Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

ESCUELA DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

IMPLEMENTACION DE EXPERIENCIAS PARA LA MEDICION DE PARAMETROS DE CALIDAD EN EQUIPOS DE RADIOCOMUNICACIONES EN LAS BANDAS DE HF Y VHF.

Tesis para optar al título de

Ingeniero Electrónico

Profesor Patrocinante:

Sr. Franklin Castro Rojas

Ingeniero Electrónico

MARCO ANTONIO OJEDA HARO

VALDIVIA 2003

Profesor Patrocinante

Franklin Castro Rojas: _____

Profesores Informantes

Pedro Rey Clericus: _____

Alejandro Villegas Macaya: _____

Dedicatoria

A mis padres,

Alicia Haro Hernández y Braulio Ojeda Oyarzo, quienes gracias a su abnegado esfuerzo, apoyo y confianza, han permitido que hoy alcance esta nueva meta en mi vida. Para ustedes todo agradecimiento es poco…

A mis hermanos,

Quienes a pesar de las distancias, supieron darme una palabra de ánimo cuando era necesaria. Les agradezco también los consejos brindados…

A Marithza,

A quien tuve la suerte de conocer, llenando mi vida de alegrías y hermosos momentos. Gracias por tu incondicional apoyo y por brindarme tu amor día a día…

Agradecimientos

Agradezco muy sinceramente a mi tutor Don Franklin Castro Rojas, Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Instituto de Electrónica, quien me brindó su ayuda y su basta experiencia en Telecomunicaciones, permitiéndome llegar a buen término en el desarrollo de este trabajo de titulación.

Agradezco a todos mis profesores por parte de la Escuela de Electricidad y Electrónica y del Instituto de Electrónica de la Universidad Austral de Chile, en especial a mis tutores, Don Pedro Rey Clericus y Don Alejandro Villegas Macaya.

Finalmente, extiendo también mis agradecimientos a todas aquellas personas que, de alguna u otra manera, me apoyaron en la realización de este trabajo.

Resumen

La presente Tesis contempla un estudio general de las partes constitutivas de un sistema de comunicaciones de radiofrecuencias, de los fenómenos de propagación y de los equipos empleados en las mediciones de parámetros de HF y VHF.
Cuenta además con información referente a la reglamentación vigente dictada a través del organismo regulador a nivel nacional (SUBTEL) el cual norma el uso y potencias de las transmisiones de radiofrecuencias.

Con esta información recopilada más el aporte del alumno tesista, se estructura un set de experiencias de laboratorio para la asignatura de Radiofrecuencias que proporcionarán al alumno de Ingeniería Electrónica un conocimiento práctico que lo reforzará en estos sistemas.

La información aquí presentada proviene de una amplia gama de fuentes, donde destacan principalmente los textos especializados en comunicaciones de radio, papers obtenidos de Internet y de los manuales de equipos que se contemplan para el desarrollo práctico de las experiencias.

Summary

The present Thesis contemplates a general study of the parts of a radiofrequency communications system, of the phenomena of propagation and the equipment used in HF and VHF measurements.

With this information compiled plus the contribution of the tesista student, it's given a set of laboratory experiences for the subjet of Radio frequencies that will provide to the student of Electronic Engineering a practical knowledge that it will reinforce in these systems.

The information presented here comes from an ample range of sources, where they mainly emphasize specialized texts in radio communications, papers obtained of Internet and the manuals of equipment that is contemplated for the practical development of the experiences.

Objetivos

Objetivo General.

Estructurar bajo la supervisión y colaboración del profesor patrocinante, un set de experiencias en sistemas de radiofrecuencias que permitan complementar la formación teórico-práctica del alumno de Ingeniería Electrónica.

Objetivos Específicos.

- Analizar las características generales en el ámbito de propagación y equipos de uso en las frecuencias de HF y VHF.
- Reconocer los parámetros que definen la calidad de un receptor de comunicaciones.
- Identificar las partes constituyentes de un sistema de comunicaciones de Radiofrecuencias.
- Manejar equipos de medida de uso común en estos sistemas, que posibiliten evaluar el performance de un equipo.
- Contrastar las mediciones efectuadas en laboratorio, con las recomendaciones otorgadas por la SUBTEL, de manera de incentivar en el alumno el conocimiento de la reglamentación vigente y que sea capaz de evaluar el cumplimiento o no de ella.

Introducción

El avance actual que presenta la tecnología de comunicaciones, donde la movilidad de los equipos es un valor agregado, y donde los sistemas inalámbricos son cada vez más predominantes, nos revela la importancia que tiene el sólido conocimiento de los principios de comunicación de Radiofrecuencias por parte de un Ingeniero con perfil en Telecomunicaciones.

Bajo esta premisa, y con la absoluta certeza que un Laboratorio que contemple el manejo de equipos y que permita la aplicación práctica de la teoría proporcionada en las horas de clases, harán del alumno de Ingeniería Electrónica un profesional más capacitado y más seguro a la hora de actuar bajo un requerimiento técnico de esta índole, se ha propuesto la *Implementación de Experiencias para la Medición de Parámetros de Calidad en Equipos de Radiocomunicaciones en las Bandas de HF y VHF.*

Se ha acotado el estudio por parte del autor de esta tesis a estas bandas únicamente, debido a que los equipos con que se cuenta para dicho trabajo son aptos para el manejo de estas frecuencias.

Indice

DEDICATORIA III

AGRADECIMIENTOS IV

RESUMEN V

SUMMARY VI

OBJETIVOS VII

INTRODUCCIÓN VIII

CAPÍTULO I. EL ESPECTRO RADIOELECTRICO 14

1.1. OBJETIVOS DEL CAPITULO 14

1.2. LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS 15

1.3. LAS ONDAS DE RADIO 18

1.3.1. Refracción *19*

1.3.2. Reflexión *20*

1.3.3. Dispersóon *20*

1.3.4. Difracción *20*

1.4. PROPAGACION DE ONDAS ELECTROMAGNETICAS EN LA ATMOSFERA 21

1.4.1 La troposfera *21*

1.4.2. La estratosfera *21*

1.4.3. La mesosfera *22*

1.4.4. La ionosfera *22*

CAPÍTULO II RADIO HF 23

2.1. OBJETIVOS DEL CAPITULO. 23

2.2. COMUNICACIONES EN H.F. 24

2.3. APLICACIONES DE LAS COMUNICACIONES EN H.F. 25

2.4. LA IONOSFERA EN LAS TRANMSISIONES DE H.F 26

2.4.1 Ciclos de actividad ionosférica *26*

2.4.2. Distribuación de capas de la ionosfera *27*

2.4.2.1. La capa F2 *27*

2.4.2.2 La capa F1 *27*

2.4.2.3. La capa E *28*

2.4.2.4 La capa D 28

2.5. FRECUENCIA DE TRABAJO 28

2.5.1 Frecuencia crítica 28

2.5.2. Máxima Frecuencia utilizable 29

2.5.2. Frecuencia óptima utilizable 29

2.5.4. Alta Frecuencia más baja utilizable 29

2.6. METODOS DE SELECCIÓN DE FRECUENCIA 30

2.6.1. Experiencia 30

2.6.2. Predicciones del CRPL 30

2.6.3. Predicciones por PC 31

2.6.4. Sondeos Ionosféricos 31

2.6.5. Usode las emisoras de broadcast 31

2.7. MODOS DE PROPAGACION HF 32

2.7.1 Propagación básica de ondas terrestres 32

2.7.2. Propagación por onda espacial 33

2.7.3. Propagación por onda de incidenccia vertical 35

CAPÍTULO III. RADIOCOMUNICACION EN VHF. 36

3.1. OBJETIVOS DEL CAPITULO 36

3.2. COMUNICACIONES EN HF. 37

3.2.1. Clasificación por bandas 37

3.2.1.1 Banda VHF baja 37

3.2.1.2 Banda VHF alta 38

3.3. PROPAGACIÓN EN LA REGION DE VHF. 38

3.3.1. Propagación por dispersión troposférica 38

3.3.2. Propagación por ráfagas meteóricas 39

3.3.3. Propagación auroral 39

3.3.4. Propagación por dispersión troposférica 39

3.3.5. Propagación transecuatorial por dispersión 40

3.3.6. Propagación E esporádica 41

3.3.7. Canales troposféricos 41

3.3.8. Difracción de filo de navaja 41

3.3.9. Propagación en línea vista 42

CAPÍTULO IV. FUNDAMENTOS DEL RECEPTOR DE COMUNICACIONES 44

4.1. OBJETIVOS DEL CAPÍTULO 44
4.2. TIPOS DE RECEPTORES 45
4.2.1. El detector autodino 45
4.3. REQUISITOS FUNCIONALES DEL RECEPTOR 46
4.3.1. Sensibilidad 47
4.3.2. Selectividad 47
4.3.3. Fidelidad 48
4.3.4. Respuesta espuria 48
4.3.5. CAG: contro automático de ganancia 49
4.3.6. Figura de ruido 49
4.3.7. Estabilidad 49
4.4. EL RECEPTOR SUPERHETERODINO 50
4.4.1. Conversión de frecuencia 51
4.4.2. Etapa amplificadora de RF 52
4.4.3. Rechazo de señales imágen 53
4.4.4. Conversión de frecuencia 54
4.4.5. Rango de sintonización 54
4.4.6. El proceso de mezcla 55
4.5. RECEPTORES DE VHF/UHF 56
4.5.1. Fuentes de ruido VHF/UHF 56
4.6. CIRCUITOS DE RECEPTORES DE VHF 58
4.6.1. Protección del amplificador 59

CAPÍTULO V. BROADCASTING AM Y FM 60

5.1. OBJETIVOS DEL CAPÍTULO 60
5.2. CONCEPTO DE MODULACIÓN 61
Modulación para facilitar la radiación 61
Modulación para reducir el ruido y la interferencia 62
Modulación para asignación de frecuencia 62
Modulación para multicanalización 62
Modulación para superar las limitaciones del equipo 62
5.3. MODULACIÓN DE AMPLITUD (AM) 63
5.3.1. AM comercial 64
5.3.2. Espectro de frecuencia de AM 65

5.3.3. Técnicas de modulación 66
5.3.3.1. Modulación DSB-LC 68
5.3.3.2. Indice de modulación 70
5.3.3.3 Distribución de la potencia de AM 71
5.3.4. Demodulación de señales DSB-LC 73
5.3.4.1. Detector de envolvente 73
5.4. FRECUENCIA MODULADA 75
5.4.1. Conceptos generales 75
5.4.4.1. Características de la F.M. 76
5.4.4.2. Transmisiones comerciales de F.M. 77
5.4.2. Modulación de frecuencia 78
5.4.2.1. Desviación de fase, indice de modulación y desviación de frecuencia 79
5.4.2.2. Porcentaje de modulación 80
5.4.2.3. Requerimientos de ancho de banda 80

CAPÍTULO VI. ANTENAS **82**

6.1. OBJETIVOS DEL CAPITULO 82
6.2. GENERALIDADES 83
6.3. PARAMETROS DE ANTENAS DE TRANSMISION 84
6.3.1. Impedancia 84
6.3.2. Patrón de radiación 85
6.3.3. Directividad 87
6.3.4. Polarización 87
6.3.5. Ancho de banda 87
6.3.6. Ancho del haz de la antena 88
6.3.7. Ganancia 89
6.3.8. Relación frente/espalda 89
6.4. TIPOS BÁSICOS DE ANTENAS 90
6.4.1. Dipolo de media onda 90
6.4.2. La antena resonante 90
6.4.3. Antena de Yagi-Uda 92
6.4.4. Loops 94
6.4.5. Antenas logoperiódicas 95

CAPÍTULO VII. IMPLEMENTACION DE EXPERIENCIAS DE LABORATORIO **96**

7.1. MEDICION DE POTENCIA DE SALIDA EN TRANSMISORES 97
7.2. RECEPCION Y MEDICION DE PARAMETROS EN EMISORAS DE FM 105
7.3. ANALISIS ESPECTRAL DE SEÑALES DE BROADCAST DE TV 113
7.4. TRANSCEPTORES 122
7.3. SUPERVISION EN TERRENO DE RADIOEMISRAS FM 130

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES **138**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **140**

ANEXO 1 **141**

ANEXO 2

Capitulo I. El espectro radioeléctrico

Antes de dar comienzo a un estudio teórico de las comunicaciones en las bandas de HF y VHF, se considera adecuado aclarar algunos conceptos que serán recurrentes en el transcurso de los capítulos posteriores.

En este capítulo se estudiará el Espectro Radioeléctrico, de vital importancia en las Radiocomunicaciones. Para ello, se contempla en primera instancia, una clasificación de las bandas de frecuencias, considerando sus usos en Telecomunicaciones. Hacia el final, se abordará en forma breve, un análisis de las ondas electromagnéticas y de los fenómenos asociados a ellas cuando son propagadas a través del espacio.

1.1 Objetivos del Capítulo

- Establecer una clasificación de las bandas de frecuencias y conocer la nomenclatura utilizada.
- Conocer los fenómenos de *refracción, reflexión, dispersión y difracción* que experimentan las ondas electromagnéticas.
- Proporcionar una descripción de las diferentes capas de la atmósfera y de su características que permiten la propagación de señales de radiofrecuencia.

1.2 Las ondas electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas, ondas que poseen una componente eléctrica y una componente magnética, se clasifican según la frecuencia de oscilación. A medida que se incrementa la frecuencia, disminuye la longitud de onda. El espectro de frecuencias de radiación electromagnética se extiende desde unos pocos Hz para la distribución de energía eléctrica, a los 10^{20}Hz para los rayos X. Las frecuencias bajas son usadas prioritariamente para comunicaciones y broadcasting[1] terrestre. Las altas frecuencias incluyen la luz visible, infrarroja, ultravioleta y los rayos X. La velocidad de propagación es una constante para todas las frecuencias, y en el vacío su valor es de 300.000Km/s (la velocidad de la luz).

Es oportuno aclarar que se denomina *Espectro Radioeléctrico* a la porción del Espectro Electromagnético ocupado por las ondas de radio, o sea las que se usan para telecomunicaciones. Las frecuencias de interés a los ingenieros de RF comprenden el rango de 30KHz a 30GHz, aproximadamente.
Dentro del espectro radioeléctrico y con la finalidad de establecer un orden, los organismos internacionales, establecieron una clasificación de bandas a partir de las frecuencias de trabajo, de las aplicaciones y de las particularidades de propagación que cada una de ellas presenta. Así nos encontramos con las siguientes:

- **Low Frequency (LF): 30 a 300KHz**

  La banda de LF es usada para los servicios de comunicaciones de larga distancia y donde se dispone de una potencia adecuada para superar los altos niveles de ruido atmosférico. Las aplicaciones incluyen:

  - Radionavegación
  - Comunicaciones y navegación marítima fija.
  - Radionavegación aeronáutica
  - Broadcasting de baja frecuencia (Europa)
  - Comunicaciones submarinas bajo el agua

[1] Broadcast: Transmisión unidireccional a múltiples puntos receptores. Radiodifusión.

- **Medium Frequency (MF):300KHz a 3MHz**

La porción de baja frecuencia de esta banda es usada para los servicios de comunicación sobre distancias moderadamente largas. La porción superior de la banda de MF es usada principalmente para comunicaciones de voz de media distancia. Las aplicaciones en esta banda incluyen:

- Broadcasting de radio AM (535 a 1605KHz)
- Radionavegación
- Comunicaciones marítimas fijas
- Radionavegación aeronáutica
- Comunicaciones comerciales fijas y móviles
- Radioaficionados
- Servicios de tiempo y frecuencia

- **High Frequency (HF):3 a 30MHz**

Esta banda provee una cobertura de rango medio confiable durante la luz del día y, cuando el camino de la transmisión está en total oscuridad, es un servicio de larga distancia mundial. La confiabilidad y calidad de la señal del servicio de larga distancia depende en gran medida de las condiciones ionosféricas y de las variaciones a largo plazo en la actividad del sol, afectando a la propagación de ondas aéreas. Las aplicaciones incluyen:

- Broadcasting de onda corta
- Servicios fijos y móviles
- Telemetría
- Radioafición
- Radio astronomía
- Aeronáutica fija y móvil

- **Very High Frequency (VHF):30 a 300MHz**

La banda de VHF es caracterizada por la transmisión confiable sobre media distancia. En la porción alta de la banda de VHF, las comunicaciones son limitadas por el horizonte. Las aplicaciones abarcan:

- Broadcasting de radio FM (88 a 108MHz)
- Banda baja de Broadcasting TV-VHF (54 a 72MHz y 76 a 88MHz)
- Banda alta de Broadcasting TV-VHF (174 a 216MHz)

- Radio comercial fija y móvil
- Radionavegación aeronáutica
- Investigación espacial
- Radioafición
- Ubicación por radio

➢ **Ultra High Frequency (UHF):30MHz a 3GHz**

Las transmisiones en esta banda son típicamente línea vista. Las longitudes de onda corta en la porción superior de la banda permiten el uso de antenas parabólicas y multielementos altamente direccionales. Las aplicaciones incluyen:

- Televisión terrestre UHF (470 a 806MHz)
- Comunicaciones fijas y móviles
- Telemetría
- Ayuda meteorológica
- Operaciones espaciales
- Radioastronomía
- Radionavegación
- Comunicaciones satelitales
- Microondas punto a punto

➢ **Super High Frequency (SHF):3 a 30GHz**

Las comunicaciones en esta banda son estrictamente línea vista. Las longitudes de onda muy cortas permiten el uso para transmisión y recepción de antenas parabólicas de excepcional ganancia. Las aplicaciones incluidas son:

- Comunicaciones satelitales
- Radar
- Comunicaciones de banda ancha especializadas
- Desarrollo de investigación
- Sistemas de soporte militar
- Radio localización
- Radionavegación
- Investigación espacial

Esta división del Espectro Radioeléctrico fue establecida por el *Consejo Consultivo Internacional de las Comunicaciones de Radio (CCIR)* en el año 1953. Debido a que la radiodifusión nació en los Estados Unidos de América, las denominaciones de las divisiones se encuentran en idioma inglés y de allí las abreviaturas tal cual las conocemos, adoptadas en la Convención de Radio celebrada en Atlantic City en 1947.

Dentro de las bandas de nuestro interés para los fines prácticos de esta tesis, a continuación se entrega una clasificación que considera las bandas de HF y VHF junto con los servicios de comunicaciones y el rango de frecuencias en que ellas operan.

Banda	**Frecuencia**
Banda de broadcast AM	550 –1600KHz, 107 canales, separación de 10KHz
HF	3 – 30MHz
Banda de broadcast de onda corta	5.95 – 26.1MHz (8 bandas)
TV VHF (Canales 2 – 4)	54 – 72MHz
TV VHF (Canales 5 – 6)	76 – 88MHz
Banda de broadcast FM	88 – 108MHz
TV VHF (Canales 7 – 13)	174 – 216MHz
TV UHF (Canales 14 – 69)	512 – 806MHz

Aplicaciones de interés en Radiocomunicaciones en las bandas de HF y VHF..

1.3 Las ondas de Radio

En condiciones normales y en el ámbito de una atmósfera uniforme, las ondas de radio se desplazan en líneas rectas. Teniendo en cuenta la forma esférica de nuestro planeta, la comunicación con un punto situado más allá del horizonte será posible, en ciertas condiciones y solamente en determinadas frecuencias. Para comunicaciones seguras a grandes distancias entre puntos situados sobre la superficie terrestre se utilizan las frecuencias de HF, ya que estas ondas son reflejadas en la alta atmósfera y regresan a la tierra a miles de kilómetros. Las

frecuencias de VHF, UHF y SHF no se reflejan en la atmósfera (salvo algunas excepciones) y por lo tanto están limitadas al alcance visual de los puntos a comunicar.
Las ondas de radio permiten la comunicación más allá del horizonte gracias a fenómenos de *refracción, reflexión, dispersión y difracción*. Este tipo de ondas pueden viajar a través del vacío a la velocidad de la luz y aproximadamente a un 95% de esta velocidad en otro medio (por ejemplo un cable). A través de la atmósfera terrestre la reducción de la velocidad es generalmente insignificante.

1.3.1 Refracción

La *refracción* es el fenómeno que experimentan las ondas electromagnéticas cuando sufren alteraciones en su velocidad y la dirección de su trayectoria, al atravesar las diferentes capas de la atmósfera[2] con cierto ángulo, debido a los cambios en la naturaleza del medio donde se propaga. Haciendo una analogía con los conceptos de óptica, normalmente se aprecia un fenómeno similar al introducir un lápiz en un vaso con agua, el cual aparenta estar doblado.

El grado hasta el cual llega a curvarse la trayectoria de la onda depende de la magnitud de la alteración de la velocidad provocado por el cambio del medio, de la ionización de una capa y de la longitud de onda de la onda electromagnética.

Por otra parte, el *índice de refractividad* permite expresar la curvatura de la trayectoria de la onda introducida en el medio, siendo igual al cociente entre la velocidad de propagación en el vacío y la velocidad de propagación en el medio atravesado.

$$\text{Indice de Refractividad} = \frac{\text{Velocidad de Propagación en vacio}}{\text{Velocidad de Propagación en medio}}$$

Las ondas de radio atraviesan las diversas capas de la atmósfera, desde la troposfera hasta la ionosfera y si los índices de refractividad de cada una de estas capas son muy diferentes, se produce una reflexión total.

[2] Las capas de la atmósfera de importancia en la propagación de ondas de radio serán estudiadas en detalle en el apartado 1.4.

1.3.2 Reflexión

Las *reflexiones* se producen en objetos grandes, tanto móviles como estacionarios, cuyo tamaño debe ser de varias longitudes de onda a la frecuencia de trabajo y de superficies planas. Para frecuencias de VHF o superiores se pueden comportar como reflectores las capas ionizadas de la alta atmósfera, los límites entre las masas de aire de diferente temperatura y humedad de la baja atmósfera y también las grandes acumulaciones de agua. Otros reflectores lo constituyen los aviones, los edificios, las montañas y la superficie del planeta.

Las reflexiones en la atmósfera permiten las comunicaciones más allá del horizonte óptico sobre la superficie de la tierra. Tanto el receptor como el transmisor deben apuntar hacia las superficies reflectantes y la superficie común no necesariamente debe estar ubicada a mitad de camino entre ambos puntos.

1.3.3 Dispersión

Las ondas de radio sufren el efecto de la *dispersión* cuando atraviesan alguna masa de electrones o pequeñas gotas de agua en áreas suficientemente grandes, y de esta manera se refractan. Este fenómeno es similar al observado en la radiación de luz intentando penetrar en la niebla. Generalmente la refracción se producirá solamente a determinados ángulos.

