud que se necesita para obtener una transmisión con el 100% de modulación? ¿A que frecuencias se obtienen estos valores?
- Si la sensibilidad del equipo no puede mantenerse constante ¿a que valores de frecuencia debe ajustarse el sistema al 100% de modulación para garantizar que la desviación de frecuencia no sobrepase el límite de 75 kHz?
- ¿Cuál es el ancho de banda de transmisión?

Conclusiones

B. Respuesta de audiofrecuencia

1. Conectar la salida de baja frecuencia del sg2023 a una de las entradas del DSG y una de las salidas de este conectarla al analizador de espectros. El DSG debe estar en el modo estéreo.
2. Generar una señal con frecuencia entre 0.4 kHz y 1 kHz y aplicarla al DSG. Medir la potencia de la señal banda base y alrededor de 38 kHz a la salida del DSG.
3. Repetir el punto anterior para otras señales con frecuencias dentro del ancho de banda de audiofrecuencia (50 Hz – 15 kHz).
4. Tabular y graficar los datos obtenidos.
5. Comparar la curva de preacentuación del trabajo previo con la obtenida en la práctica.

Preguntas Clave

- ¿ La curva obtenida en la práctica corresponde con una curva de un filtro de preénfasis?
- Al comparar la curva teórica con la práctica ¿qué tanto se asemejan entre ellas?
- Si existe diferencia entra las curvas ¿cuál puede ser la causa?
- ¿Puede usted determinar si el equipo cumple con el parámetro técnico exigido por el Ministerio de Comunicaciones para la respuesta de audiofrecuencia?

Conclusiones

C. *Distorsión armónica*

1. Calibrar el sistema al 100% de modulación como se hizo anteriormente, pero esta vez variando la sensibilidad del equipo por medio de los controles OUT1 o OUT2 (dependiendo de la salida que se vaya a utilizar) y no la amplitud de la señal de entrada. (El sistema debe calibrarse con las frecuencias más altas)
2. Conectar la salida de baja frecuencia del sg2023 a una de las entradas del DSG y una de las salidas de este conectarla al analizador de espectros.
3. Aplicar señales entre 1 y 7 kHz, con separación entre ellas de 1 kHz, a la entrada del DSG.
4. Observar el espectro de salida en banda base y medir la potencia de la componente fundamental y de los armónicos que son perceptibles por el analizador.
5. Calcular la distorsión armónica para cada una de las señales de prueba y tabular los datos.

Preguntas Clave

- Emita un juicio sobre la posibilidad que tiene el sistema de funcionar dentro de los límites de distorsión que se exigen para la radiodifusión FM en Colombia.

Conclusiones

D. *Emisiones no esenciales*

1. Conectar la salida RF MON del excitador al analizador de espectros.
2. Observar el espectro generado a la salida del excitador en un rango de frecuencias separado de la portadora entre 120 kHz y 2 MHz. Medir la potencia de las componentes de frecuencia que se encuentren en este rango.

Preguntas Clave

- ¿Por qué para esta práctica las mediciones se realizan a frecuencias mayores de 100 kHz a lado y lado de la portadora?
- De acuerdo con los datos obtenidos de la práctica y en concordancia con el Plan Técnico FM ¿es la potencia de las emisiones no esenciales lo suficientemente grande como para influir en el sistema de transmisión?

Conclusiones

E. Nivel de ruido de la portadora

1. Calibrar el sistema al 100% de modulación como se hizo en la parte de distorsión armónica.
2. Conectar la salida de baja frecuencia del sg2023 a una de las entradas del DSG y la salida del DSG (la que se calibró) a la entrada COMP del excitador; conectar la salida RF MON del excitador al analizador de espectros.
3. Aplicar una señal de 50 Hz a la entrada del DSG y observar el espectro en el analizador.
4. Tomar nota de la diferencia en dB entre el espectro de la señal y el ruido que se genera.

Preguntas Clave

- ¿El ruido que se genera en la transmisión la afecta significativamente?

Conclusiones

F. Intensidad de campo utilizable

1. Escoger una frecuencia entre 1 y 15 kHz para generar la señal de prueba. (preferiblemente frecuencias bajas)
2. Calibrar el sistema de transmisión al 100% de modulación para la frecuencia escogida.
3. Con los equipos conectados para la calibración, conectar la salida RF OUT del excitador a la antena de transmisión y ajustar el control de potencia del excitador al máximo.
4. Con el medidor de campo tomar medidas del campo eléctrico generado y encontrar el límite del área de cobertura.
5. En la foto aérea obtenida en el trabajo previo trazar una matriz de puntos dentro del área de cobertura para realizar las mediciones de campo.
6. Realizar las mediciones en los puntos seleccionados y generar en MATLAB una gráfica que ilustre estas mediciones.