1.3.4 Difracción

Cuando existe un obstáculo en el camino de las ondas electromagnéticas o cuando atraviesa capas de aire de densidades irregulares, la *difracción* (el esparcimiento de las ondas en los límites de la superficie) permite que un pequeño porcentaje de las ondas lleguen del otro lado de la obstrucción. Esto se explica porque una pequeña parte de la energía de la onda se dispersa en muchas direcciones, lo que generalmente permite la recepción en zonas de "sombra de señal" detrás de montañas o grandes edificaciones.

1.4 Propagación de ondas electromagnéticas en la atmósfera

Todas las ondas de radio se propagan por el aire o por el espacio. Cuando lo hacen a través del aire, la atmósfera produce efectos sobre las ondas que la atraviesan.
La capa de aire que rodea nuestro planeta está compuesta de Nitrógeno y Oxigeno en grandes proporciones, junto a otros gases en cantidades mucho mas pequeñas, incluidos fragmentos de elementos que llegan del espacio exterior. La composición se mantiene constante hasta una altitud de 100 Km., pero la densidad disminuye notablemente y luego, en la alta atmósfera, solamente se encuentra Nitrógeno y Helio.

La radiación del Sol actúa en toda la atmósfera. En áreas cercanas a la superficie influye con su calor en los fenómenos meteorológicos. En la alta atmósfera transforma los gases mediante la radiación ultravioleta y los rayos X.

La atmósfera se encuentra dividida en grandes regiones muy diferentes: la TROPOSFERA, la ESTRATOSFERA, LA MESOSFERA y la IONOSFERA.

1.4.1 La Troposfera

Se encuentra entre la superficie de la Tierra y una altura promedio de 10 Km. En esta región se producen los fenómenos meteorológicos, ya que es aquí donde se encuentran las nubes, tormentas, vientos, frentes de diferente presión, temperaturas variables, etc. Esta capa es la responsable de la mayoría de las condiciones de propagación en VHF según las condiciones del clima.

1.4.2 La Estratosfera

Se encuentra sobre la troposfera, entre los 10 y los 50 Km. sobre la superficie terrestre; de baja densidad, no tiene ninguna influencia sobre las comunicaciones. Tiene gran poder de absorción de la radiación ultravioleta del sol, en la que el Ozono juega un papel muy importante, impidiendo que los rayos ultravioletas alcancen la superficie de la tierra. En esta capa la temperatura aumenta con la altitud, llegando al máximo en la capa de Ozono, debido a la máxima absorción de la luz solar.

1.4.3 La Mesosfera

Esta capa de la atmósfera se encuentra ubicada entre los 50 y los 80 Km. de altura. En su parte inferior contiene una pequeña cantidad de Ozono y por lo tanto calentamiento máximo debido al contacto directo con la porción superior de la estratosfera. A mayor altura, disminuye la temperatura. En la porción superior comienza la ionización de la capa D perteneciente a la ionosfera.

1.4.4 La Ionosfera

Sobre la mesosfera y hasta una altura de 600 Km. se encuentra la ionosfera. Esta región de la atmósfera se ioniza, al recibir la radiación ultravioleta y los rayos X del Sol, y se liberan electrones de las moléculas de Nitrógeno y de Oxigeno (que pueden permanecer muchas horas en ese estado y en grandes áreas). Si estos electrones reciben excitación de radiofrecuencia, están en condiciones de irradiarla nuevamente hacia áreas adyacentes, incluida la Tierra, o simplemente la disipan.

La ionosfera es muy importante para las comunicaciones en HF ya que las señales que llegan a esta región son refractadas hacia la tierra, a miles de Km. del lugar de origen. En condiciones normales la ionosfera no produce ningún efecto sobre las señales de VHF, que la atraviesan y se pierden en el espacio exterior.

Los electrones libres se agrupan en diferentes capas dentro de la ionosfera. Estas serán estudiadas posteriormente y en más detalle a lo largo del capítulo II.

Capítulo II. Radiocomunicación en HF

Las ondas de radio se pueden propagar desde una antena transmisora hasta una antena receptora en la propia superficie de la Tierra, en todas direcciones, a través de la atmósfera, o por reflexión o dispersión desde reflectores naturales o artificiales.

En este capítulo se analizarán las particularidades que presenta la transmisión de señales en la banda de HF. Para ello abordaremos temas tales como la selección de las frecuencias de trabajo, la implicancia de la actividad solar e ionosférica en dichas señales.

2.1 Objetivos del capítulo

- Conocer la influencia de la Ionosfera en la comunicación de señales de HF.
- Comprender los conceptos de MUF, LUF y FOT empleados en transmisión ionosférica y su dependencia de la actividad solar y hora del día, como también de los métodos de selección de estas frecuencias.
- Estudiar los diferentes modos de propagación empleados en las transmisiones de HF.

2.2 Comunicaciones en HF

La transmisión de radiofrecuencia entre 3 y 30MHz, por convención de la ITU[3], es llamada High Frequency (HF), conocida también como onda corta.

Las comunicaciones en HF es un método de radio transmisión único por sus peculiares características de propagación. Este fenómeno de propagación es tal, que muchos radioaficionados, en ciertas ocasiones, establecen comunicaciones satisfactorias que cubren medio mundo con potencias radiadas de 1-2 W. Una vez alcanzado el horizonte óptico, las señales se refractan en la ionosfera y alcanzan nuevamente la superficie a distancias considerables. La distancia del salto depende de la frecuencia y de las propiedades de la ionosfera, que inclusive durante la noche posee características muy favorables.

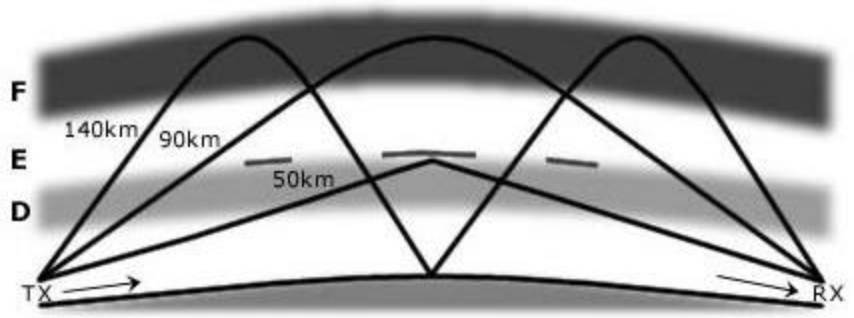


Figura 2.1. *Propagación de señal HF mediante reflexión Ionosférica*

La alta frecuencia radiada por la antena transmisora, es reflejada por las capas altas de la atmósfera, siendo la más importante de ellas la llamada capa F_2, que está situada a unos 250 kilómetros por encima de la Tierra. Cuando un haz es radiado paralelo a la superficie de la Tierra alcanzará dicha capa a unos 2.000 kilómetros a partir del transmisor, incidiendo en la Tierra después de haber sido reflejada a una distancia de unos 4.000 kilómetros, siendo este el salto fiable más largo.

Las propiedades reflectoras de esta capa se deben a la ionización. La densidad del aire a esta altura es tan pequeña que la radiación solar y especialmente, los rayos ultravioletas del sol, son capaces de ionizar el aire, desprendiéndose iones y electrones libres. La concentración de

[3] ITU.International Telecommunication Union. Mayor información referirse a la Bibliografía.

electrones, o "gradiente de ionización" determina las propiedades reflectoras de la capa; cuando dicha concentración es grande, la capa podrá reflejar incluso las frecuencias altas (cortas longitudes de onda) hacia la Tierra; cuando es baja, sus características de reflexión se limitarán a las bandas de baja frecuencia solamente.

2.3 Aplicaciones de las comunicaciones en HF

HF es probablemente el medio más económico de transmisión de bajas tasas de información a larga distancia.

Tradicionalmente, desde 1930, HF ha sido el soporte principal de la comunicación barco-costa-barco. Las comunicaciones por satélite ofrecida por INMARSAT[4], ciertamente proveen de un servicio más confiable, pero HF continua predominando, debido al bajo costo de implementación. HF también es usada en circuitos tierra-aire-tierra como fuente secundaria, de respaldo y primaria en algunas rutas transoceánicas.

Igualmente HF es ampliamente usada para difusión global de propaganda tales como la estadounidense Voz de América, Radio Libre Europea, por mencionar algunos. Muchas de estas instalaciones son muy grandes, con potencia efectiva isotrópicamente[5] radiada de un Megawatt.

La transmisión en HF tiene muchas desventajas, algunas de ellas son:

- Baja relación de información. El máximo ancho de banda por regulación de radio, es cuatro canales de voz de banda lateral independiente de 3KHz.
- Reducida disponibilidad de tiempo de enlace comparada con comunicaciones por satélites, fibra óptica, cable coaxial, par de hilos, troposfera o microondas por línea vista.
- El fading o desvanecimiento de la señal es el problema endémico de los enlaces a través de ondas aéreas. El ruido atmosférico, galáctico, y sintético (generado por el hombre) son las causas primarias de poca disponibilidad, además del fenómeno de propagación mismo.

[4] International Marine Satellite [organization].

[5] Antena isotrópica: antena teórica, que tiene la característica de irradiar igualmente en todas las direcciones del espacio, dando lugar a un diagrama de radiación esférico. Es usado como antena patrón.

2.4 La ionosfera en las transmisiones de HF

Como se mencionó anteriormente, la capa de mayor importancia para la comunicación a través de señales HF es la Ionosfera. Ahora bien, esta capa sufre una serie de modificaciones asociadas principalmente a la actividad del sol y las horas del día. En los puntos siguientes estudiaremos en más detalle estos factores.

2.4.1 Ciclos de actividad ionosférica

La densidad de la ionosfera depende de la cantidad de radiación solar recibida, que no es constante. La radiación emitida por el Sol es variable con respecto a la rotación del Sol sobre su eje y también de un periodo de 11 años de actividad[6]. Estas variaciones son manifestadas por la cantidad de *manchas solares* observadas desde hace varios siglos. El promedio de manchas alcanza valores máximos cada once años. Hasta el momento, el máximo promedio de manchas en un ciclo fue de 200. También se puede expresar la intensidad de la actividad como *flujo solar*, expresado en una escala de 60 a 300. El mínimo de manchas corresponde a una medida de 60 y el máximo de manchas corresponde a una medición de 300 del flujo solar.

Figura 2.2. *Fotografía de una mancha solar*

Las manchas solares consisten en disturbios magnéticos en la superficie de la estrella seguidos de altísimas emisiones de ondas electromagnéticas. Estas emisiones abarcan un amplio rango de frecuencias, desde frecuencias de HF hasta los Rayos X, manifestándose inclusive como alto ruido en la banda de VHF. Estas emisiones se incrementan durante los peaks máximos del ciclo de 11 años. De esta manera llegan emisiones ultravioletas a la ionosfera, la que se ioniza

[6] Mayor información sobre el ciclo solar en http://science.msfc.nasa.gov/ssl/pad/solar/sunspots.htm

intensamente, aumentando la frecuencia máxima utilizable en la capa F_2 y posibilitando comunicaciones de mayor distancia en HF e inclusive favorecer las comunicaciones en las bandas inferiores de VHF. Las predicciones de las condiciones de propagación toman en cuenta el flujo solar y las manchas solares en conjunto con otras variables.

2.4.2 Distribución de capas de la ionosfera

2.4.2.1 La capa F_2

La más alta de las dos regiones principales de la ionosfera se denomina *capa F_2*. Esta capa tiene límites virtuales de 200-400 Km. y es la principal región reflectante para la comunicación en alta frecuencia (HF).

La altitud y la densidad de ionización varían durante el día y también en las distintas estaciones del año y con el ciclo de manchas solares. Durante la noche, la capa F_2 se mezcla con la capa F_1 y la reducción de la absorción de la capa E produce intensidades de campo y ruido durante la noche que, generalmente, son más elevados que durante las horas diurnas.

La capa F_2 aparece aproximadamente cuando sale el Sol, y la frecuencia crítica aumenta bruscamente, alcanzando un máximo algunas horas después de que el Sol está en el cenit, o sea cuando alcanza la máxima elevación en el horizonte.

2.4.2.2 La capa F_1

La capa F_1 tiene una altitud virtual de aproximadamente 160-240 Km. y solo existe durante las horas diurnas. Esta capa es ocasionalmente la región reflectante para la transmisión HF, pero ordinariamente las ondas que penetran la capa E penetran también en la capa F_2. La capa F_1 introduce una absorción adicional de tales ondas. Durante la noche no existe la capa F_1, mezclándose con la capa F_2 para formar la única capa nocturna F.

2.4.2.3 La capa E

Por debajo de la capa F, a una altura de aproximadamente 100 Km. hay una capa absorbente denominada capa E, que existe durante las horas diurnas y que alcanza el máximo al mediodía. Para todos los fines prácticos, la capa E desaparece durante la noche, aunque se pueden observar algunos vestigios de ella. Esta capa es importante para la propagación diurna de HF a distancias menores de 1600 Km., y para la propagación nocturna en frecuencias medias y ocasionalmente a distancias que exceden de 160 Km.

Durante más de la mitad del tiempo en ciertos días o noches pueden existir regiones del espacio en que se forman "nubes" de ionización inusualmente elevada, llamadas *capas E esporádicas.*

2.4.2.4 La capa D

Debajo de la capa E existe la capa D a altitudes de 50-80 Km. Es absorbente y existe en las horas centrales del día durante los meses más cálidos. Se sabe que la capa D permanece ionizada mientras la atmósfera recibe radiación solar y desaparece rápidamente a la puesta del Sol.

2.5 Frecuencia de Trabajo

Visto las continuas variaciones que se generan en las distintas capas de la ionosfera y por ser la comunicación en HF predominantemente ionosférica, otro factor de relevancia para el establecimiento de un enlace, es la frecuencia con la que propagaremos las señales al espacio.

2.5.1 Frecuencia crítica

La frecuencia crítica *fc* de la capa ionosférica, es la frecuencia más elevada que se refleja cuando la onda choca con la capa de incidencia vertical. Las frecuencias más altas que la crítica *fc* atraviesan la capa.

La frecuencia crítica es de interés en cuanto existirá una *distancia de salto* en todas las frecuencias más elevadas que la frecuencia crítica a una determinada hora y en un circuito

dado. Cuanto más alta sea la frecuencia crítica, mayor será la densidad de ionización y más alta la *máxima frecuencia utilizable*.
La frecuencia crítica, como también la altura de las capas, se miden por técnica de impulsos y su eco de retorno se observa en un tubo de rayos catódicos, como en un equipo de radar.

2.5.2 Máxima frecuencia utilizable (MUF)

Se denomina MUF a la Frecuencia Máxima Utilizable que se refleja en la alta atmósfera para regresar a la superficie a muchos kilómetros del origen. Depende de la actividad solar y las manchas solares que alteran la ionosfera en forma súbita y breve o por lapsos de tiempos prolongados. La MUF es variable día a día y según la irradiación solar, siendo de 10MHz como mínimo y de 65MHz o más con máxima actividad solar. Una de las características de la actividad solar es que logra aumentar la MUF aunque puede disminuir en forma repentina.

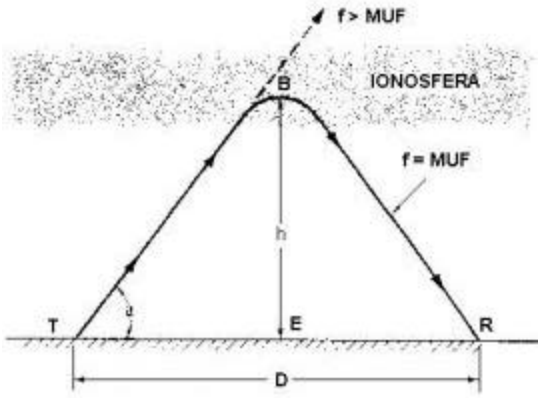


***Figura 2.3**. La MUF. Máxima frecuencia utilizable*

2.5.3 Frecuencia óptima de trabajo (FOT)

El límite superior de frecuencia recomendada para máxima fiabilidad se llama *frecuencia óptima de trabajo* (FOT) y se elige algo inferior a la MUF para proveer algún margen en previsión de irregularidades ionosféricas y turbulencia, por ejemplo. La FOT es usualmente un 15% más baja que la MUF para un circuito particular de comunicación. Mientras sea posible, la FOT se elige muy cerca de la MUF a fin de reducir la pérdida de absorción.

2.5.4 La frecuencia más baja utilizable (LUF)

La LUF es la frecuencia más baja que se puede utilizar para un circuito satisfactorio en una trayectoria particular y a una determinada hora. La LUF depende principalmente del ruido atmosférico y de los estáticos en el lugar de recepción para una determinada relación de señal/ruido. En frecuencias inferiores a la LUF, la recepción no será posible pues prevalecerá el ruido por sobre la señal. Cuando se eleva la frecuencia de trabajo por sobre la LUF, la relación señal/ruido mejora.

A diferencia de la MUF, que es completamente dependiente de las características atmosféricas, la LUF se puede controlar en un cierto grado mediante ajustes de la potencia efectiva radiada y del ancho de banda del circuito.

2.6 Métodos de selección de frecuencias

Existen 5 métodos generales para seleccionar la mejor frecuencia. Los métodos son:

1. Por experiencia.
2. Uso de predicciones del CRPL (Laboratorio Central de Propagación de Radio).
3. Obtención de predicciones mediante computador y programas disponibles.
4. Uso de sondeos ionosféricos.
5. Uso de las facilidades de emisoras de broadcast.

2.6.1 Experiencia.

En este caso, el operador confía en la experiencia que le dan los años. El primer paso a seguir, es escuchar los receptores, para luego juzgar si es requerido un cambio en la frecuencia de operación. Para ello establecen una comunicación con el destinatario final y dependiendo de la calidad de recepción, se solicita una QSY[7] a una frecuencia que proporcione una comunicación de mejor calidad.

[7] Dentro del código Q, QSY significa “cambiar su frecuencia a _____”. Mas información en http://www.qso.cl

2.6.2 Predicciones del CRPL[8].

Aquí, se emplean las predicciones expedidas por el Instituto estadounidense de Ciencias de Telecomunicaciones.
Las predicciones son publicadas mensualmente con tres meses de anticipación de la fecha efectiva.

2.6.3 Predicciones por PC.

Se pueden efectuar predicciones de propagación muy certeras con la ayuda de un PC y un software dedicado a estas tareas. Debido a la gran cantidad de programas de distribución gratuita en la Internet, solo cabe mencionar que la operatoria es básicamente la misma y son bastante intuitivos, razón por la cual no se profundiza en alguno.

2.6.4 Sondeos ionosféricos.

Los sondeos ionosféricos oblicuos proporcionan datos en tiempo real de la MUF, modos de propagación para transmisión (F1, F2, uno, dos o tres saltos) y de la LUF entre 2 puntos equipados con sondeo.
El método consiste en tener instalado en un punto un transmisor para sondeo que barra completamente la banda de HF usando una señal FM/CW. La potencia del transmisor usualmente está en el rango de 1-10 W. Un receptor de sondeo y una pantalla es operado en el otro extremo. El receptor es sincronizado en tiempo con el transmisor. El eje X de la pantalla muestra la banda de frecuencia desde los 3 a los 30MHz. y el eje Y es el tiempo de retardo expresado en milisegundos. Aquí la potencia recibida es desplegada como una función de la frecuencia y del tiempo de retardo.

[8] http://www.its.bldrdoc.gov/bluebook/bluebook.html

2.6.5 Uso de las emisoras de broadcast.

Podemos obtener datos confiables de la propagación haciendo comparaciones de la medida del nivel de señal derivadas de emisoras de broadcast distantes, cercanas al punto con el cual deseamos establecer el enlace de HF.

Muchas emisiones de broadcast simultáneas en varias bandas de HF, permiten comparar de una banda a otra, parámetros tales como: nivel de señal, relación de desvanecimiento; todos los cuales son datos muy concluyentes que posibilitan la elección de la mejor banda para operación.

Por ejemplo, si deseamos comunicarnos con un área cercana al estado de Colorado en los Estados Unidos, podríamos usar WWV, la cual posee un excelente servicio horario y transmite simultáneamente en las frecuencias de 5, 10, 15 y 20MHz las 24 horas del día.

2.7 Modos de Propagación HF

Existen 3 modos básicos de propagación HF:

1. Ondas Terrestres
2. Ondas Espaciales (incidencia oblicua)
3. Onda vertical (NVI). Este es un subconjunto distinto del modo de ondas espaciales.

2.7.1 Propagación básica de ondas terrestres.

La intensidad de las ondas de espacio decrece con el inverso de la distancia; la onda de superficie con el inverso de la distancia al cuadrado. Por consiguiente, en largas distancias y ángulos de elevación distintos de cero, la intensidad de la onda de espacio excede en alcance a la onda de superficie. La onda de superficie es difractada siguiendo la curvatura de la Tierra, siendo esta difracción mayor en la medida que se disminuye la frecuencia. La difracción es también influenciada por la imperfecta conductividad de la Tierra. La energía es absorbida por corrientes inducidas en la Tierra tanto que el flujo de energía toma lugar desde la onda descendente.

Con polarización horizontal, la atenuación de la onda es mayor que con polarización vertical, debido al comportamiento diferente del coeficiente de reflexión de Fresnel para ambas polarizaciones.

Para resumir, las ondas de superficie es una excelente forma de propagación de señales HF, donde podemos, durante las horas diurnas, lograr una disponibilidad de 99% o superior.

La propagación de ondas de superficie disminuye con el incremento de la frecuencia y con el decremento de la conductividad de la Tierra.

2.7.2 Propagación por onda espacial.

Una onda que se ha reflejado desde la ionosfera es llamada comúnmente *onda espacial*. La reflexión toma lugar en la región E y las regiones F_1 y F_2. En algunas circunstancias la energía de RF puede ser reflejada por cualquiera de las 2 o 3 regiones a la vez.

La figura 2.4 ilustra la comunicación por ondas espaciales.

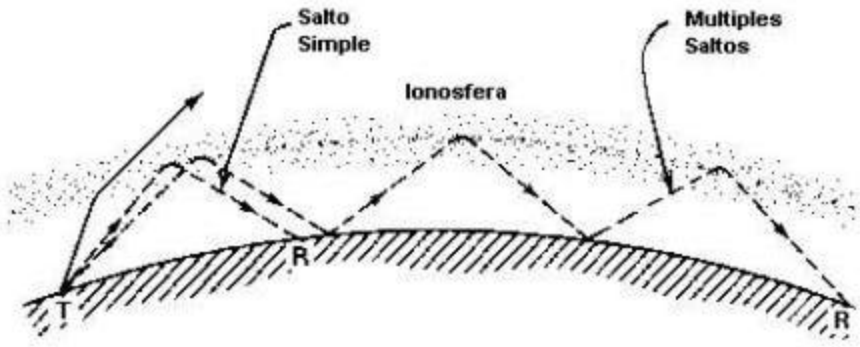


Figura 2.4. *Propagación espacial por salto simple y saltos múltiples*

Las comunicaciones HF por ondas espaciales puede darse por uno, dos o tres saltos, dependiendo del largo del paso y de las condiciones ionosféricas.