Preguntas Clave

- ¿Cómo se puede obtener la gráfica pedida?
- Compare la cobertura de la emisora con el máximo permitido para una estación clase D. ¿Existe alguna diferencia? ¿A que se debe?
- Diga las posibles soluciones para alcanzar el área de cobertura máxima.

Conclusiones

G. Potencia de operación y tolerancia de potencia

1. Conectar la salida RF OUT del Excitador a la entrada del vatímetro y la salida de este a la antena de carga de 50Ω .
2. Tomar nota del valor de potencia medido.
3. Conectar la salida RF OUT del Excitador a la entrada del vatímetro y la salida de este a la antena de transmisión.
4. Tomar nota de la potencia a la salida de la antena y de la potencia reflejada al equipo.
5. Repetir el punto 4 cada cierto intervalo durante todo el tiempo que dura la práctica. Tomar nota de estos valores.

Preguntas Clave

- ¿A qué corresponde el valor de potencia encontrado con la antena de carga?
- ¿Cuando se conecta la antena de carga hay potencia reflejada? ¿Por qué?
- ¿Cuáles son las razones por las que la potencia a la salida del excitador es diferente a la de la salida de la antena de transmisión?
- ¿La potencia a la salida de la antena sobrepasa el límite permitido? Si es así ¿por cuanto? ¿Es este valor tolerable?
- Si alguno de los parámetros no se cumple, dé posibles soluciones.

Conclusiones

Bibliografía

- ◆ HAYKIN, SIMON. Sistemas de Comunicación.
- ◆ COUCH II, LEON W. Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos
- ◆ CARDAMA, ÁNGEL. Antenas
- ◆ Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Acompañamiento del proyecto de regionalización de la emisora de la universidad de Antioquia.
En:
http://electronica.udea.edu.co/academicos/proyectos/comunicaciones/David_carlos/paper_acomp_regionalizacion_emisora.pdf.
- [2] AEQ: Equipamiento de audio y comunicaciones para radio y televisión.
Disponible en Internet: <http://www.aeq.es>
- [3] Antenas. Universidad Politécnica de Valencia. Dep. Comunicaciones
<http://www.upv.es/antenas/Principal/temario.html>
- [4] CARDAMA, ÁNGEL. Antenas 2ª edición. Barcelona, España, 2002. Ediciones de la Universidad Politécnica de Barcelona.
- [5] CARMONA, JOSÉ LUIS. - Proyecto de radiodifusión sonora en ondas métricas con modulación de frecuencia. Madrid, 1994.
- [6] COUCH II, LEON W. Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos 5ª edición. México, 1998. Prentice Hall.
- [7] GARCÍA, ARMANDO. Cálculo de antenas 2ª edición. Barcelona, España, 1995. Marcombo S.A.
- [8] HAYKIN, SIMON. Sistemas de Comunicación. México D.F, 2002. Limusa Wiley.
- [9] MESEN, Daniel. Antenas.
En: <http://www.monografias.com/trabajos6/ante/ante.shtml/>
- [10] Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada. Colombia, 2005. Ministerio de Comunicaciones. En: <http://www.mincomunicaciones.gov.co>
- [11] Políticas para la radiodifusión en Colombia. Bogotá, D.C., 2004. Ministerio de Comunicaciones. En: <http://www.mincomunicaciones.gov.co>
- [12] Producción de vídeo y audio. En: <http://www.pertiga.biz/oposiciones/ee3.pdf>
- [13] Radiocomunicación.
En: <http://sindominio.net/rbronka/IMG/pdf/radio-conceptos.pdf/>

- [14] Radiodifusión de Baja Potencia - Radios Libres.
En: <http://www.freeradio.org/tech/images/MicropowerPrimer-es.pdf>
- [15] RODDY, DENNIS; JOHN COOLEN. Electronic Communications 4th edition. Englewood Cliffs, N.J., 1995. Prentice Hall.
- [16] SANABRIA, MELQUISEDEC; ZAMBRANO, HUMBERTO. Caracterización, estudio de desempeño de canal e implementación de un prototipo *packet radio* para un sistema de transmisión de datos sobre una red inalámbrica de voz basada en radios móviles. Bucaramanga, 2003.
- [17] SIERRA, MANUEL. Electrónica de Comunicaciones. Madrid, 2003. Prentice Hall
- [18] TEMES, LLOYD; SCHULTZ, MITCHEL E. Schaum's Outline of Theory and Problems of Electronic Communication 2nd edition. New York, 1998. MacGraw Hill.