La figura 2.5 muestra ocho posibles modos de propagación por onda espacial. En algunos caminos largos (>1000Km) podemos recibir la energía de RF de 2 o más modos a la vez, generando recepción por multipaso lo que causa dispersión de señal. La dispersión resulta en interferencia intersímbolos en los circuitos digitales.

En general, podemos decir que la propagación por multipaso puede originarse por:

- Multisaltos, especialmente cuando las antenas transmisoras y receptoras tienen baja ganancia y bajo ángulo de elevación.
- Por bajo y alto ángulo de paso.
- Propagación multicapa
- Rayos ordinario (O) y extraordinario (X) desde uno o mas pasos.

Los rangos típicos de un salto son 2000, 3400 y 4000Km. para reflexiones en la capa E, F_1 y F_2 respectivamente. Estos límites dependen de la altura de la capa y de la densidad máxima de electrones.

Se pueden lograr distancias mayores utilizando consecutivas reflexiones entre la ionosfera y la superficie de la Tierra (ver figuras 2.5 b-h). Para cada reflexión en tierra, la señal debe pasar por la capa absorbente D, adicionando significativa atenuación a la señal.

La propagación por onda espacial basada en la capa F se identifica por una notación de 3 caracteres tales como $1F_1$, $1F_2$, $2F_2$ y $3F_2$. El primer dígito indica el número de salto, los siguientes 2 caracteres identifican el modo dominante (Ej. $2F_2$ significa 2 saltos donde el modo dominante es la reflexión F_2).

Los pasos largos de HF (>4000Km.) requieren múltiples saltos y una ionosfera cambiante producto de la gran travesía de la señal. Esto es especialmente cierto en las trayectorias este-oeste, donde gran parte del tiempo alguna porción del camino esta en transición, una parte a la luz del día y la otra en oscuridad.

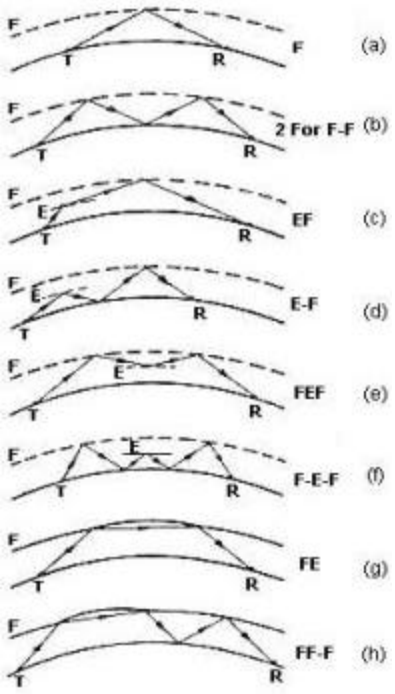


Figura 2.5. *Posibles combinaciones en propagación espacial.*

2.7.3 Propagación por onda vertical.

La propagación NVI (near-vertical incidence) es usada para comunicaciones de HF de corto alcance. La zona cubierta puede llamarse *zona de salto* o *zona de silencio*; aquí no es efectiva la propagación de onda de superficie, razón por la cual se puede usar incidencia vertical. NVI utiliza los mismos principios de propagación vistos anteriormente, siendo la antena el factor principal para este tipo de operación.

Para una comunicación NVI efectiva usando el modo de incidencia vertical, la antena debe radiar la energía mediante su foco principal en un ángulo muy alto, próximo a la vertical.

Los circuitos NVI sufren los mismos deterioros que los circuitos de onda espacial, pero en el caso de NVI el desvanecimiento (fading) es más severo.

La figura 2.6 muestra la operación de la propagación NVI. La letra A en la figura nos señala el alcance de la comunicación por medio de ondas superficiales.

Generalmente se favorece las bajas frecuencias para operación NVI, desde los 2 a los 7MHz.

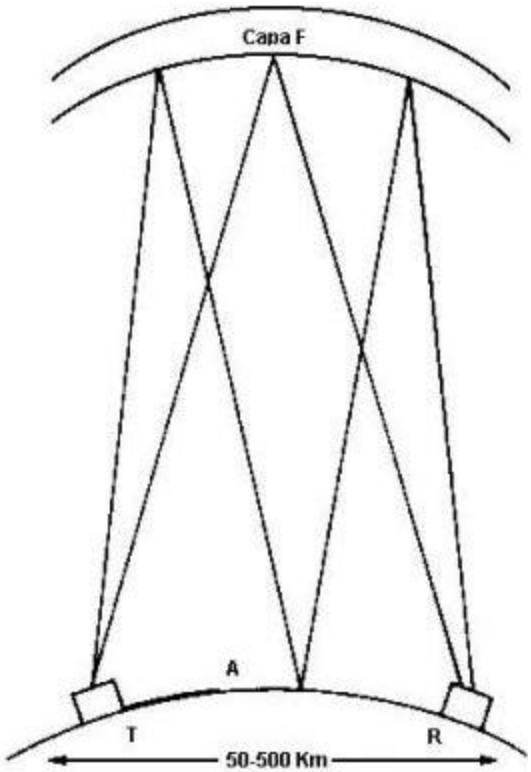


Figura 2.6. *Esquema simplificado de Propagación HF por onda vertical. Se aprecia que el alcance es superior a las ondas de superficie (A).*

Capítulo III. Radiocomunicación en VHF

Hablamos de señales VHF a las comprendidas en el rango de 30 a 300MHz. Dado lo reducido de su longitud de onda, estas señales están limitadas al horizonte óptico de los puntos a enlazar.

En este capítulo trataremos en detalle las cualidades de este tipo de señales que la hacen ampliamente usadas para transmisión de información a mediana distancia.

3.1 Objetivos del capítulo

- Conocer las particularidades en la transmisión en la banda de VHF.
- Estudiar las diversas geometrías con que se propagan las señales VHF al espacio.

3.2 Comunicaciones en VHF

La característica distintiva de las ondas de radio de VHF, UHF y SHF (a partir de los 30MHz) es su corto alcance sobre la superficie terrestre. Se limita a decenas de kilómetros para comunicaciones directas punto a punto entre estaciones terrenas. Cuando atraviesan la atmósfera no se reflejan en las diferentes capas, las atraviesan totalmente y se pierden en el espacio exterior. El límite es el horizonte óptico. La televisión y la radio en frecuencia modulada se transmiten en VHF, con alcance local solamente. Para comunicaciones a miles de kilómetros se utilizan satélites artificiales que reflejan la señal que llega en línea recta y retorna hacia la superficie. En ciertas condiciones se pueden aprovechar las características de refracción de la atmósfera y se logran distancias considerables durante períodos variables de tiempo, que incluso pueden permanecer durante días. La capa de la atmósfera que tiene mayor influencia sobre las frecuencias de VHF y superiores es la troposfera, gobernada por los cambios de clima. Las condiciones de propagación de VHF, al igual que los cambios climáticos, se pueden predecir con relativa exactitud.

3.2.1 Clasificación por bandas[9]

En Chile, se ha establecido una subdivisión por bandas en las frecuencias de VHF, cada una de las cuales presenta características de propagación diferentes. Con esto la SUBTEL[10] destina estas bandas a diversas aplicaciones.

3.2.1.1 Banda VHF bajo.

Las frecuencias de esta banda, son utilizadas para establecer enlaces monocanales del tipo fijo o móvil. Su propagación se puede considerar como una transición entre las bandas HF y VHF alto, siendo afectada ocasionalmente por interferencias de largo alcance, causadas por reflexiones esporádicas en la ionosfera.

En relación al VHF alto, esta banda presenta menores atenuaciones tanto de espacio libre como por obstrucciones del trayecto, pero requiere el uso de potencias más elevadas y antenas de mayor tamaño. Su aplicación resulta más adecuada en zonas rurales, debido principalmente al alto nivel de ruido radioeléctrico presente en áreas urbanas.

[9] Referencia apartados 1.1.2 y 1.1.3 del Marco Técnico Relativo a los Servicios Limitados. (Anexo X)
[10] SUBTEL. Subsecretaria de Telecomunicaciones

3.2.1.2 Banda VHF alto.

Las bandas de esta banda son utilizadas principalmente para establecer enlaces monocanales, del tipo fijo o móvil.
Su propagación, genéricamente en línea visual, se ve afectada principalmente por la atenuación de espacio libre, creciente con la frecuencia, y por las condiciones topográficas del terreno involucrado, que ocasiona reflexiones, difracciones y trayectos múltiples.
Las condiciones anómalas de propagación resultan poco probables en esta banda, lográndose enlaces confiables que operan, por lo general, libres de interferencias.
Su aplicación resulta muy conveniente para sistemas móviles de amplia cobertura, en áreas urbanas, suburbanas y rurales, debido principalmente a la notoria disminución del ruido radioeléctrico existente en esta banda, obteniéndose buenos resultados con potencias comparativamente menores y antenas a tamaño razonable, que proporcionan ganancias adecuadas.

3.3 Propagación en la región de VHF

3.3.1 Propagación por dispersión ionosférica

La propagación por dispersión ionosférica permite la comunicación en el margen de frecuencias comprendido entre los 30 y 300MHz a distancias que varían desde 1000 Km. a casi 2000 Km. se cree que este tipo de propagación es debido a la dispersión de la señal desde la capa inferior, o posiblemente desde la capa E. A causa de que sólo una pequeña porción de la energía radiada es dispersada y retornada a la Tierra, estas señales dispersas son muy débiles.

La propagación por onda espacial crea interferencias indeseables para una señal dispersa y producen el desvanecimiento selectivo en un circuito de enlace por dispersión. La dispersión ionosférica parece limitada a la distancia de un solo salto.

3.3.2 Propagación por ráfagas meteóricas

Cuando incide un meteoro en la atmósfera terrestre, se forma una región cilíndrica de electrones libres en la capa E. Esta delgada columna ionizada es muy larga, y cuando se forma inicialmente, es suficientemente densa para reflejar las ondas de radio hasta la Tierra. Las frecuencias comprendidas en el margen de 50-80MHz. son las mejores para transmisión por ráfagas meteóricas.

3.3.3 Propagación auroral

En los polos de la Tierra, donde la atmósfera está más rarificada, la radiación del Sol no es sólo causa de ionización, sino que a menudo también es causa de que las moléculas se quemen. Este fenómeno es lo que se conoce como aurora. Estas ocurren en la alta capa E de la ionosfera y se pueden ver a distancias de hasta 960 Km. desde el punto cenit.

Las auroras impiden la comunicación por radio en altas frecuencias y producen una severa absorción de cualquier onda de HF que pase a través o cerca de la zona auroral.

La *propagación auroral* de señales VHF es común en frecuencias comprendidas entre los 100 y 450MHz. La propagación implica la reflexión de la onda bajo el efecto de la aurora. Las propiedades de reflexión de la aurora varían muy rápidamente, a consecuencia de lo cual la señal de VHF reflejada resulta muy distorsionada por efectos de trayectorias múltiples.

3.3.4 Propagación por dispersión troposférica

La dispersión troposférica se supone que es originada por irregularidades aleatorias en la atmósfera cuyo índice de refracción difiere del valor medio de las zonas circundantes. El efecto de dispersión parece tener lugar por reflexión parcial allí donde hay un rápido cambio de índice de reflexión y un pequeño margen de altitud asociados con cambios de temperatura y de humedad. El resultado de la refracción por dispersión es una débil difusión de la señal en el suelo más allá del horizonte.

El mecanismo de la dispersión hacia delante implica una gran pérdida de transmisión y llega a ser necesario utilizar antenas de alta ganancia y haz estrecho para transmisión y recepción. Sin

embargo, se pueden obtener señales usualmente consistentes en alcances que exceden de 650Km.

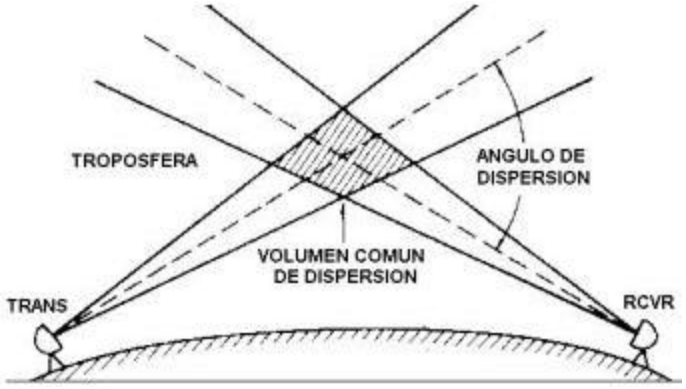


Figura 3.1. *Geometría del sistema de Dispersión Troposférica.*

3.3.5 Propagación transecuatorial por dispersión

Se cree que la *dispersión transecuatorial (dispersión T-E)* es debida a una distorsión altamente ionizada que existe en la ionosfera sobre el ecuador magnético. Las ondas que entran en ésta área en ángulo favorable son reflejadas a considerables distancias, 8000 Km. o más, sin reflexión intermedia en la tierra.

La dispersión T-E es un fenómeno de propagación nocturna, que ocurre entre las 20 y las 23 horas (hora local natural) en el punto medio de la trayectoria. Las señales deben cruzar el ecuador magnético en dirección norte-sur o de lo contrario no tendrá lugar la propagación. La máxima frecuencia utilizable para propagación transecuatorial es aproximadamente 1.5 veces más alta que la MUF diurna observada en la misma trayectoria.

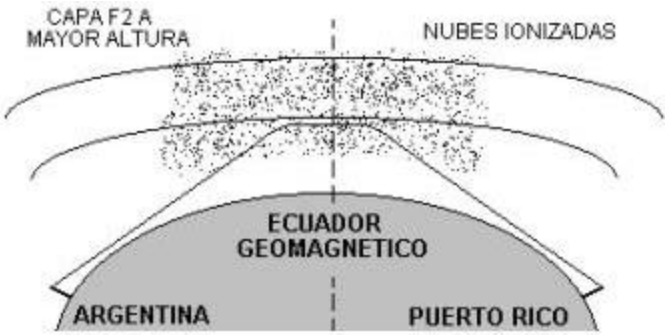


Figura 3.2. *Enlace Argentina – Puerto Rico mediante dispersión T-E.*

3.3.6 Propagación E esporádica

Es una forma popular de comunicación para radioaficionados en las frecuencias de HF y VHF que no requiere un equipo de estación especial. Las “aperturas” E esporádicas en las bandas más altas de frecuencia se pueden predecir ordinariamente observando las características de la banda de 28MHz. La geometría de propagación es tal que cuando la distancia de salto disminuye en la banda de 28MHz, la frecuencia más alta que se refleja por una nube esporádica E aumenta. La experiencia ha demostrado que cuando se oyen señales de salto a distancias menores de 800Km en la banda de 10 metros, hay mucha probabilidad de que se observe propagación E esporádica en la banda de 50MHz y en la misma dirección.

3.3.7 Canales troposféricos

Los canales o conductos troposféricos de señales VHF ocurren a menudo y son consecuencia del cambio de índice de refracción de la atmósfera en la capa límite entre masas de aire de diferentes temperaturas y humedades. Haciendo uso de una analogía se puede decir que el aire más denso al nivel de la superficie de la Tierra hace que sea más lento el frente de onda que las capas superiores en que el aire está más rarificado, curvando hacia abajo el camino de propagación.
La comunicación troposférica a consecuencia de los conductos de propagación es rara por debajo de los 144MHz, pero ocurre comúnmente en el margen de 144 a 450MHz.

3.3.8 Difracción de “filo de navaja”

En ciertas condiciones es posible que una serie de colinas o una cadena de montañas presenten una notable difracción de ondas de VHF que viajan sobre las crestas. Este fenómeno de propagación de onda se llama *curvatura de filo de navaja*. La trayectoria de transmisión en un camino de difracción de filo de navaja depende críticamente de la forma de este filo o borde, la distancia que separa las estaciones y el ángulo desde éstas hasta el obstáculo.

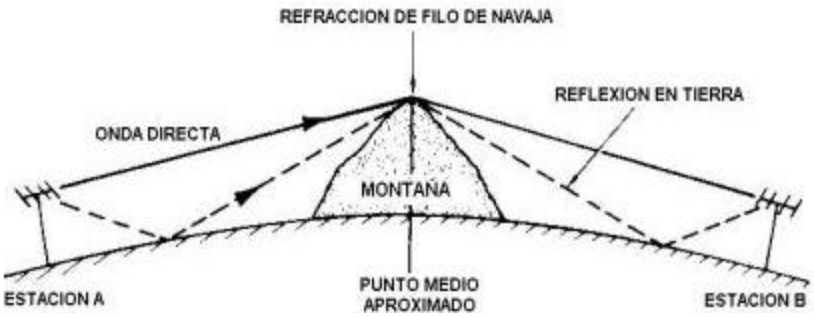


Figura 3.3. *Difracción de tipo filo de navaja.*

3.3.9 Propagación en línea vista

En condiciones normales de propagación el índice de refracción de la atmósfera disminuye con la altura porque las ondas se desplazan más lentamente cerca del suelo que a grandes altitudes. Esta variación de velocidad con la altura da lugar a un encurvamiento de la onda hacia la superficie de la Tierra. En condiciones atmosféricas inusuales, el índice de refracción puede aumentar con la altitud, haciendo que la onda se curve hacia arriba y dando lugar a una disminución de la trayectoria visual.

La mayor parte del tiempo hay curvatura hacia arriba en las regiones de VHF y UHF y puede ser representada por propagación en línea recta, pero con el radio de la tierra modificado de modo que la curva relativa permanezca invariable. El nuevo radio de la tierra es lo que se conoce por *radio efectivo de la Tierra (K).*

El valor medio de K en un clima templado es aproximadamente 1.33 (4/3). La distancia al *horizonte de radio* sobre tierra uniforme, cuando la altura *h* es muy pequeña comparada con el radio de la Tierra y viene dada con aproximación aceptable por:

$$d = \sqrt{\frac{3 \cdot K \cdot h}{2}}$$, donde:

h= altura en pies sobre la superficie de la Tierra
d= distancia al horizonte de radio en millas
K= radio efectivo de la Tierra en millas.

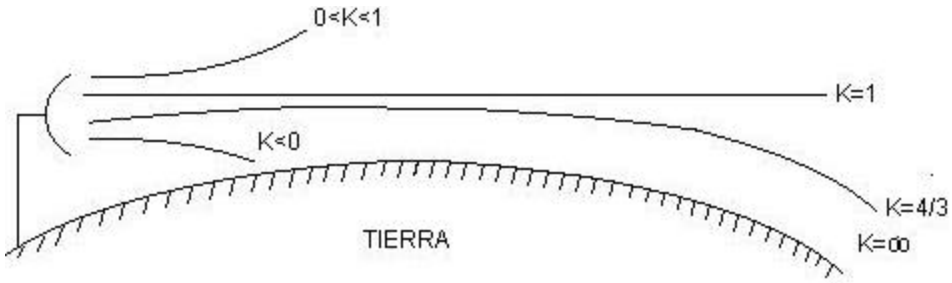


Figura 3.4. *Posibles trayectos de onda según los valores del factor K.*

Capitulo IV. Fundamentos del receptor de comunicaciones

Un receptor es un sistema selectivo y amplificador que selecciona una señal de RF modulada y la amplifica, demodula (extrae la información impresa) y luego la amplifica para ser entregada al dispositivo de audio, de visualización o a un instrumento de medición. El receptor más elemental tiene una antena de recepción, un demodulador, un amplificador y la carga.
El receptor práctico debe permitir la recepción de señales de onda continua (CW), amplitud modulada (AM) y señales de banda lateral única (BLU). El receptor debe poder rechazar muchas señales espurias fuertes a fin de recibir una señal que puede tener un nivel muy diferente que el de las señales rechazadas.

En este capítulo estudiaremos los bloques que conforman un equipo receptor, haciendo las consideraciones de acuerdo a las bandas de trabajo HF o VHF y además poniendo énfasis en los parámetros que debemos conocer a la hora de seleccionar uno.

4.1 Objetivos del capítulo

- Conocer los bloques básicos que componen un receptor de comunicaciones.
- Establecer las características deseables de un buen equipo receptor.
- Conocer a grandes rasgos el funcionamiento de un receptor superheterodino y observar las mejoras que introduce el cambio de frecuencia.

4.2 Tipos de receptores

Todos los receptores tienen *detectores* o *demoduladores* para extraer la información transportada por la señal recibida. La figura 4.1 ilustra un receptor elemental, en que la tensión inducida por la señal es rectificada mediante un diodo, convirtiéndola en corriente continua variable.

El condensador C2 es cargado al valor medio de la forma de onda rectificada. La corriente resultante pasa por los auriculares que reproducen la modulación impartida en la onda de radio.

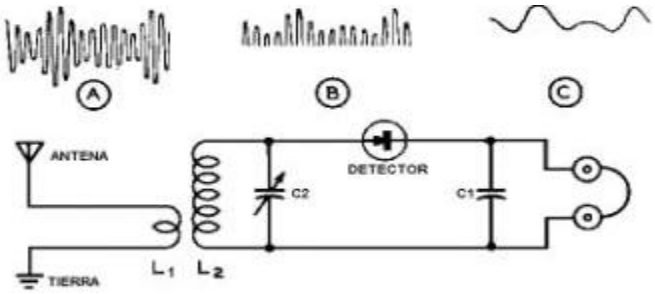


***Figura 4.1**. Forma elemental de un receptor*

4.2.1 El detector autodino

Como la señal de CW (continous wave) consiste en una portadora no modulada interrumpida por puntos y rayas, es evidente que tal señal no podrá ser audible sólo por detección. Habrá que proveer algún medio por el cual se obtenga un tono audible cuando es recibida la portadora, haciendo cesar el tono cuando se interrumpe la portadora. Se puede realizar una detección audible generando una portadora local de una frecuencia ligeramente diferente o mezclándola con la señal recibida en la etapa detectora para obtener una nota de batido. La frecuencia diferencia, o *heterodina*, sólo existe cuando están presentes en el mezclador ambas señales recibida y generada localmente. El mezclador (o detector) puede suministrar la señal de batido, como muestra la figura 4.2, en los circuitos de *detector autodino*. Una variante del detector autodino utiliza un oscilador separado y se denomina *receptor de conversión directa*. Se puede emplear un detector de producto y entonces se obtiene la selectividad de señal en frecuencias de audio mediante el uso de un filtro de audio de paso bajo.

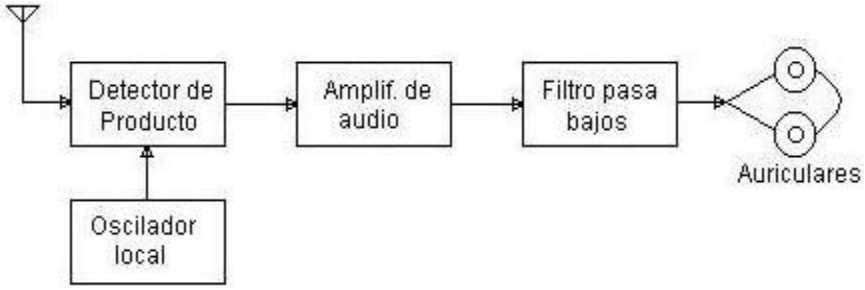


Figura 4.2. *Diagrama en bloques de un receptor*

4.3 Requisitos funcionales del receptor

Las características funcionales del receptor se pueden definir en función de parámetros, tales como:

- *Sensibilidad*
- *Selectividad*
- *Fidelidad*
- *Respuesta espuria*
- *CAG* (Control Automático de Ganancia)
- *Relación señal a ruido*
- *Estabilidad*
- *Rango dinámico de señal*
- *Ganancia de compresión*.

Otros factores son entregados en las especificaciones técnicas del receptor, pero estas propiedades son las de mayor interés al usuario. Un receptor de comunicaciones correctamente diseñado debe ser capaz de recibir todos los modos de emisión usados en la banda de recepción sin perjuicio de satisfacer los mínimos niveles de prestación en estos aspectos importantes de operación.

4.3.1 Sensibilidad

Es la capacidad de un receptor de recibir señales débiles y poderlas reproducir sin distorsión y con un valor de relación señal a ruido lo mayor posible.
La sensibilidad de un receptor puede ser definida como la entrada de señal requerida para proporcionar una señal más ruido de salida con un nivel (usualmente 10dB) sobre el ruido de salida del receptor. Un receptor perfecto “sin ruido” no debiera generar ruido interno y su sensibilidad debería estar limitada solamente por el ruido térmico relativo al lugar de recepción. Por debajo de los 30MHz aproximadamente, el factor limitante en la recepción de señales débiles es el ruido externo y no el ruido interno del receptor.

El movimiento aleatorio de los electrones, o *ruido por agitación térmica*, es proporcional a la temperatura absoluta y es independiente de la frecuencia, cuando el ancho de banda absoluto y la impedancia de entrada del receptor son constantes.

La sensibilidad depende fundamentalmente de las etapas de RF (antena y mezclador) y de FI, ya que la sensibilidad será mayor cuanto mayor sea la ganancia de las etapas de RF, porque de esa forma mayor será la señal de entrada a la etapa de mayor ruido que es la conversora y a su salida mayor será la relación señal a ruido.

4.3.2 Selectividad

La *selectividad* es la medida de la habilidad de un receptor para aceptar una banda de frecuencias determinada y rechazar las otras, o sea, para distinguir la señal deseada entre señales muy próximas o adyacentes.
El ancho de banda o paso de banda debe ser lo suficientemente amplio para dejar pasar la señal y sus bandas laterales si se desea una reproducción fiel de la señal. Por ejemplo, para la recepción de una señal broadcast de amplitud modulada de doble banda lateral, se requiere un paso de banda de cerca de 10KHz.

4.3.3 Fidelidad

La fidelidad eléctrica del receptor es la cualidad de reproducir la información con la menor distorsión posible de la señal de entrada (modulante), o sea, representa la respuesta en frecuencia del receptor.
Cualquier variación en la frecuencia, fase o amplitud que esté presente en la forma de onda demodulada invertida y que no estaba en la señal original se considera como distorsión.
Esencialmente, hay tres formas de distorsión que pueden deteriorar la fidelidad de un sistema de comunicación: *amplitud, frecuencia y fase.*

- La *distorsión de fase* no es importante para la transmisión de voz, porque el oído humano es relativamente insensible a estas variaciones. Sin embargo, este tipo de distorsión puede ser devastadora para la transmisión de datos. La causa predominante de la distorsión de fase es el filtrado.
- La *distorsión de amplitud* ocurre cuando las características de amplitud contra frecuencia de la señal, en la salida del receptor, difieren de la señal original de información. Generalmente es el resultado de la *ganancia no uniforme* en los amplificadores y filtros.
- La *distorsión de frecuencia* ocurre cuando están presentes en una señal recibida las frecuencias que no estaban presentes en la información de la fuente original. La distorsión de frecuencia es un resultado de la distorsión de armónicas y de intermodulación y es provocada por la amplificación no lineal.

4.3.4 Respuesta espuria

El sello de un buen aparato receptor es la capacidad de rechazar señales espurias ajenas a la banda de paso del receptor y de no generar señales espurias dentro de la banda de paso. Mientras el receptor superheterodino es aceptado universalmente como la mejor combinación de principios de circuito para una óptima recepción, el dispositivo tiene desventajas prácticas que deberían ser reconocidas. La gran deficiencia de este tipo de receptores es su susceptibilidad a varias formas de respuestas espurias y su complejo diseño y ajuste necesario para reducir estas. Muchas de estas respuestas, pero no todas, son el resultado de la conversión de frecuencia.

4.3.5 CAG: control automático de ganancia

Los receptores actuales cuentan con una función llamada *control automático de ganancia (CAG)*. Este tiene por finalidad mantener el nivel de salida de audio más o menos constante dentro de ciertos límites, aunque el nivel de la señal de RF captada por la antena varíe dentro de ciertos niveles. Este circuito actúa modificando la ganancia de las etapas de RF/FI de forma de compensar las variaciones del nivel de la señal de entrada. Este circuito no puede controlar todos los niveles de RF por lo cual sólo tiene acción dentro de un rango delimitado de niveles de entrada.

Otra característica de este circuito es que su respuesta es lenta, de forma de no interferir con los cambios de niveles de audio propio de la señal modulante. Sólo actúa sobre los cambios de nivel medio de la señal de RF durante un cierto tiempo.

4.3.6 Figura de Ruido

Expresada en decibeles, la *figura de ruido* de un receptor es:

$$F = 10 \cdot \log \frac{N_2}{N_1}$$

, donde N_1 y N_2 son la potencia de figura de ruido en watts y representan la salida de un receptor actual, (N_2) a 290°K (20°C aprox), dividido por la potencia de ruido de salida de un receptor ideal (N_1) a la misma temperatura.

La figura de ruido de un receptor puede ser obtenida por medición directa con un *generador de ruido*. La entrada del receptor es terminada con un resistor y ruido aleatorio generado por agitación térmica en un generador adecuado es ingresado al circuito de entrada del receptor. La potencia de salida es medida sin ruido de entrada y la salida del generador es incrementada hasta que el ruido de salida del receptor se redobla. La figura de ruido es una función de estos dos niveles y puede ser calculado a partir de estas mediciones.

4.3.7 Estabilidad

La capacidad de un receptor para mantenerse sintonizado en una frecuencia seleccionada es una medida de la estabilidad del receptor. Los cambios ambientales tales como las variaciones de temperatura, voltaje de alimentación, humedad y los choques o vibraciones mecánicas

tienden a alterar las características del receptor sobre un período de tiempo. Muchos receptores, tienen en un mayor o menor grado una variación constante de frecuencia conocida como *deslizamiento por calentamiento (warm-up drift)* que ocurre en los primeros minutos de operación. Una vez que los componentes del receptor han alcanzado la temperatura de operación, el deslizamiento se detiene o es mucho más lento.

El deslizamiento de frecuencias del receptor a corto plazo está representado en la figura 4.3.

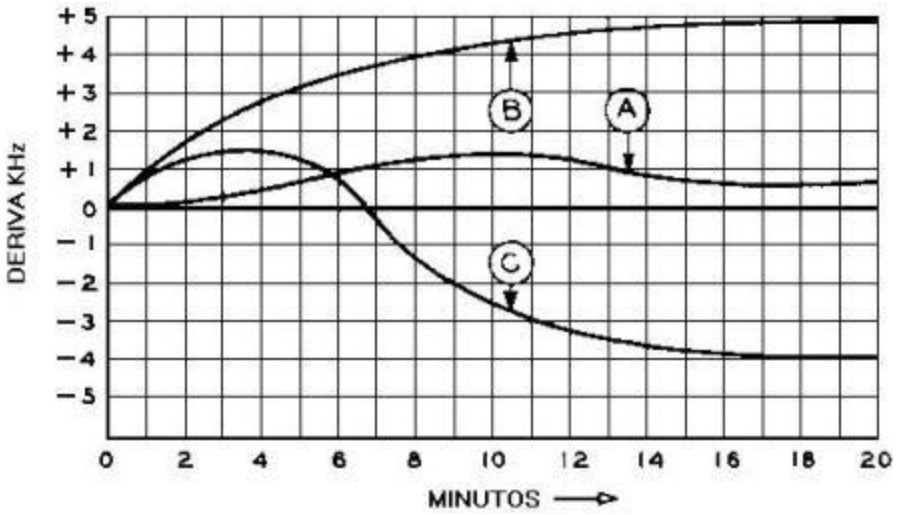


Figura 4.3. *Curvas de estabilidad de frecuencia del receptor*
En (A) la compensación de temperatura reduce el deslizamiento por calentamiento,
(B) la falta de compensación genera un deslizamiento continuo a largo plazo,
(C) compensación de frecuencia mediante condensadores especiales con características controladas de temperatura y estabilizando la temperatura en ctos. del oscilador.

4.4 El receptor superheterodino

Cambiando la frecuencia de la señal recibida por una frecuencia inferior y fija denominada *frecuencia intermedia,* antes de la última detección, puede obtenerse una alta ganancia y selectividad con un buen orden de estabilidad. Un receptor que realiza este proceso de cambio de frecuencia es llamado *receptor superheterodino*. Un diagrama de bloque típico de este tipo de receptor se muestra en la figura 4.4.

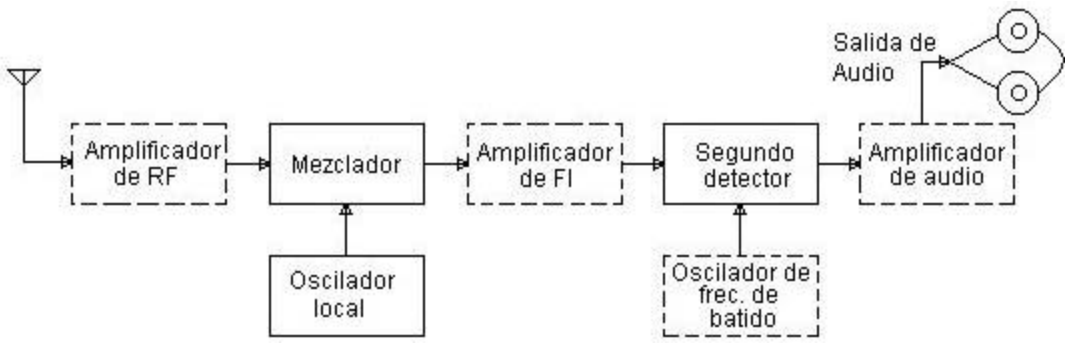


Figura 4.4. *Unidades esenciales de un receptor superheterodino.*

La señal entrante es aplicada a un mezclador consistente de una impedancia no lineal tal como un tubo de vacío, transistor o diodo. La señal es mezclada con una señal de frecuencia variable generada localmente, con el resultado que la tercera señal que contiene toda la modulación aplicada a la señal original pero de una frecuencia igual a la diferencia entre las frecuencias del oscilador local y la señal entrante aparece en el circuito mezclador de salida. La salida desde el mezclador es alimentada al amplificador de frecuencia fija sintonizada, donde es amplificada, detectada y pasada luego por un amplificador de audio.

Aunque el proceso de mezcla es inherentemente ruidoso, este inconveniente se puede solucionar incluyendo una etapa amplificadora de radiofrecuencia delante del mezclador, si fuese necesario.

La conversión de frecuencia permite amplificación de RF en una frecuencia fija baja, lo cual provee alta ganancia, buena selectividad y un alto orden de estabilidad. Se puede lograr un mejor rechazo de imágenes y una performance superior a alta frecuencia con el uso de un receptor de doble conversión.

4.4.1 Conversión de frecuencia

Como se ha mencionado previamente, el uso de una frecuencia intermedia alta mejorará la razón de imagen, en perjuicio de su selectividad, situando la señal deseada y la imagen lo más distante posibles. Para reportar ambas, razón de imagen en altas frecuencias y buena selectividad, es a veces empleado un sistema conocido como *doble conversión* en el amplificador de FI. En este sistema, la señal entrante es primero convertida a una frecuencia intermedia más bien alta, y entonces amplificada y nuevamente convertida, esta vez a una

frecuencia menor. La primera frecuencia intermedia proporciona el espacio de separación necesaria entre la imagen y la señal deseada, mientras que la segunda proporciona la robustez de selectividad de FI (Figura 4.5).

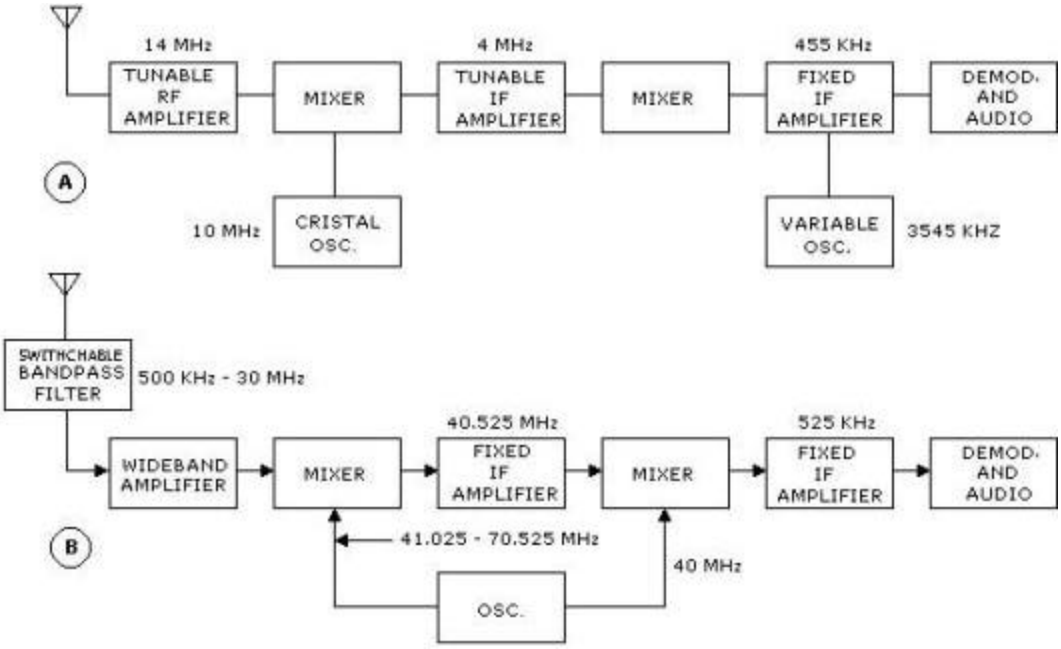


Figura 4.5. *Receptores superheterodino típicos de doble conversión*

El desarrollo de filtros de cristal de alta calidad y bajo costo ha permitido el uso de una frecuencia intermedia alta en receptores de conversión simple para proveer buena selectividad con alto nivel de rechazo de las imágenes. Los filtros en el rango de 5 a 10MHz. proporcionan una selectividad satisfactoria para recepción BLU con un costo menor que el de un filtro de baja frecuencia con su etapa de conversión y mezcladora necesarias.

4.4.2 Etapa amplificadora de RF

Desde que los circuitos sintonizados son necesarios entre la etapa mezcladora y la antena, estos pueden ser combinados con dispositivos de estado sólido para formar etapas amplificadoras de RF; la reducción de los efectos de ruido del mezclador y la mejora de la razón de imagen puede llevarse a cabo en la sección de entrada del receptor.

Las etapas de entrada sintonizada, proveen además protección contra respuestas no deseadas de la señal, pero, puede aumentar la susceptibilidad del receptor a la modulación cruzada, bloqueando e insensibilizando el equipo, producto del aumento del nivel de ganancia de la señal recibida. En todo caso, la ganancia del receptor (y particularmente la ganancia delante/atrás) debería estar limitada a la cantidad necesaria para superar solamente el ruido del mezclador. Excesos de ganancia del receptor, usualmente genera más problemas que los que soluciona.

Sobre 30MHz más o menos, el ruido generado dentro del receptor es mayor que el ruido recibido de la antena. La experiencia demuestra que aproximadamente 8dB de figura de ruido es adecuado para recepción de la señal débil bajo muchas circunstancias.

Un filtro pasa alto se muestra en la figura 4.6, el cual elimina la modulación cruzada e intermodulación desde las estaciones de broadcast local. Este dispositivo proporciona buena protección frente-final contra las señales indeseadas.

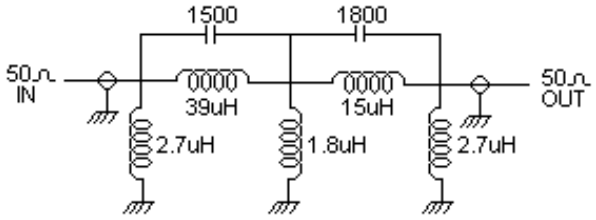


Figura 4.6. *Filtro de entrada Pasa Alto.*

4.4.3 Rechazo de señales imagen

La habilidad para el rechazo de imágenes de un receptor es función de la respuesta selectiva del circuito sintonizado sobre la etapa mezcladora. La figura de rechazo de imágenes (o respuesta a imágenes) es expresada en dB por debajo del cual la señal imagen se encuentra respecto de la respuesta fundamental.

$$\text{Re}\,chazodeimágen = \frac{1}{\sqrt{1+(Q_y)^2}}$$

4.4.4 Impedancia y Q

Los dos factores de mayor importancia en la determinación de la ganancia por etapa y la selectividad de un amplificador sintonizado, son la impedancia del circuito sintonizado y el Q del circuito sintonizado, respectivamente. Desde que los capacitores modernos poseen resistencia baja en frecuencias ordinarias, se puede considerar la resistencia como concentrada en la bobina.

La resistencia a considerar en la determinación del Q es la resistencia de RF, no la resistencia del alambre de la bobina.

4.4.5 Rango de sintonización

Para una cobertura general del receptor, la elección de la frecuencia del oscilador es función del condensador sintonizador.

$$TuningRange = \frac{Cmáx}{Cmín} = \left(\frac{fmáx}{fmín}\right)^2$$

El rango de afinación del oscilador puede ser menor o mayor que el rango de afinación de la frecuencia de la señal.

Cuando es menor, la relación entre los dos rangos es:

$$if = fs - fo$$

Cuando es mayor:

$$if = fo - fs,$$

Donde:

if: es la frecuencia intermedia.

fo: es la frecuencia del oscilador.

fs: es la frecuencia de la señal.

4.4.6 El proceso de Mezcla

El mezclador, o *etapa conversora de frecuencia* de un receptor superheterodino, traslada la señal recibida a la frecuencia intermedia por medio de un proceso de modulación similar al empleado en los transmisores (figura 4.8). La señal y los voltajes del oscilador local que aparecen en la salida del circuito del mezclador son rechazados por los circuitos selectivos y solamente es aceptado el producto del mezclador en la FI.

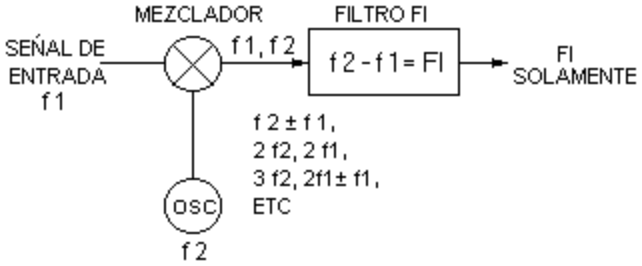


Figura 4.8. *Etapa Mezcladora del receptor*

Cualquier elemento no lineal del circuito actuará como un mezclador con la inyección de frecuencias, apareciendo en el circuito de salida la suma y diferencia de las frecuencias. Así cualquier diodo, tubo al vacío o dispositivo de estado sólido puede ser usado como mezclador.

4.5 Receptores de VHF y UHF

El factor más relevante en la recepción VHF y UHF, en comparación con la recepción en frecuencias más bajas, es que la sensibilidad global del sistema está limitada principalmente por el ruido externo a éste. Por consiguiente, es posible conseguir mejores características de funcionamiento en términos de la relación señal/ruido y sensibilidad en un sistema típico VHF/UHF que en un sistema de alta frecuencia, en el cual el ruido atmosférico externo y las interferencias de origen artificial (“niebla R.F.”) perturban el funcionamiento del receptor.

La sensibilidad de los receptores VHF/UHF está limitada exteriormente sólo por el ruido extraterrestre (galáctico) y algunas formas de ruido artificial.

4.5.1 Fuentes de Ruido VHF/UHF

El ruido externo puede estar compuesto por ruido atmosférico, ruido galáctico (cósmico) y ruido artificial como muestra la figura 4.9**.** Por encima de los 30MHz aproximadamente, el ruido externo disminuye hasta un nivel en el cual el ruido del receptor es de máxima importancia.

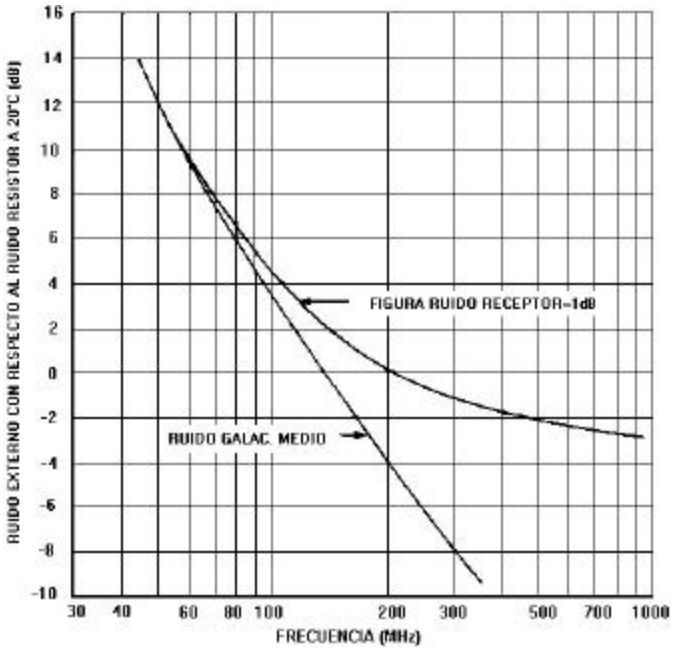


Figura 4.9. *Curva de nivel de ruido galáctico medio*

El *ruido atmosférico* es debido principalmente a las descargas atmosféricas que se propagan en todas las direcciones por reflexión ionosférica. El ruido varía inversamente con la frecuencia, siendo mayor en las frecuencias más bajas y menor en las frecuencias más altas. También varía en intensidad con la hora del día, las condiciones atmosféricas, la estación del año y el lugar geográfico. Es particularmente severa en las áreas tropicales durante las estaciones lluviosas.

El *ruido galáctico* es originado por disturbios o perturbaciones que se producen fuera de la atmósfera terrestre. Las fuentes primarias de tales ruidos son el sol y un gran número de "estrellas de radio" distribuidas principalmente en el plano galáctico. El ruido galáctico es bloqueado considerablemente por el ruido atmosférico a frecuencias inferiores a 20MHz aproximadamente.

El *ruido artificial* tiende a disminuir cuando aumenta la frecuencia, aunque puede ser máximo en algunas frecuencias, dependiendo de las características eléctricas de la fuente de ruido. Puede ser originado por utensilios eléctricos de todas las clases, receptores de televisión, sistemas de encendido de automóviles, motores y radiación de las componentes de alta frecuencia de las líneas de distribución eléctrica.
Se propaga por transmisión directa en las líneas de energía y por radiación, inducción y algunas veces por reflexión ionosférica.

El *ruido térmico o ruido de Jhonson*, es producido por la agitación térmica de los electrones y domina la naturaleza. Sólo en condiciones de cero absoluto cesaría este movimiento. Cuando aumenta la temperatura de un conductor por encima del cero absoluto, el movimiento aleatorio de los electrones libres aumenta y este movimiento corresponde a pequeñísimas corrientes eléctricas del conductor. Este “ruido blanco” se genera en una amplia gama de frecuencias y la porción de ella que cae en la banda de paso de un sistema receptor contribuye a la salida de ruido del sistema. Este ruido térmico tendrá lugar en la antena receptora, la línea de alimentación y en el propio receptor, siendo el nivel de ruido de la etapa de entrada del receptor particularmente crítico para el funcionamiento del sistema.

4.6 Circuitos de receptores de VHF

Los circuitos de receptores de VHF son semejantes a las configuraciones señaladas para los receptores de HF.

El circuito amplificador de base común (Figura 4.10) se suele utilizar con dispositivos bipolares en el margen de VHF ya que es estable y no requiere neutralización. Puede ser usado cualquier transistor PNP o NPN, poniendo el debido cuidado en la polaridad de la alimentación. La señal de entrada es alimentada al emisor; la base está al potencial de masa en RF, y la señal de salida se toma en el circuito de colector.

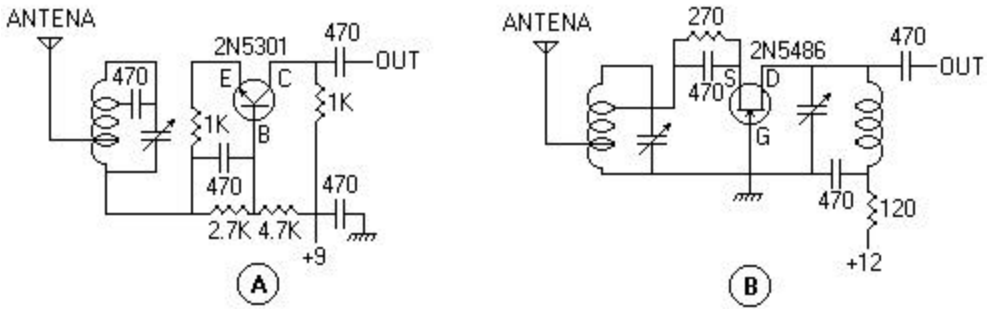


Figura 4.10. *Circuitos amplificadores de base común y puerta común empleados en receptores VHF*

La ganancia de la etapa es baja y generalmente se acoplan en cascada dos o más etapas para proveer el suficiente nivel de la señal que supere al ruido del mezclador. La impedancia de entrada del circuito de base común es baja y esta configuración no ofrece tanta selectividad de RF como el circuito de emisor común de la Figura 4.11.

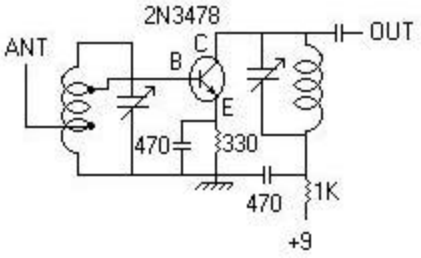


Figura 4.11. Amplificador de RF de emisor común. La señal de entrada es aplicada a la base.

Este circuito a menudo requiere neutralización, la cual se obtiene realimentando energía desde la salida hasta el circuito de entrada, con la amplitud y fase correctas para cancelar los efectos de las señales espurias en el dispositivo. Los ajustes de sintonía y neutralización son interdependientes.

El amplificador cascodo (Figura 4.12) es un circuito conectado en serie, de emisor a masa y base a masa (puerta). Aunque la neutralización no sea siempre necesaria se puede emplear para obtener el más bajo valor de ruido.

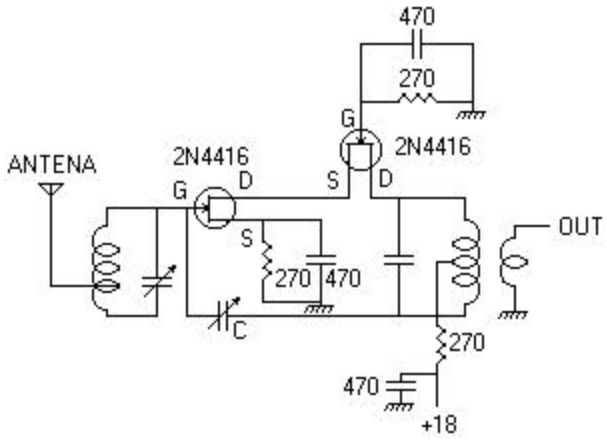


Figura 4.12. *Dos dispositivos FET están conectados en serie, el primero está siendo controlado en el Gate y el otro en la Fuente.*

4.6.1 Protección del amplificador

Los dispositivos de estado sólido para VHF se pueden quemar por aplicación accidental de alta tensión de la señal de entrada al receptor. Los diodos inversamente polarizados (ya sean de silicio o germanio) en paralelo con el circuito de entrada limitarán la máxima tensión de señal a algunas décimas de volt, proveyendo protección automática contra sobrecargas. En particular, los diodos receptores absorberán la energía de RF que se fuga en el relé de cambio de antena, o la que se recibe de un transmisor situado en la vecindad.

El amplificador también debe protegerse de la energía de frecuencia externa, particularmente la radiada por los trasmisores de FM y televisión de alta potencia.

Capítulo V. Broadcasting AM y FM

En este capitulo se encuentran resumidas las nociones básicas para comprender el proceso que debe pasar una señal AM y FM antes de ser transmitida a través de una emisora de radio. Para ello, abordaremos previamente el concepto de modulación.

La modulación nace de la necesidad de transportar una información a través del espacio. En general, la modulación es el proceso por el cual una propiedad o un parámetro de cualquier señal se hace variar en forma proporcional a una segunda señal.

5.1 Objetivos del Capítulo

- Explicar el concepto de modulación y comprender la necesidad de su empleo.
- Estudiar los dos principales tipos de modulación para radiodifusión sonora: AM y FM.
- Establecer las ventajas comparativas de una modulación respecto de la otra.

5.2 Concepto de modulación

Las señales de información deben ser transportadas entre un emisor y un receptor, generalmente distantes, sobre alguna forma de medio de transmisión; sin embargo estas señales pocas veces se encuentran en forma adecuada para su transmisión. La *Modulación* se define como *el proceso de transformar información de su forma original a una forma más adecuada para la transmisión.* La *Demodulación* es el proceso inverso (es decir, la onda modulada se convierte nuevamente a su forma original). La modulación se realiza en el transmisor en un circuito llamado *modulador*, y la demodulación se realiza en el receptor en un circuito llamado *demodulador* o *detector.*

Existen varias razones para modular, entre ellas:

- Facilita la propagación de la señal de información por cable o por el aire.
- Ordena el radioespectro, distribuyendo *canales* a cada información distinta.
- Disminuye dimensiones de las antenas.
- Optimiza el ancho de banda de cada canal.
- Evita interferencia entre canales.
- Protege a la Información de las degradaciones por ruido.
- Define la calidad de la información transmitida.

Modulación para facilitar la radiación.

Una radiación eficiente de energía electromagnética requiere de elementos radiadores (antenas) cuyas dimensiones físicas serán por lo menos de 1/10 de su longitud de onda. Pero muchas señales, especialmente de audio, tienen componentes de frecuencia del orden de los 100Hz o menores, para lo cual necesitarían antenas de unos 300km de longitud si se radiaran directamente. Utilizando la propiedad de traslación de frecuencias de la modulación, estas señales se pueden sobreponer sobre una portadora de alta frecuencia, con lo que se logra una reducción sustancial del tamaño de la antena. Por ejemplo, en la banda de radio de FM, donde las portadoras están en el intervalo de 88 a 108MHz, las antenas no deben ser mayores de un metro.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

, donde:
l es la longitud de onda en mts
c es la velocidad de la luz (3 x 10 ^{8} m/s)
f es la frecuencia en Hz

Modulación para reducir el ruido y la interferencia.

Se ha dicho que es imposible eliminar totalmente el ruido del sistema. Y aunque es posible eliminar la interferencia, puede no ser práctico. Por fortuna, ciertos tipos de modulación tienen la útil propiedad de suprimir tanto el ruido como la interferencia. La supresión, sin embargo, ocurre a un cierto precio; generalmente requiere de un ancho de banda de transmisión mucho mayor que el de la señal original. Este convenio de ancho de banda para la reducción del ruido es uno de los intereses y a veces desventajosos aspectos del diseño de un sistema de comunicación.

Modulación para asignación de frecuencia.

El propietario de un aparato de radio o televisión puede seleccionar una de varias estaciones, aún cuando todas las estaciones estén transmitiendo en el mismo medio de transmisión. Es posible seleccionar y separar cualquiera de las estaciones, dado que cada una tiene asignada una frecuencia portadora diferente. Si no fuera por la modulación, solo operaría una estación en un área dada. Dos o más estaciones que transmitan directamente en el mismo medio, sin modulación, producirán una mezcla inútil de señales interferentes.

Modulación para multicanalización.

A menudo se desea transmitir muchas señales en forma simultánea entre dos puntos. Las técnicas de multicanalización son formas intrínsecas de modulación, permiten la transmisión de múltiples señales sobre un canal, de tal manera que cada señal puede ser captada en el extremo receptor. Las aplicaciones de la multicanalización comprenden telemetría de datos, emisión de FM estereofónica y telefonía de larga distancia.

Modulación para superar las limitaciones del equipo.

El diseño de un sistema queda generalmente restringido a la disponibilidad de equipo, el cual a menudo presenta inconvenientes en relación con las frecuencias involucradas. La modulación se puede usar para situar una señal en la parte del *espectro de frecuencia* donde las limitaciones del equipo sean mínimas o donde se encuentren más fácilmente los requisitos de diseño. Para este propósito, los dispositivos de modulación se encuentran también en los receptores, como ocurre en los transmisores.

5.3 Modulación de amplitud (AM).

Modulación de Amplitud (AM) es el proceso de cambiar la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de la señal modulante (información). Con la modulación de amplitud, la información se imprime sobre la portadora en la forma de cambios de amplitud.

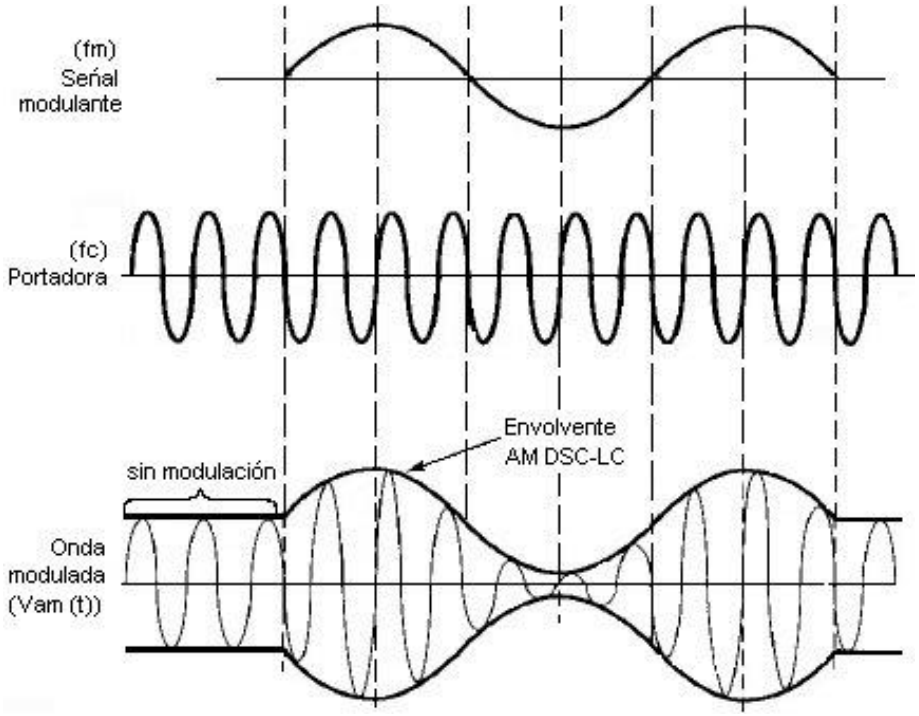


Figura 5.1. *Modulación AM.*

La modulación de amplitud es una forma de modulación relativamente barata y de baja calidad de transmisión, que se utiliza en la radiodifusión de señales de audio y video. La banda de radiodifusión comercial AM abarca desde los 540 a 1600KHz. La modulación de amplitud también se usa para las comunicaciones de radio móvil de dos sentidos tal como una radio de banda civil (CB) (26.965 a 27.405MHz).

Un modulador AM es un aparato no lineal con dos señales de entrada de información: una señal portadora de amplitud constante y de frecuencia sencilla, y la señal de información.

5.3.1 AM Comercial

Cada transmisor comercial de radio AM envía una señal DSB-LC[11], cuya frecuencia portadora está separada de las otras estaciones. Las frecuencias portadoras se asignan a espacios de 10KHz[12], de 540 a 1600KHz. Un receptor puede elegir cualquiera de ellas sintonizando la frecuencia portadora adecuada. La señal seleccionada se demodula usando un detector de envolvente o un detector rectificador para producir la señal deseada.

Los primeros receptores de AM efectuaban estas operaciones exactamente en la misma forma. Estos receptores estaban constituidos por una antena, un sistema *LC* de sintonización y un par de audífonos. A menos que se viviera cerca de una emisora, las señales recibidas en las terminales de la antena eran débiles y se necesitaba amplificación y filtración para mejorar la sensibilidad y la selectividad.

Lo que hacia falta era la amplificación de una estrecha banda de frecuencias que se mantuviera constante sin importar la estación seleccionada. Esto dio origen al receptor heterodino. En el receptor heterodino, la señal modulada de entrada se traslada en frecuencia, ocupando así el mismo ancho de banda centrado en una nueva frecuencia. Esta, conocida como frecuencia intermedia FI, es fija y no depende de la frecuencia central de la señal recibida. Si la frecuencia intermedia es menor que la de la portadora recibida pero mayor que la de la señal de salida final, el receptor se llama superheterodino. En la mayoría de los receptores de radio AM de este tipo, la frecuencia intermedia es de 455KHz. La traslación a la frecuencia intermedia se consigue mezclando la señal de entrada con una señal generada localmente que difiere de la portadora de entrada por la frecuencia intermedia (en este caso, 455KHz). La señal recibida trasladada a una frecuencia intermedia fija, se puede amplificar, filtrar y demodular con facilidad.

Para trasladar el espectro de la señal de entrada a la frecuencia intermedia fija, la portadora local debe estar a una frecuencia ya sea por encima o por debajo de la frecuencia de la portadora de entrada por una cantidad igual a la frecuencia intermedia (455KHz). En el receptor AM superheterodino, la frecuencia generada localmente se elige 455KHz mayor que la de la

[11] Double sideband large carrier. Más detalles en sección 5.3.3.1.
[12] BW referido a norma radiodifusión sonora

señal de entrada. La razón de esto es porque resulta más simple construir osciladores de sintonía razonablemente lineal en el intervalo de 1-2MHz que en el de 0.1-1.1MHz.

El receptor superheterodino tiene también algunas desventajas. Supongamos que deseamos recibir una estación de AM en 600Hz. Esto significa que la portadora generada localmente, si está 455KHz por encima de la portadora de la estación, se encontrará en 1055KHz. Ahora si existiese otra estación en 1510KHz, también se recibirá (nótese que 1510KHz-1055KHz=455KHz). Esta segunda frecuencia, 1510KHz, se llama *frecuencia imagen* de la primera, y después de la operación de heterodinizar es imposible distinguirlas entre sí.

Existen dos formas de minimizar este problema. Como la frecuencia imagen está separada de la señal deseada por exactamente el doble de la frecuencia intermedia, una forma es elegir a la frecuencia intermedia tan alta como sea posible y práctico. Una segunda forma es atenuar la frecuencia imagen antes del mezclador. Esta es la función de un mezclador selectivo de radiofrecuencia (RF) situado antes del mezclador.

Otra desventaja del receptor superheterodino es que las etapas de FI de alta ganancia se sintonizan fuera de la banda de frecuencias asignada, por lo que se debe tener cuidado de que la frecuencia intermedia elegida esté libre de transmisiones fuertes o, de lo contrario, el receptor amplificará estas señales espurias que se introduzcan en las etapas de FI de alta ganancia.

5.3.2 Espectro de Frecuencias de AM

Se había señalado que la AM comercial se transmite en el rango de 540KHz a 1600KHz, es decir, que en esta porción del espectro electromagnético encontraremos distintas señales AM una a continuación de otra, con una banda de guarda o separación preestablecida necesaria para disminuir interferencias.

Primer Canal	Ultimo Canal	Separación de Canales	Ancho de Banda máx.
540KHz	1.600KHz	10KHz	10KHz

Fuente: Norma técnica de radiodifusión sonora SUBTEL.

Observemos el comportamiento en el dominio de la frecuencia de las tres señales que intervienen en la modulación AM:

- La señal modulante o mensaje en AM es de baja frecuencia y es limitada a un determinado ancho de banda mediante el uso de un filtro.
- La portadora es un tono senoidal de alta frecuencia.
- La señal modulada AM viene dada por el espectro de la señal modulante trasladada a la frecuencia de la portadora.

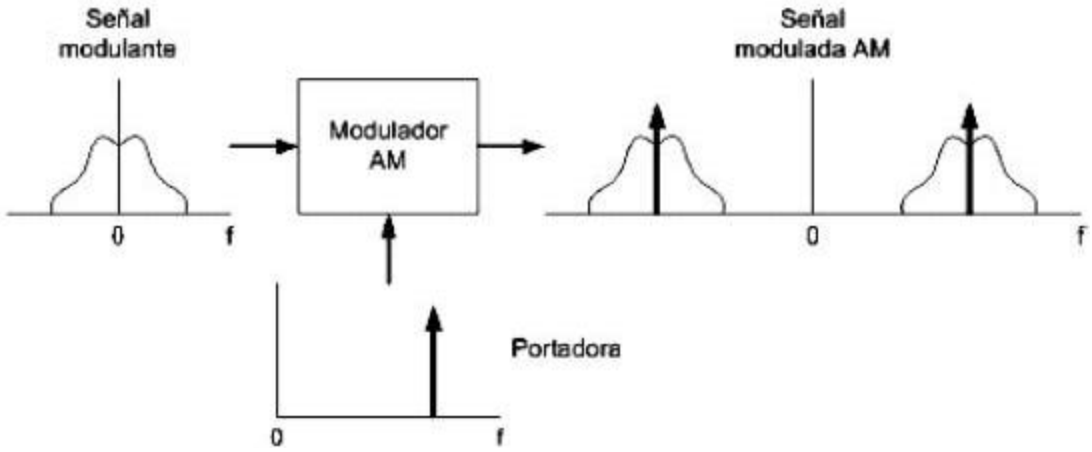
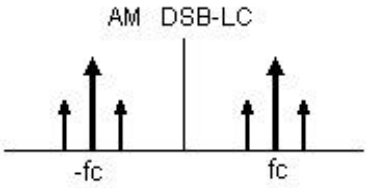
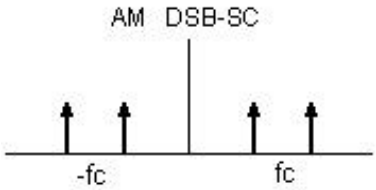
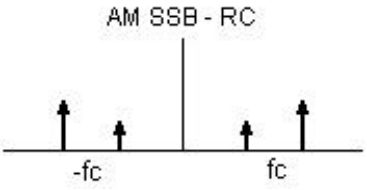
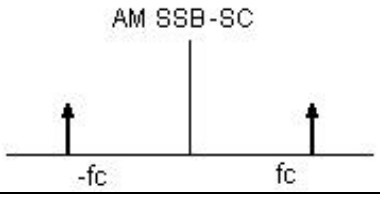


Figura 5.3. AM Comercial: Diagrama en bloques y espectro en frecuencia

5.3.3 Técnicas de modulación

Sin embargo, no hay una única forma de realizar modulación en amplitud, sino que existen varias técnicas. La tabla que se presenta a continuación resume las formas de modular una señal en amplitud.

AM	Con portadora	Sin Portadora
Doble Banda	**AM DSB-LC** ▪ Se transmite onda modulada más portadora no modulada. ▪ La portadora genera un nivel DC que permite recuperar la Información mediante un detector de envolvente. ▪ Es la técnica utilizada en la radiodifusión AM comercial. 	**AM DSB-SC** ▪ Se deja de transmitir la portadora para obtener mayor eficiencia en el consumo de potencia del transmisor. ▪ No es posible realizar detección de envolvente. ▪ La detección es síncrona. 
Banda Única	**AM SSB-RC** ▪ Se transmite una sola banda lateral y la portadora. ▪ Como la portadora se atenúa al filtrar una banda, esta técnica se conoce como modulación de una sola banda con portadora residual. 	**AM SSB-SC** ▪ Se transmite una sola banda lateral y sin portadora ▪ También es conocida como modulación de banda lateral única AM BLU. 

5.3.3.1 Modulación DSB-LC

El uso de señales con portadora suprimida requiere circuitos bastante complejos para conseguir y mantener la necesaria sincronización de fase, si el receptor está situado a distancias grandes. Las estaciones de radio comerciales usan un método de transmisión conocida como *doble banda lateral con gran portadora (DSB-LC, double–sideband large–carrier).* En esta, la información portadora se incorpora como parte de la señal transmitida y en el mismo ancho espectral de la señal deseada. De hecho, es conveniente hacer que la amplitud de este término portador sea mayor que cualquier otra porción de la densidad espectral de la señal.

La señal modulada de una señal DSB-LC puede escribirse de manera matemática con la simple adición de un término portador, A cos $\omega_c t$, a una señal DSB-SC:

$$f_{AM(t)} = f(t) \cdot \cos w_c t + A \cdot \cos w_c t$$

la densidad espectral de $\phi_{AM}(t)$ es

$$f_{AM(w)} = \frac{1}{2} F(w + w_c) + \frac{1}{2} F(w - w_c)$$
$$+ pAd(w + w_c) + pAd(w - w_c)$$

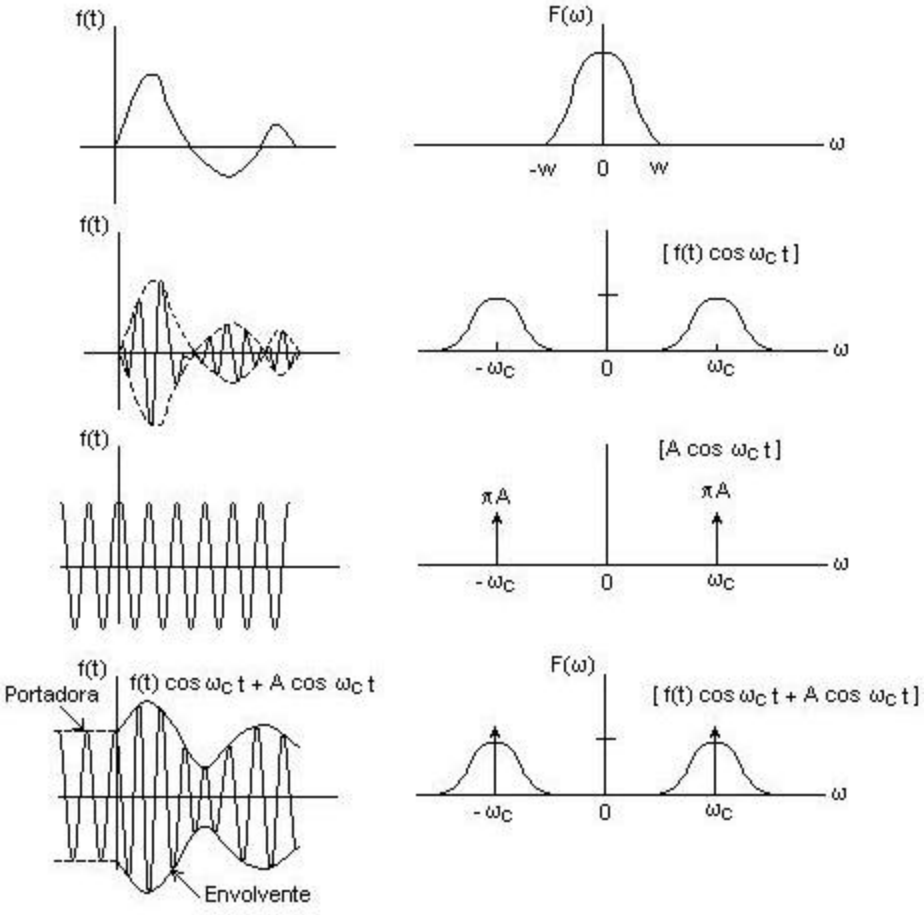


Figura 5.4. ***Densidad espectral de una señal AM***

la señal $\phi_{AM}(t)$ puede reescribirse como:

$$f_{AM} = [A + f(t)]\cos w_c t$$

Si A es bastante grande, la envolvente (la magnitud) de la señal modulada será proporcional a *f(t)*. En este caso, la demodulación se reduce a la detección de la envolvente de una senoidal, que no depende de la fase exacta o la frecuencia de esta (es decir, de la portadora).

La amplitud A de la portadora debe hacerse lo bastante grande para que [A+*f(t)*] ≥0 en todo instante, o

$$A \geq \left| mín\{ f(t) \} \right|$$

5.3.3.2 Indice de modulación

Como las magnitudes relativas de la banda lateral y la porción portadora de la señal son variables, se define un factor adimensional, *m*, para controlar la relación entre las bandas laterales y la portadora:

$$m = \frac{amplitud.peak.DSB-SC}{amplitud.peak.de.portadora} = \frac{D-d}{D+d}$$

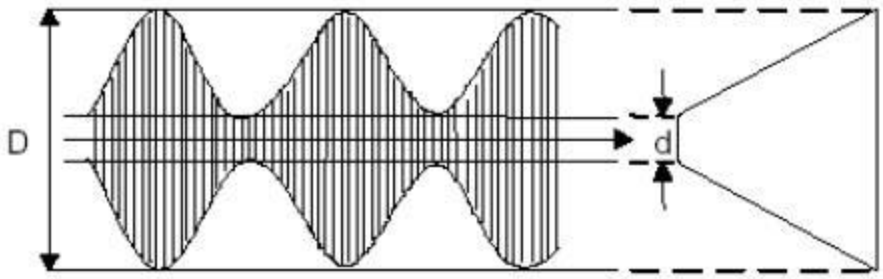


Figura 5.5. *Obtención del índice de modulación mediante método del trapecio*

con: D= amplitud peak to peak de la señal AM
d= separación mínima entre los envolventes de AM

Para que ocurra una detección de la envolvente sin fuerte distorsión, hace falta que $m \leq 1$. Si $m \geq 1$ se dice que la señal está sobremodulada. Si $m=0$, la envolvente se reduce a la constante A. Los máximos de la señal compuesta son $(1+m)A$ y los mínimos para $m \leq 1$ son $(1-m)A$.

A menudo, es conveniente definir un porcentaje de modulación para una señal DSB-LC con modulación senoidal como:

$$\%\,\mathrm{mod} = \frac{(magnitud.máx.)-(magnitud.mín.)}{(magnitud.máx.)+(magnitud.mín)} x100$$

$$\%\,\mathrm{mod} = \frac{(1+m)A-(1-m)A}{(1+m)A+(1-m)A} x100\% = mx100\%$$

5.3.3.3 Distribución de la potencia de AM

En cualquier circuito eléctrico, la potencia disipada es igual al voltaje rms al cuadrado, dividido por la resistencia (es decir, $P=E^2/R$). Por lo tanto, la potencia desarrollada a través de una carga por una portadora no modulada es igual al voltaje de la portadora al cuadrado, dividido por la resistencia de carga. Matemáticamente, para una onda sinusoidal la potencia de la portadora no modulada se expresa como

$$Pc = \frac{\left(\frac{Ec}{\sqrt{2}}\right)}{R} = \frac{Ec^2}{2R} \quad (1)$$

en donde Pc= potencia de la portadora (watts)
Ec= voltaje peak de la portadora (volts)
R= resistencia de carga (ohms)

Las potencias de las bandas laterales superiores e inferiores se expresan matemáticamente como

$$P_{usb} = P_{isb} = \frac{\left(\frac{mEc}{2}\right)^2}{2R} = \frac{m^2 Ec}{8R}$$

en donde *mEc/2*= voltaje peak de las frecuencias laterales superiores e inferiores
P_{usb}= potencia de la banda lateral superior (watts)
P_{isb}= potencia de la banda lateral inferior (watts)

Sustituyendo en la ecuación (1)

$$P_{usb} = P_{isb} = \frac{m^2 Pc}{4} \text{(watt)}$$

Para un coeficiente de modulación *m*=0 la potencia en las bandas laterales superiores e inferiores y el total de la potencia transmitida es simplemente la potencia de la portadora.
La potencia total en una onda de amplitud modulada es igual a la suma de las potencias de la portadora, la banda superior y la banda lateral inferior. Matemáticamente, la potencia total en una envolvente AM DSB-LC es:

$$Pt = Pc + P_{usb} + P_{isb}$$

en donde Pt= potencia total de la envolvente DSB-LC

Pc= potencia de la portadora (watts)

P_{usb}= potencia de la banda lateral superior (watts)

P_{isb}= potencia de la banda inferior (watts)

Finalmente reemplazando,

$$Pt = Pc + \frac{m^2 Pc}{4} + \frac{m^2 Pc}{4}$$

$$\boxed{Pt = \frac{Pc + m^2 Pc}{2} \text{ (W)}}$$

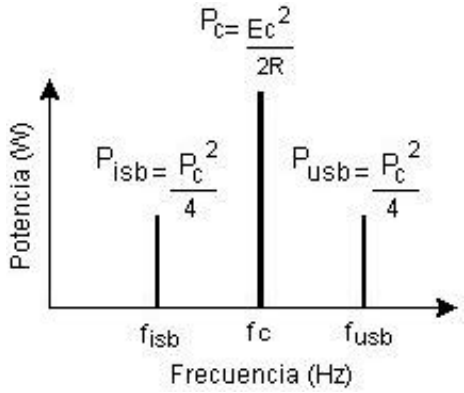


Figura 5.6. *Espectro de potencia para señal DSB-LC*

Puede observarse que la potencia de la portadora modulada es igual a la potencia de la portadora en la onda no modulada. Por lo tanto, es evidente que la potencia de la portadora *no es afectada* por el proceso de modulación. Además, debido a que la potencia total de la onda AM es la suma de las potencias de la portadora y de la banda lateral, la potencia total en una envolvente de AM incrementa con la modulación (es decir, conforme *m* incrementa, Pt incrementa).

Observe que con 100% de modulación la máxima potencia en la banda lateral superior o inferior es igual a sólo una cuarta parte de la potencia en la portadora. Por lo tanto, la máxima potencia total de las bandas laterales es igual a la mitad de la potencia de la portadora. Una de las desventajas más importantes de la transmisión DSB-LC es el hecho que la información está

contenida en las bandas laterales aunque la mayoría de la potencia se desperdicia en la portadora.

5.3.4 Demodulación o detección de señales DSB-LC

Demodulación se entiende como el proceso usado para recuperar la señal de información, a partir de cualquier tipo de señal AM modulada. En señales AM DSB-LC, la señal $f(t)$ deseada esta disponible en la envolvente de la señal modulada. Básicamente existen dos tipos de detección:

• ***Demodulación síncrona o coherente.*** Requiere en el receptor una portadora de frecuencia y fase totalmente sincronizada con la portadora del transmisor. Este tipo de detección es complejo y costoso por lo que sólo se usa en la demodulación de señales AM sin portadora presente.

• ***Demodulación por detección de envolvente o no coherente.*** No requiere en el receptor una portadora sincronizada con el transmisor. Basta un dispositivo simple que detecte la envolvente de la señal modulada AM. *Sólo se usa en señales AM con portadora pre*sente.

5.3.4.1 Detector de envolvente

Cualquier circuito cuya salida siga a la envolvente de la señal de entrada sirve como detector de envolvente. El más simple es un circuito de carga no lineal de carga rápida y descarga lenta. Puede construirse con facilidad usando un diodo en serie con un condensador, como se muestra en la figura 4.7. Una resistencia en serie con el condensador controla la constante de descarga.

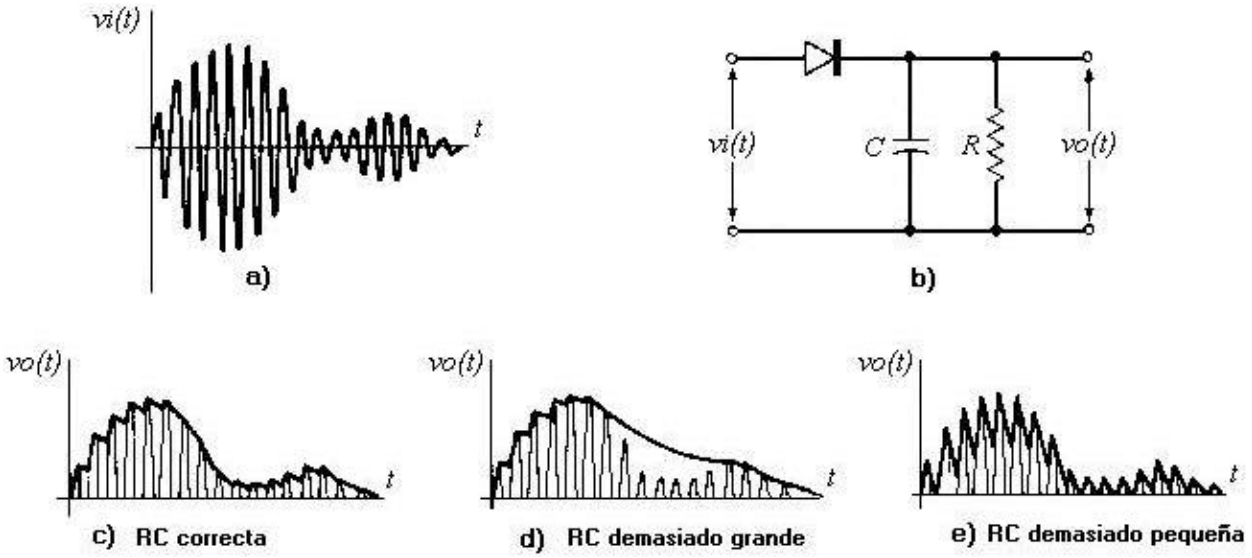


Figura 5.7. *Circuito básico para detección de envolvente y selección de la constante de tiempo*

Para una mejor operación, la constante de tiempo de descarga RC debe ajustarse de manera que la máxima pendiente negativa de la envolvente no exceda nunca la razón exponencial de descarga. Si esta constante es muy grande, el detector puede perder algunos medios ciclos positivos de la portadora y, en consecuencia, no reproducir con fidelidad la envolvente. Si la constante de tiempo es demasiado pequeña, el detector genera una señal muy escabrosa, perdiendo algo de eficiencia. La señal detectada resultante se pasa de manera usual por un filtro pasabajas para eliminar el contenido armónico no deseado.

5.4 Frecuencia modulada (FM)

5.4.1 Conceptos generales

La FM surgió en la década de los 30, como una alternativa a la modulación en amplitud, aduciendo su menor susceptibilidad al ruido, en comparación a AM. Actualmente, FM se usa extensamente para la radiodifusión de radio comercial, transmisión de sonido de televisión, etc.

En este tipo de modulación, se hace variar la frecuencia de una onda portadora de acuerdo con la amplitud de una señal de modulación. Cuando la señal modulante es una señal sinusoidal se tienen las siguientes formas de onda:

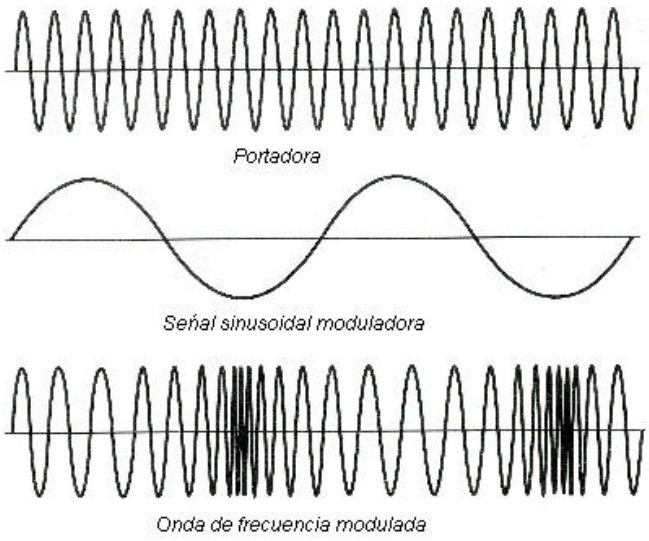


Figura 4.8. *Modulación FM*

Como se aprecia en la figura, la amplitud de la portadora sigue constante, esto elimina de inmediato muchos ruidos artificiales y atmosféricos cuya amplitud varía. Como consecuencia de ello, la condición de señal a ruido aumenta enormemente en comparación con una señal de amplitud modulada de la misma potencia. Sin embargo, el precio que se paga por esta mejora es un aumento en el ancho de banda necesario de la señal transmitida. Cuanto mejor es la relación de señal a ruido, mayor es el ancho de banda necesario. Es así que para transmitir sonidos de alta fidelidad, sin ruidos, en la amplitud de 20 a 15000Hz (un ancho de banda de

5KHz), las estaciones de radio FM generalmente ocupan un ancho de banda de 180KHz[13] aproximadamente 12 veces superior al de la señal moduladora.

5.4.1.1 *Características de la FM*

Las características principales de la frecuencia modulada son: su modulación y su propagación por ondas directas como consecuencia de su ubicación en la banda de frecuencia de VHF.

La modulación en frecuencia consiste en variar la frecuencia de la portadora proporcionalmente a la frecuencia de la onda moduladora (información), permaneciendo constante su amplitud. A diferencia de la AM, la modulación en frecuencia crea un conjunto de complejas bandas laterales cuya extensión dependerá de la amplitud de la onda moduladora. Como consecuencia del incremento de las bandas laterales, la anchura del canal de la FM será más grande que el tradicional de la onda media, siendo también mayor la anchura de banda de sintonización de los aparatos receptores. La principal consecuencia de la modulación en frecuencia es una mayor calidad de reproducción como resultado de su casi inmunidad hacia las interferencias eléctricas. En consecuencia, es un sistema adecuado para la emisión de programas (música) de alta fidelidad.

Las características derivadas de su mayor anchura de canal no son consecuencia directa de la tecnología de FM (aunque este tipo de modulación necesita un mayor consumo de espectro), sino de una decisión política de comunicación. Cuando se desarrolló la frecuencia modulada, la banda de MF (tradicional en los servicios de radio) estaba completamente saturada, por lo que se adjudicó la banda de VHF, espectro que ofrecía grandes posibilidades de expansión para los nuevos servicios de radiodifusión. La televisión también se aprovechó de la saturación de media frecuencia. La ausencia de una limitación de la banda de VHF y el ánimo de otorgar a la FM la posibilidad de emitir programación de alta fidelidad, hizo que los canales de frecuencia modulada tuvieran una capacidad muy superior a sus necesidades. Aunque la anchura de los canales depende de decisiones concretas de cada Estado, la mayoría de las naciones han adjudicado a la FM unos canales con una anchura entre 100 y 200KHz, suficiente considerando que todo el espectro de audiofrecuencia necesita una amplitud de 20KHz.

[13] Ancho de Banda broadcast FM referido a norma de radiodifusión sonora

5.4.1.2 Transmisiones comerciales de FM

Para la radiodifusión comercial FM, la Federal Communications Comission (FCC) de Estados Unidos asigna frecuencias portadoras espaciadas por intervalos de 200KHz, en el intervalo de 88 a 108MHz, y fija la desviación de frecuencia peak en 75KHz. Los 180KHz disponibles para cada estación, en comparación con los 10KHz de la radiodifusión AM, permiten transmitir material de alta fidelidad, con espacio de sobra, llenando la banda con FM de banda ancha.

La propagación en la banda de VHF se realiza por medio de las llamadas ondas directas, que se caracterizan por su direccionalidad y, en consecuencia, su limitada cobertura.
Su pequeña cobertura convierte a la frecuencia modulada en un servicio de radio fundamentalmente local aunque esto se puede mejorar con la ayuda de repetidores.

La escasa longitud de onda de esta banda de frecuencia hace que las antenas sean de pequeñas dimensiones y consecuentemente tengan una polarización horizontal. Las dificultades de recepción de la FM en los automóviles (generalmente antenas de polarización vertical) ha motivado que las estaciones de frecuencia modulada empleen con frecuencia antenas diseñadas para radiar la señal en ambos planos, horizontal y vertical. Estas antenas, denominadas de polarización circular, permiten que los receptores capten la misma intensidad de señal independientemente de la polarización de la antena receptora.

En la siguiente figura se muestra la transmisión y recepción en FM. La entrada de la información varía la frecuencia de una portadora transmitida. La frecuencia de la portadora se mantiene constante. Las señales transmitidas inducen un voltaje en la antena receptora, el receptor amplifica la señal, manda las señales a través de un limitador y discriminador, y reproduce la información transmitida en la salida del receptor. Como se muestra el limitador/discriminador corta las portadoras arriba y abajo para eliminar las variaciones en amplitud. Las señales no deseadas causan una variación en la portadora del receptor en amplitud de la antena receptora. Estas no aparecerán en la salida del receptor ya que estas no varían la frecuencia de la portadora recibida. Esto es porque la transmisión en FM es esencialmente libre de interferencia y ruido, con respecto a la portadora modulada en amplitud.

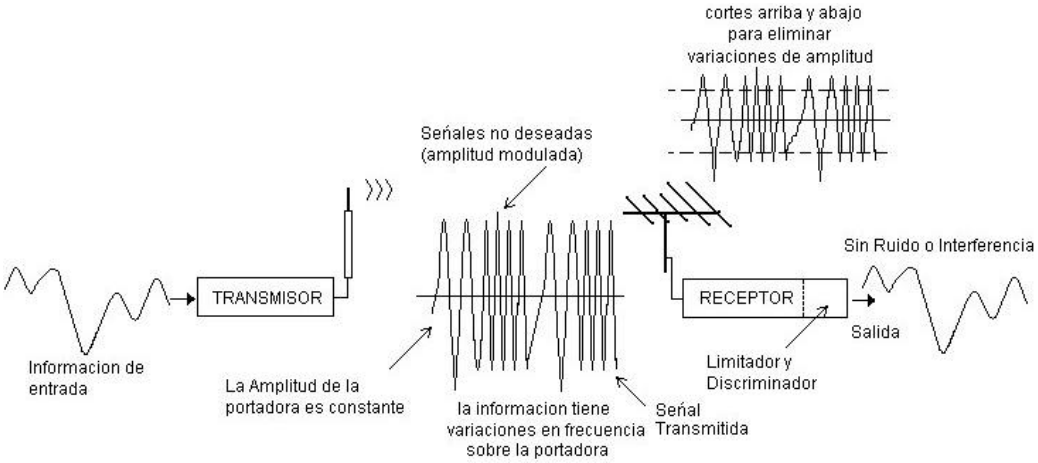


Figura 4.9. *Esquema simplificado de Transmisión y Recepción de señal FM*

5.4.2 Modulación en frecuencia

Lo que conocemos como modulación en frecuencia es un caso particular de lo que se conoce como modulación angular, debido a que ambos parámetros van íntimamente ligados, y la variación en uno de ellos genera un cambio inmediato en el otro y viceversa. La señal modulada se expresa en forma genérica como

$$y(t) = Vc \cdot \cos[(w_c t) + q(t)]$$

en donde y(t)= onda con modulación angular
Vc= amplitud peak de la portadora
ω_c= frecuencia en radianes de la portadora (velocidad angular)
$\theta(t)$= desviación instantánea en fase

En esencia, la diferencia entre la modulación en frecuencia y en fase está en cual propiedad de la portadora (la frecuencia o la fase) está variando directamente por la señal modulante y cual propiedad está variando indirectamente.

Si nos remitimos a la modulación de frecuencia, podemos mencionar que el cambio en frecuencia (Δf) se llama *desviación de frecuencia y* es el desplazamiento relativo de la

frecuencia de la portadora en Hz. La magnitud de esta desviación es proporcional a la amplitud de la señal modulante (Vm) y la velocidad en que la desviación ocurre es igual a la frecuencia de la señal modulante (fm).

5.4.2.1 Desviación de fase, el índice de modulación y la desviación de frecuencia

La fórmula para una portadora que se está modulando, en fase o en frecuencia, por una señal modulante de frecuencia única, puede escribirse en forma general de la siguiente manera:

$$y(t) = V_c \cos[w_c t + m \cdot \cos(w_m t)]$$

en donde $m_*\cos(\omega_m t)$=desviación de fase instantánea, $\theta(t)$

En la ecuación anterior, *m* representa la *máxima desviación de fase*, en radianes, para una portadora modulada en fase. La máxima desviación en fase se llama *índice de modulación*. Una diferencia importante, entre la modulación en frecuencia y fase, es la manera en que se define el índice de modulación.

Para el caso de una portadora modulada en frecuencia, el índice de modulación es directamente proporcional a la amplitud de la señal modulante e inversamente proporcional a su frecuencia y se muestra matemáticamente como

$$m = \frac{K_1 V_m}{w_m} = \frac{K_1 V_m}{2p \cdot f_m}$$

en donde K_1V_m=desviación de frecuencia (radian/segundo)
$K_1V_m/2\pi$= desviación de frecuencia (Hz)

De la ecuación precedente puede observarse que con FM el índice de modulación es una relación sin unidad y se utiliza sólo para describir la profundidad de la modulación lograda para una señal modulada en amplitud y frecuencia dada. La *desviación de frecuencia* es el cambio

en la frecuencia que ocurre en la portadora, cuando actúa sobre él una señal modulante. La desviación de frecuencia se da normalmente como un desplazamiento en frecuencia peak en Hz. La desviación de frecuencia peak to peak a veces se llama *oscilación de la portadora*.
Para un modulador de FM, la sensibilidad de la desviación se da frecuentemente en [Hz por volt]. Por lo tanto, la desviación de frecuencia es simplemente el producto de la sensibilidad de la desviación y el voltaje de la señal modulante.
Además, con FM es común mostrar el índice de modulación como simplemente la relación de la desviación peak de frecuencia dividida entre la frecuencia de la señal modulante o arreglando la ecuación presentada anteriormente, nos da que

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} \text{ (sin unidades)}$$

5.4.2.2 Porcentaje de Modulación

El porcentaje de modulación para una onda de modulación angular se determina de diferente manera que con una onda modulada en amplitud. Con la modulación angular, el porcentaje de modulación simplemente es la relación de la desviación de frecuencia realmente producida a la máxima desviación de frecuencia permitida por la ley establecida en forma porcentual. Matemáticamente, el porcentaje de modulación es

$$\%\,\mathrm{mod}\,ulación = \frac{\Delta f\,(real)}{\Delta f\,(máximo)}\,x100$$

5.4.2.3 Requerimientos de ancho de banda para señal FM

Con la modulación en frecuencia, se producen varios conjuntos de bandas laterales y, consecuentemente, el ancho de banda puede ser de manera significativamente más ancho que el de una de modulación en amplitud con la misma señal modulante.

Las formas de onda de modulación angular se clasifican generalmente como de *índice bajo, mediano o alto*. Para el caso del índice bajo, la desviación de fase peak (índice de modulación) es menor que 1rad, y el caso de índice alto ocurre cuando la desviación de fase peak es mayor

que 10rad. Los índices de modulación, mayores de 1 y menores que 10, se clasifican como un índice mediano. De la *Tabla de Bessel* puede observarse que con la modulación angular de índice bajo la mayoría de la información de la señal se cargará por el primer conjunto de bandas laterales, y el mínimo de ancho de banda requerido es aproximadamente, igual al doble de la frecuencia de la señal modulante más alta. Por esta razón, los sistemas de FM de índice bajo a veces se llaman *banda angosta de FM*. Para una señal de índice alto, se utiliza un método para determinar el ancho de banda.

Por lo tanto, para la modulación de índice muy pequeño, el espectro de frecuencia es semejante a la doble banda lateral de AM y el mínimo ancho de banda es aproximado de la siguiente manera

$$B = 2\, f_m \ (Hz)$$

Y para la modulación de índice alto, el mínimo ancho de banda se aproxima mediante

$$B = 2Df \ (Hz)$$

El ancho de banda real requerido, para pasar todas las bandas laterales importantes, para una onda de modulación angular, es igual a dos veces el producto de la señal modulante más alta y el número de bandas laterales importantes determinado por las funciones de la tabla de Bessel. Matemáticamente, la regla para determinar el mínimo ancho de banda para una onda de modulación angular utilizando la tabla de Bessel es

$$B = 2(n \times f_m) \ (Hz)$$

En donde n= número de bandas laterales significativas
f_m= frecuencia de la señal modulante (Hz)

Capítulo VI. Antenas

La antena es una de las piezas fundamentales que conforman un sistema de radiocomunicaciones; sin ella no existiría radiación de señales al espacio.
La definición formal de una antena es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre.

A lo largo de este capítulo daremos una breve reseña de las generalidades de las antenas, y de las características que definen su calidad. Finalmente se estudiará una pequeña clasificación de antenas, debido a su amplia aplicabilidad y fácil construcción.

6.1 Objetivos del capítulo

- Conocer los parámetros que definen la calidad de una antena, tales como *ganancia*, *directividad*, *patrón de radiación*, entre otros.
- Estudiar algunos tipos de antena de uso común en Radiocomunicaciones.

6.2 Generalidades

Cada aplicación y cada banda de frecuencias presentan características peculiares que dan origen a unas tipologías de antenas muy diversas. En una forma amplia y no exhaustiva, los tipos más comunes se pueden agrupar en los grandes bloques siguientes:

Antenas alámbricas. Se distinguen por estar construidas con hilos conductores que soportan las corrientes que dan origen a los campos radiados. Pueden estar formadas por hilos rectos (dipolo, V, rómbica), espiras (circular, cuadrada o de cualquier forma arbitraria) y hélices.

Antenas de aperturas y reflectores. En ellas la generación de la onda radiada se consigue a partir de una distribución de campos soportada por la antena y se suelen excitar con guías de ondas. Son antenas de apertura las bocinas (piramidales y cónicas), las aperturas y las ranuras sobre planos conductores, y las bocas de guía.
El empleo de reflectores, asociados a un alimentador primario, permite disponer de antenas con las prestaciones necesarias para servicios de comunicaciones a grandes distancias, tanto terrestres como espaciales. El reflector más común es el parabólico.

Agrupaciones de antenas: En ciertas aplicaciones se requieren características de radiación que no pueden lograrse con un solo elemento; sin embargo, con la combinación de varios de ellos se consigue una gran flexibilidad que permite obtenerlas. Estas agrupaciones pueden realizarse combinando, en principio cualquier tipo de antena.

6.3 Parámetros de antenas de transmisión

Una antena formará parte de un sistema más amplio de radiocomunicaciones. Interesará, por lo tanto, caracterizarla con una serie de parámetros que la describan y permitan evaluar el efecto sobre el sistema de una determinada antena, o bien especificar el comportamiento deseado de una antena para incluirla en ese sistema.

6.3.1 Impedancia

La antena ha de conectarse a un transmisor y radiar el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas en ella. La antena y el transmisor han de adaptarse para una máxima transferencia de potencia. Habitualmente el transmisor se encuentra alejado de la antena y la conexión se hace mediante una línea de transmisión o guía de ondas, que participa también en esa adaptación, debiéndose considerar su impedancia característica, su atenuación y su longitud.

La impedancia de entrada es un parámetro de gran trascendencia, ya que condiciona las tensiones de los generadores que se deben aplicar para obtener determinados valores de corriente en la antena, y en consecuencia, una determinada potencia radiada. Si la parte reactiva es grande, hay que aplicar tensiones elevadas para obtener corrientes apreciables; si la resistencia de radiación es baja, se requieren elevadas corrientes para tener una potencia radiada importante.

La existencia de pérdidas en la antena hace que no toda la potencia entregada por el transmisor sea radiada, por lo que se puede definir un rendimiento o *eficiencia de la antena* η_l, mediante la relación entre la potencia radiada y la entregada, o equivalentemente entre la resistencia de entrada de esa antena, si hubiese sido ideal (sin pérdidas), y la que presenta realmente.

$$h_l = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} = \frac{R_r}{R_r + R_\Omega}$$

6.3.2 Patrón de radiación.

Cada antena tiene su propia forma de irradiar una señal. Hay antenas que irradian más en una dirección que en otra, hay otras que tienden a irradiar casi por igual en todas las direcciones, y hay antenas que irradian solo en ciertas direcciones.

La forma característica que tiene una antena de emitir la señal es lo que se conoce como su patrón de radiación**.** El patrón de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena, en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija. El diagrama de radiación se puede representar en forma tridimensional utilizando técnicas gráficas diversas, como las curvas de nivel o el dibujo en perspectiva. Los niveles están expresados en decibelios respecto al máximo de radiación.

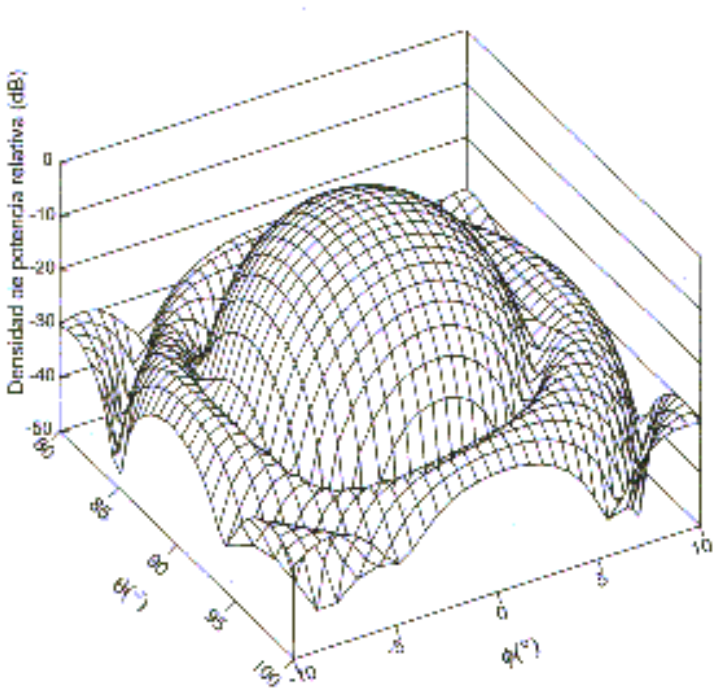


Figura 5.1. *Patrón de radiación tridimensional generado por computador.*

Si bien la información de radiación es tridimensional, puede ser de interés, y en muchos casos suficiente, representar un corte del diagrama. Ahora bien, la información de todos los cortes del diagrama es excesiva, por lo que se recurre a representar dicha información solo en los planos principales.

Para antenas linealmente polarizadas se define el *plano E* como el que forma la dirección de máxima radiación y el campo eléctrico en dicha dirección. Análogamente, el plano H es el formado por la dirección de máxima radiación y el campo magnético en dicha dirección. Ambos planos son perpendiculares y su intersección determina una línea que define la dirección de máxima radiación de la antena.

Los cortes bidimensionales del diagrama de radiación se pueden representar en coordenadas polares o cartesianas. En el primer caso el ángulo en el diagrama polar representa la dirección del espacio, mientras que el radio representa la intensidad del campo eléctrico o la densidad de potencia radiada. En coordenadas cartesianas se representa el ángulo de abcisas y el campo o la densidad de potencia en ordenadas.

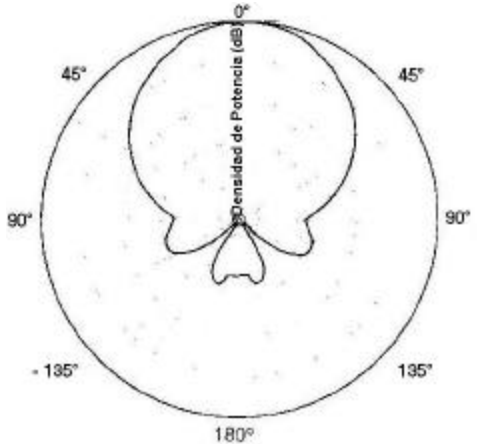


Figura 5.2. *Diagrama de radiación en coordenadas*

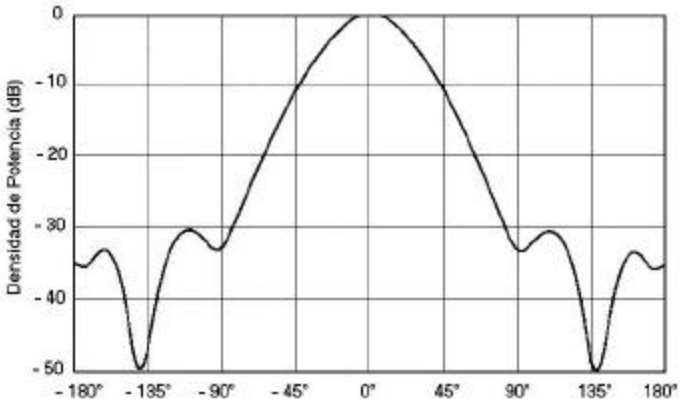


Figura 5.3 *Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas*

En un diagrama de radiación típico, como los mostrados en las figuras anteriores, se aprecia una zona en la que la radiación es máxima, a la que se denomina *haz principal* ó *lóbulo principal*. Las zonas que rodean a los máximos de menor amplitud se denominan lóbulos secundarios. A continuación se definen algunos parámetros de importancia del diagrama.

La *relación de lóbulo principal a secundario* es el cociente, expresado en dB, entre el valor del diagrama en la dirección de máxima radiación y en la dirección del máximo del lóbulo secundario. Normalmente, dicha relación se refiere al lóbulo secundario de mayor amplitud, que suele ser adyacente al lóbulo principal.

La *relación delante-atrás* es el cociente, también en dB, entre el valor del diagrama en la dirección del máximo y el valor en la dirección diametralmente opuesta.

Si un diagrama de radiación presenta simetría de revolución en torno a un eje se dice que la antena es *omnidireccional*.

6.3.3 Directividad

La directividad D de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esa misma distancia una antena isótropa que radiase la misma potencia que la antena.

6.3.4 Polarización

La polarización es una indicación de la orientación del vector de campo en un punto fijo del espacio al transcurrir el tiempo.
La polarización de una antena en una dirección es la de la onda radiada por ella en esa dirección. La polarización de una onda es la figura geométrica descrita, 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.

6.3.5 Ancho de Banda

Todas las antenas, debido a su geometría finita, están limitadas a operar satisfactoriamente en una banda o margen de frecuencias. Este intervalo de frecuencia, en el que un parámetro de la antena no sobrepasa unos límites prefijados, se conoce como el ancho de banda de la antena.
Puede ser definido respecto a múltiples parámetros: diagrama de radiación, directividad, impedancia, etc., en contraposición a la definición habitual en circuitos, que se hace sobre la impedancia.
El Ancho de Banda de la antena lo impondrá el sistema del que forme parte y afectará al parámetro más sensible o crítico en la aplicación. Para su especificación los parámetros pueden dividirse en dos grupos, según se relacionen con el diagrama o con la impedancia. En el primero de ellos tenemos la directividad, la pureza de polarización, el ancho de haz, el nivel de lóbulo principal a secundario y la dirección de máxima radiación. En el segundo, la impedancia de la antena, el coeficiente de reflexión y la relación de onda estacionaria.

6.3.6 Ancho del haz de la antena

El ancho del haz de la antena es sólo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3dB) en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomado en uno de los planos "principales". El ancho del haz para una antena cuyo patrón de radiación se muestra en la figura siguiente es el ángulo formado entre los puntos A, X y B (ángulo θ). Los puntos A y B son los puntos de media potencia (la densidad de potencia en estos puntos es la mitad de lo que es, una distancia igual de la antena en la dirección de la máxima radiación). El ancho de haz de la antena se llama ancho de haz de -3dB o ancho de haz de media potencia.

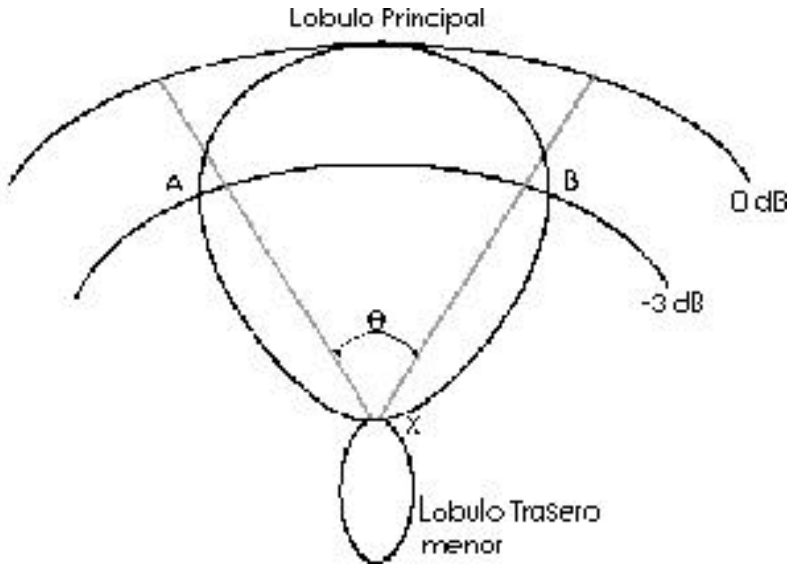


Figura 5.4. *Ancho del haz de una antena*

6.3.7 Ganancia

La ganancia de una antena es la relación entre la intensidad de radiación en una dirección determinada y la intensidad de potencia de una antena de referencia alimentada con la misma potencia. La antena de referencia teórica está constituida por la antena isotrópica que irradia de forma igual en todas direcciones. Está claro que no existe una antena como esta en la práctica pero existen sin embargo algunas antenas de referencia que si son realizables y cuya ganancia sobre la isotrópica es conocida o se puede calcular y medir y nos sirven como antenas de referencia.

El dipolo de 1/2 onda es una antena de referencia. Presenta una ganancia de 2.15dBi, esta notación dBi, significa que son decibeles sobre isotrópica.

Sin la indicación de la referencia, el valor de la ganancia no tiene ningún significado, por ejemplo, cuando se dice que una antena direccional tiene una ganancia de 7.5dBd deducimos que esa antena tendrá una ganancia de 7.5 + 2.15 =9.65 decibeles sobre isotrópica ya que dBd significa ganancia sobre dipolo y el dipolo tiene una ganancia teórica de 2.15 decibeles sobre isotrópica.

6.3.8 Relación delante/atrás

Es una particularidad propia de las antenas directivas. Se expresa en dBs, pero no tiene nada que ver con la ganancia de la antena. El valor de la relación delante/atrás indica únicamente hasta qué punto el lóbulo principal de radiación es más importante que el lóbulo posterior. Las antenas Yagi de 3 elementos presentan una relación del orden de los 20dB. Las antenas parabólicas están en el orden de los 60dB.

Decimos que una buena antena direccional debe estar equilibrada, es decir, tener una buena ganancia y también una buena relación delante/atrás. Si deseamos más ganancia, la relación delante/atrás se reduce necesariamente y si deseamos una excelente relación de delante/atrás, la ganancia también se reduce.

6.4 Tipos básicos de antenas

6.4.1 Dipolo de Media Onda

El dipolo de media onda lineal o dipolo simple es una de las antenas más ampliamente utilizadas en frecuencias arriba de 2MHz. Para su construcción, hay que comenzar por determinar la frecuencia media de la banda deseada y calcular su longitud de onda. Al dipolo de media onda se le refiere por lo general como antena de *Hertz*.

El dipolo de media onda esta dividido en dos por un aislador en el centro. El resultado son dos secciones cada una de un cuarto de largo de la longitud de onda.

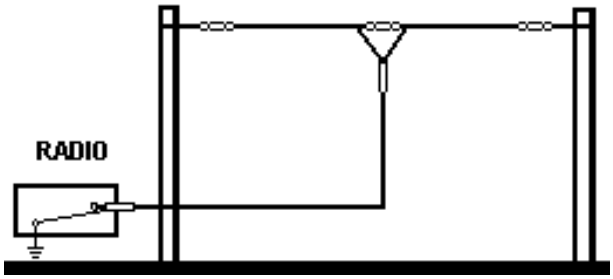


Figura 5.4. *Dipolo de media onda*

El cable de bajada de 75Ω puede ser un coaxial o un cable doble. Si usa un cable coaxial, entonces el centro conductor debe ser conectado a una de las mitades de la antena desde el aislador del centro y el blindaje externo deberá ser conectado a la otra mitad de la antena en el otro extremo del aislador central. Si usa un cable doble, entonces los conductores deben ser conectados uno en cada lado de la antena desde el aislador central.

Dado que el dipolo de media onda es cortado para una banda de frecuencias específica, deberá instalar un dipolo para cada banda que desee usar.

6.4.2 La antena Resonante

Esta es un tipo especial de la antena de varilla o telescópica vertical, que se distingue por tener sensibilidad incrementada en una banda de frecuencia únicamente.

En la figura 5.5 se muestra el sistema, que consiste en una varilla vertical cuya longitud es aproximadamente un cuarto de la longitud de onda a que está sintonizada. Inmediatamente debajo se halla el aislador, un sistema de 4 radios, colocados en ángulo recto entre sí y horizontalmente. Esto forma un plano de tierra artificial. Los radios tienen las mismas dimensiones que el radiador vertical. Se conecta un cable coaxial al receptor entre el punto de alimentación del radiador y la intersección de los radios.

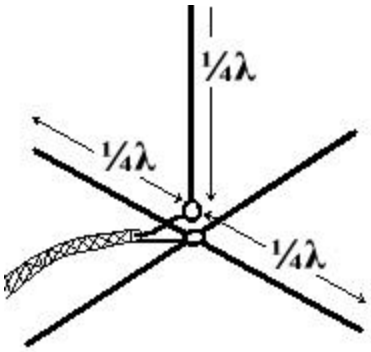


Figura 5.5. *Antena resonante*

El conductor interior del cable coaxial se conecta a la entrada de antena del receptor, en tanto que la trenza de apantallamiento se inserta en el enchufe de tierra. Este tipo se conoce como antena de polarización horizontal. Es sensible a las señales que vienen de todas las direcciones.

Para obtener resultados óptimos, las longitudes de todos los elementos deben ser un 3% más corta que un cuarto de la longitud de onda a la que está sintonizado el sistema. Para hallar la longitud correcta en el caso de que solamente se conozca la frecuencia de la emisora, proceda como sigue: calcule primeramente la longitud de onda (en metros) sirviéndose de la fórmula:

longitud de onda (m)= 300 / frecuencia (MHz)

La antena de polarización horizontal puede ser alimentada por medio de un cable de 50 ohmios.

Se obtiene la adaptación óptima entre el cable alimentador y la antena cuando los radios están

curvados hacia abajo, hasta que forman ángulos de 120 grados con el radiador vertical. La pantalla exterior del cable coaxial no se conecta normalmente a tierra.

6.4.3 Antena Yagi-Uda

Un tipo de antena muy común es la de Yagi-Uda, inventada en Japón en 1926 por S. Uda y dada a conocer internacionalmente poco después por H. Yagi. La antena Yagi es muy popular a pesar de ser una antena monocanal, aunque con ciertas variaciones se logra ensanchar el espectro de frecuencias para las que trabaja. Esta es una antena constituida por varios elementos paralelos y coplanarios, directores, activos y reflectores. Se utiliza habitualmente en las bandas de HF, VHF y UHF en aplicaciones de radiodifusión de televisión, estaciones de radioaficionado y radioenlaces punto a punto. Los elementos directores dirigen el campo eléctrico, los activos radian el campo y los reflectores lo reflejan. Los elementos no activados se denominan parásitos; la antena Yagi puede tener varios elementos activos y varios parásitos.

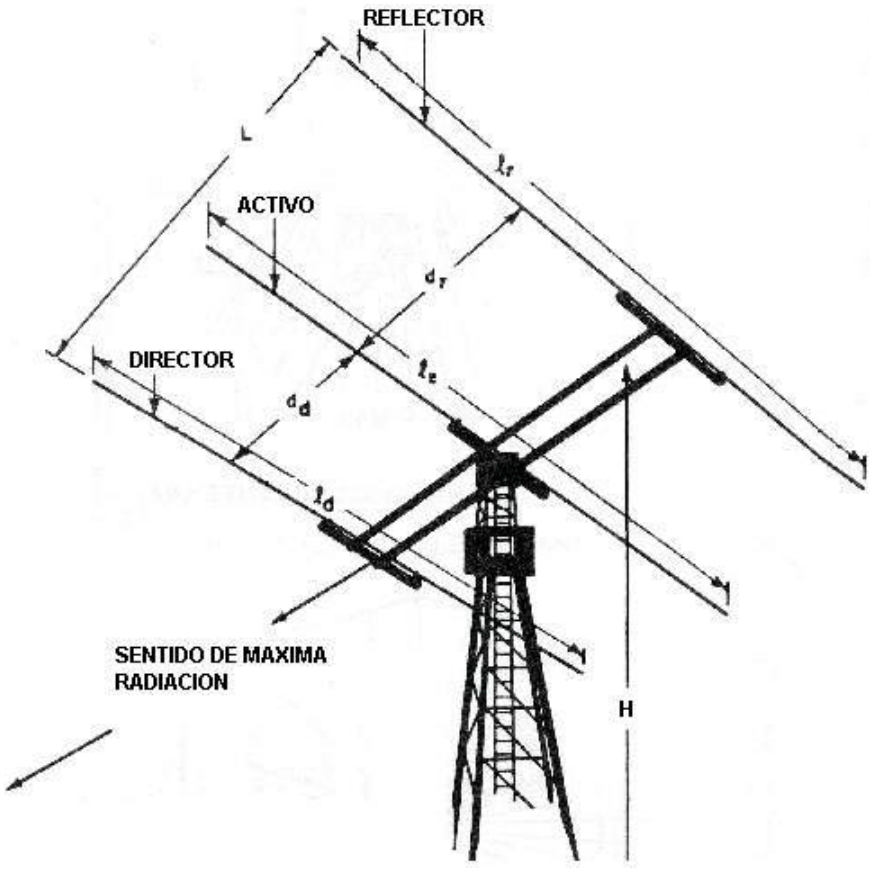


Figura 5.6. *Vista de una antena de Yagi-Uda*

El elemento activo suele ser un dipolo doblado resonante, con objeto de aumentar el ancho de banda. El reflector suele tener una longitud un 5% mayor que la del activo, habitualmente entre 0,5λ y 0,52λ. La longitud de los directores oscila entre 0,38λ y 0,48λ, siendo típicamente un 5% o 10% inferior a la del activo. La separación entre los elementos es algo mayor para el reflector (típica 0,15λ) que para los directores (típica 0,11λ).

Las principales características de las antenas de Yagi-Uda son las siguientes:

- Ganancia relativa al dipolo en λ/2 entre 5dB y 18dB. Esta ganancia expresada en dB, es del orden de magnitud del número de elementos, hasta un máximo de 20. La ganancia está dada por:

$$G = 10 \cdot \log(n) \text{ dB, con n: número de elementos}$$

- Relación delante-atrás entre 5dB y 15dB. Este parámetro suele mejorarse con ayuda de un reflector diédrico.
- Nivel de lóbulo principal a secundario bajo, entre 5 y 10dB. Sin embargo este parámetro no es crítico en las aplicaciones más habituales de estas antenas.
- Impedancia de entrada de unos 300Ω, debido a la utilización de un dipolo doblado como elemento activo, por lo que es necesario el uso de simetrizadores para poder conectarlas a cables coaxiales de 50 y 75Ω.

6.4.4 Loops

Los loops son antenas cerradas, generalmente fabricadas con alambre, que tienen una longitud de onda completa. Existen muchas configuraciones de loops, siendo las más populares el loop cuadrangular (o cúbico) y el loop triangular (o delta).

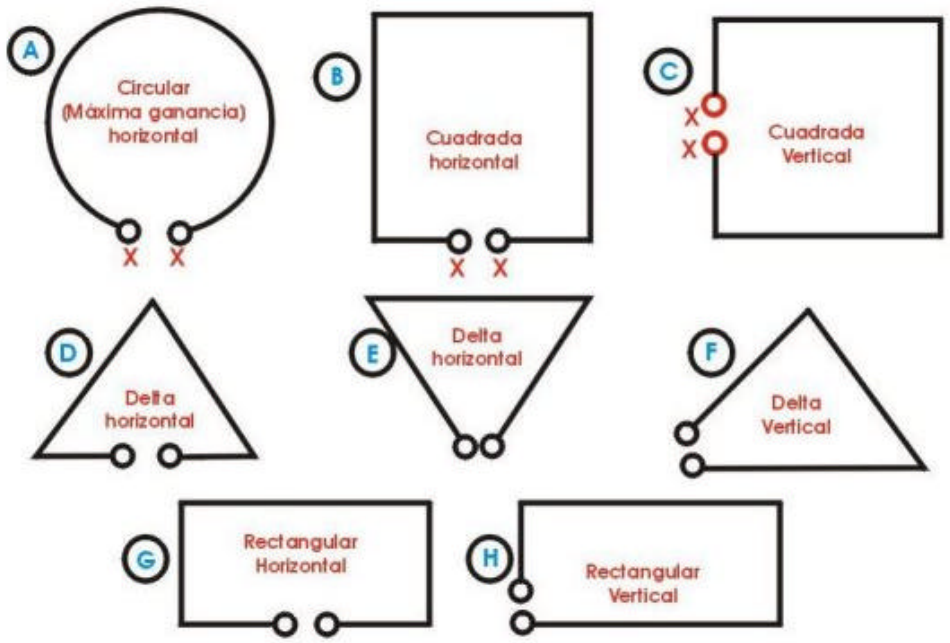


Figura 5.7 . *geometría típica de antenas loop.*

Aunque pueda parecer que el loop forma un cortocircuito entre los terminales del equipo de radio, lo que en realidad ocurre es que la corriente al encontrar un conductor resonante, comienza a irradiar, dando el funcionamiento a la antena.

Cuando el loop se ubica en posición vertical, la irradiación ocurre con mayor direccionalidad en un plano perpendicular al alambre.

Los loops son ideales para trabajar bandas de mayor longitud. Contrario a la creencia popular, los loops y sus antenas derivadas tienen el mismo requisito de altura de media longitud de onda sobre el suelo que tiene cualquier otra antena horizontal.

Para una frecuencia dada, entre un loop triangular y un loop cuadrangular, el loop cuadrangular es superior debido a que encierra mayor área. En general entre mayor área encierre un loop, más efectivo será. El loop ideal es el circular.

6.4.5 Antenas logoperiódicas

Las antenas independientes de la frecuencia, de las cuales la *red de período logarítmico* es un ejemplo, son estructuras que tienen el mismo comportamiento en diferentes frecuencias en virtud de que no tiene dimensiones que sean sensibles a la frecuencia.

Una forma notable de este tipo de antenas es la período logarítmico (figura 5.8) que es muy adecuada para funcionamiento en VHF y UHF. Esta interesante antena está constituida por elementos dipolos cuyas longitudes están determinadas por el ángulo que subtienden desde el vértice, y cuya distancia desde éste es tal que dan una respuesta de período logarítmico. Los dipolos están alimentados en el centro desde una línea de hilos paralelos de modo que los sucesivos dipolos salen de la línea en direcciones opuestas, lo que equivale a un desfasamiento de 180° entre elementos. Así se forma una estructura periódica de banda ancha, en la que la mayor parte de la radiación la producen los elementos dipolo en media longitud de onda aproximadamente. La anchura de banda de la estructura queda así limitada por la longitud de los elementos más largos y el elemento más corto, que deben tener una longitud de media onda en los límites extremos de frecuencia del sistema de antena.

Figura 5.8. *Antena logoperiodica*

El funcionamiento de la agrupación logoperiódica puede entenderse de la siguiente manera: a una frecuencia determinada, el dipolo que sea resonante ($L_n = \lambda/2$) radiará la mayor parte de la potencia que transporta la línea de transmisión. Los dipolos de longitud mayor actúan de reflectores mientras que los de longitud menor de directores, de forma análoga a la antena Yagi. De esta forma el diagrama de radiación presenta el máximo en la dirección del vértice. La zona donde se produce la radiación presenta el máximo en la dirección del vértice. La zona donde se produce la radiación se denomina región activa de la antena y estará formada por aquellos dipolos cuya longitud sea aproximadamente $\lambda/2$ a la frecuencia de trabajo. La zona activa se desplaza a lo largo de la antena en función de la frecuencia. Dado que el elemento radiante es un dipolo, la polarización es lineal.

Capitulo VII. Implementación de Experiencias de laboratorio

Luego del largo análisis tratado en los capítulo anteriores, donde se presentan, en la forma más clara posible cada uno de los bloques que conforman un sistema de comunicaciones, haciendo hincapié en aquellos parámetros que hacen tan particulares las bandas de frecuencia de HF y VHF para la propagación de señales de Radiofrecuencia, ha llegado el momento de plantear algunas experiencias de carácter práctico que permitan al alumno de la carrera de Ingeniería Electrónica, focalizar todas sus interrogantes y todas sus habilidades en el desarrollo de sesiones de trabajo práctico.

Considerando la realidad del laboratorio y la cantidad de instrumentos con que se dispone, las sesiones serán de tipo grupal y semi-demostrativas, permitiendo luego de una introducción y conocimiento previo de las precauciones en el uso de los instrumentos, el manejo de ellos por parte de los alumnos para la obtención de los datos solicitados, pero siempre bajo la estricta supervisión del profesor o ayudante contemplados para tales efectos.

Las experiencias que se han diseñado son de gran importancia, eficacia y actualidad para la evaluación de los parámetros de calidad de equipos de radiocomunicaciones que operen en las bandas de HF y VHF. Hablamos entonces de la medición de parámetros de Radiodifusión sonora de FM, AM, de TV, como del performance que presenta un equipo de transmisión para servicios limitados (HF), entre otros. Se ha querido conjugar la ejecución de las mediciones válidas para cada experiencia con el cumplimiento de la normativa vigente, lo que coloca al alumno en el lugar de fiscalizador, de tal forma que pueda evaluar los parámetros, como también establecer las posibles fallas o alteraciones en los equipos que den lugar a las posibles irregularidades.

La estructura de las guías de laboratorio considera:

1. *Marco Teórico*, donde se señalan los alcances de la tecnología involucrada, como de los equipos, si es que así se amerite.

2. *Practica de Laboratorio*, planteando el nombre de la experiencia, objetivos de tipo general y específicos para cada caso.
3. *Instrumentos a utilizar,* considerando marca, modelo, número de serie, rango de medición, frecuencia de trabajo.
4. *Procedimiento,* donde se plantean los pasos a seguir en orden riguroso para la obtención de los valores deseados.
5. *Informe,* indicándose aquí algunas sugerencias y solicitud de información adicional para la confección del informe de laboratorio.

En todo momento se concibe este trabajo como un primer paso en el desarrollo de las experiencias, las cuales de acuerdo a las necesidades e inquietudes de los alumnos y/o del profesor encargado puede ser mejorado.

7.1 Objetivo del capítulo

- Presentar las experiencias diseñadas para la implementación de un Laboratorio que considere el manejo de instrumentos tales como analizador de espectros, monitor de servicio, de manera de fortalecer por medio del conocimiento práctico el estudio de las Radiofrecuencias.

Universidad Austral de Chile
Instituto de Electricidad y Electrónica

Asignatura : Sistemas de Radiofrecuencias
Prof. Responsable : Sr. Franklin Castro Rojas
Nombre Experiencia : ***MEDICIÓN DE POTENCIA DE SALIDA EN TRANSMISORES***

1. MARCO TEORICO.

Debido a las condiciones de alta frecuencia, a la potencia puesta en juego, a las condiciones de adaptación de impedancias y al efecto de reflexión de potencia desde la antena, el proceso de medición de potencia en transmisores hace necesario crear instrumentos que usen elementos especiales para no perturbar las condiciones de trabajo del sistema. Es así, que el proceso más simple para la medición de potencia de salida en transmisores es el uso de instrumentos con elementos de acoplamiento direccional.

La ventaja de los acopladores direccionales es que permiten medir potencia en un amplio rango de potencias y frecuencias.
El acoplador direccional es un dispositivo que toma muestras independientes de la onda incidente y reflejada en una línea de transmisión. La *onda incidente* es la señal de RF generada por el transmisor que se propaga hacia la carga o la antena. La *onda reflejada* es la onda devuelta por la carga hacia el transmisor como consecuencia de una desadaptación de impedancia, al tener la carga distinta impedancia a la impedancia característica de la línea de transmisión.
Estas dos ondas viajando por la línea de transmisión dan origen a una onda estacionaria de corriente y tensión a lo largo de la línea.

La relación entre la onda incidente y reflejada captadas por el acoplador direccional y la relación de onda estacionaria presente en la línea de transmisión están dadas por la ecuación:

$$ROE = \frac{1+R}{1-R} \qquad R = \frac{\sqrt{Potencia.\text{Re}\ flejada}}{\sqrt{Potencia.Incidente}}$$

donde:

ROE: Razón de onda estacionaria
R: Relación de potencia reflejada a potencia incidente.

El acoplador direccional, en conjunto con un medidor, permite medir las ondas viajando por la línea. Este acoplador es un dispositivo adaptado en impedancia a la línea a medir, la cual puede ser una guía de ondas o un cable coaxial de 50Ω, conectándose en serie entre la carga y el transmisor a la vez que introduce una sonda en ese tramo para tomar una muestra de la señal presente en la línea analizada. De acuerdo a la dirección del elemento insertado, se medirá la señal incidente o reflejada.

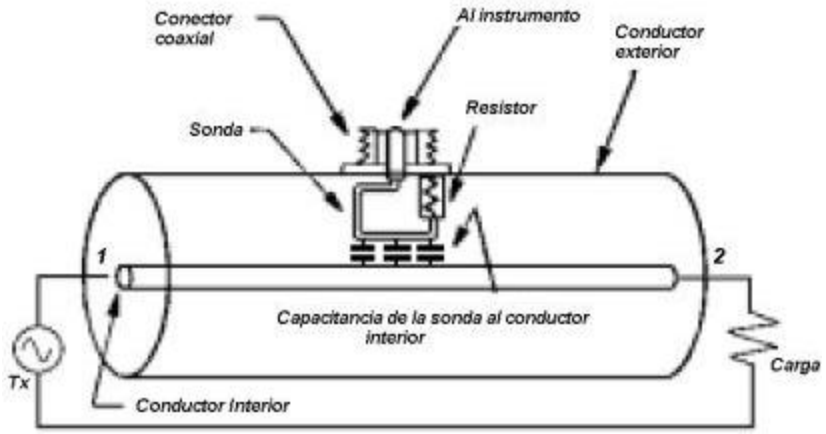


Figura 1. Esquema de un acoplador direccional.

1.1 Wattmetro Direccional de Radiofrecuencia MODEL 43 THRULINE[1]

El wattmetro modelo 43 Thruline es un wattmetro de RF de inserción, diseñado para medir el flujo de potencia y adaptarlo en líneas de transmisión coaxial de 50Ω. Es usado en modulaciones CW, AM, FM y TV, pero no es apto para modos de pulso.

El modelo 43 cuando es usado en aplicaciones de 50Ω, tiene un VSWR de inserción del orden de 1.05:1 a la frecuencia de 1000MHz. La lectura es de tipo directo en Watts, y presenta escalas de 25, 50 y 100 Watts. Los rangos de potencia usados son determinados por las cápsulas de inserción.

Figura 2. *Wattmetro de RF THRULINE 43*

Este es un instrumento de tipo de sonda intercambiable para distintos rangos de potencias de acuerdo al módulo empleado, permitiendo leer la potencia en una escala lineal.

[1] Referencia Bird Instruction Book. *THRULINE RF Directional Wattmeter model 43*

El THRULINE modelo 43 consta de un medidor contenido en una caja de aluminio donde se encierra el instrumento, desde donde es fácilmente desmontable. Aquí también se encuentran los conectores hembra tipo N que permiten intercalarlo entre el instrumento bajo prueba (transmisor) y la carga o antena. El medidor posee un FSD (Full Scale Deflection) de 30μA con una precisión de ±5%.

Posee distintas cápsulas o módulos (plug in) que contienen la sonda, los cuales determinan los rangos de potencia y frecuencia. Estos, a su vez, poseen una flecha indicadora que indica la dirección en que se deben situar para medir una u otra potencia (incidente o reflejada).

1.2 Conexión del Instrumento

Inserte el THRULINE modelo 43 en líneas de transmisión coaxiales con impedancia nominal de 50Ω. Las conexiones desde la fuente de poder (transmisor) a la carga se pueden realizar indistintatemente en cualquiera de las dos direcciones. Si utiliza cables que no sean de 50Ω, esto originará serias imprecisiones en la lectura.

2. PRACTICA DE LABORATORIO

2.1 Objetivo General

Familiarizarse con los medidores de potencia de radiofrecuencia, su uso y precauciones, conociendo diferentes técnicas de medición de potencia en Transmisores

2.2 Objetivos Específicos:

- *Efectuar mediciones de potencia de salida mediante wattmetro de RF y monitor de servicio.*
- *Medir valores de ROE con datos obtenidos de potencia incidente y reflejada.*

1. **Elementos a utilizar:**

Radiotransmisor				
Marca	Modelo	N° de serie	Potencia de salida	Frecuencia operación

Wattmetro				
Marca	Modelo	N° de serie	Rango de Medición	Rango de Frecuencias

Monitor de Servicio				
Marca	Modelo	N° de serie	Rango de Medición	Rango de Frecuencias

Receptor			
Marca	Modelo	N° de serie	Rango de Frecuencias

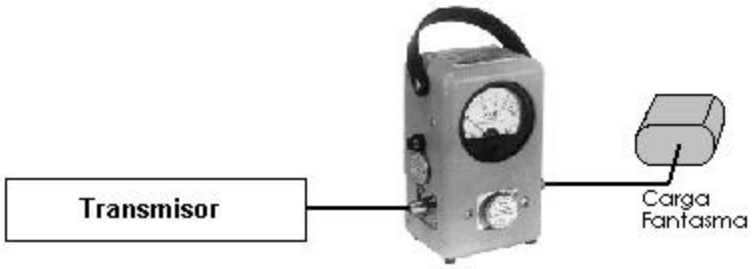
Antenas o carga fantasma			
Marca	Modelo	N° de serie	Rango de Frecuencias

3. Procedimiento

3.1 Medición con Wattmetro Direccional

POR NINGUN MOTIVO ENCENDER EL EQUIPO DE TRANSMISIÓN SIN LA CONEXIÓN DE UNA CARGA, PUESTO QUE PROVOCARIA DAÑOS AL EQUIPO.

1) Antes de dar comienzo a las mediciones debemos verificar los datos de los equipos transmisores y de los wattmetros considerados en la experiencia, para evitar posibles daños en los instrumentos de medida o los transmisores.
2) Seleccionar los módulos de inserción adecuados de acuerdo a los niveles de potencia a medir y a la frecuencia de trabajo.
3) Conectar el wattmetro de inserción entre el equipo transmisor y la carga fantasma de 50Ω, mediante cables coaxiales, de acuerdo al diagrama esquemático presentado a continuación.



4) Configurar el módulo de inserción para la medición de potencia incidente.
5) Energizar el transmisor desde la red de 220V. Encender el transmisor y corroborar que el sistema está transmitiendo, mediante el receptor sintonizado a la frecuencia de trabajo del transmisor.
6) Realizar las mediciones para potencia incidente, leyendo la deflexión de la aguja en el wattmetro de RF.
7) Apagar el transmisor y configurar el módulo de inserción del wattmetro para la medición de onda reflejada.
8) Encender el transmisor y apuntar las mediciones desplegadas por el wattmetro.
9) Calcular el valor de la potencia verdaderamente transmitida a través de la fórmula:

Potencia Transmitida [W]= Potencia Incidente ***Pi*** [W] – Potencia Reflejada ***Pr*** [W]

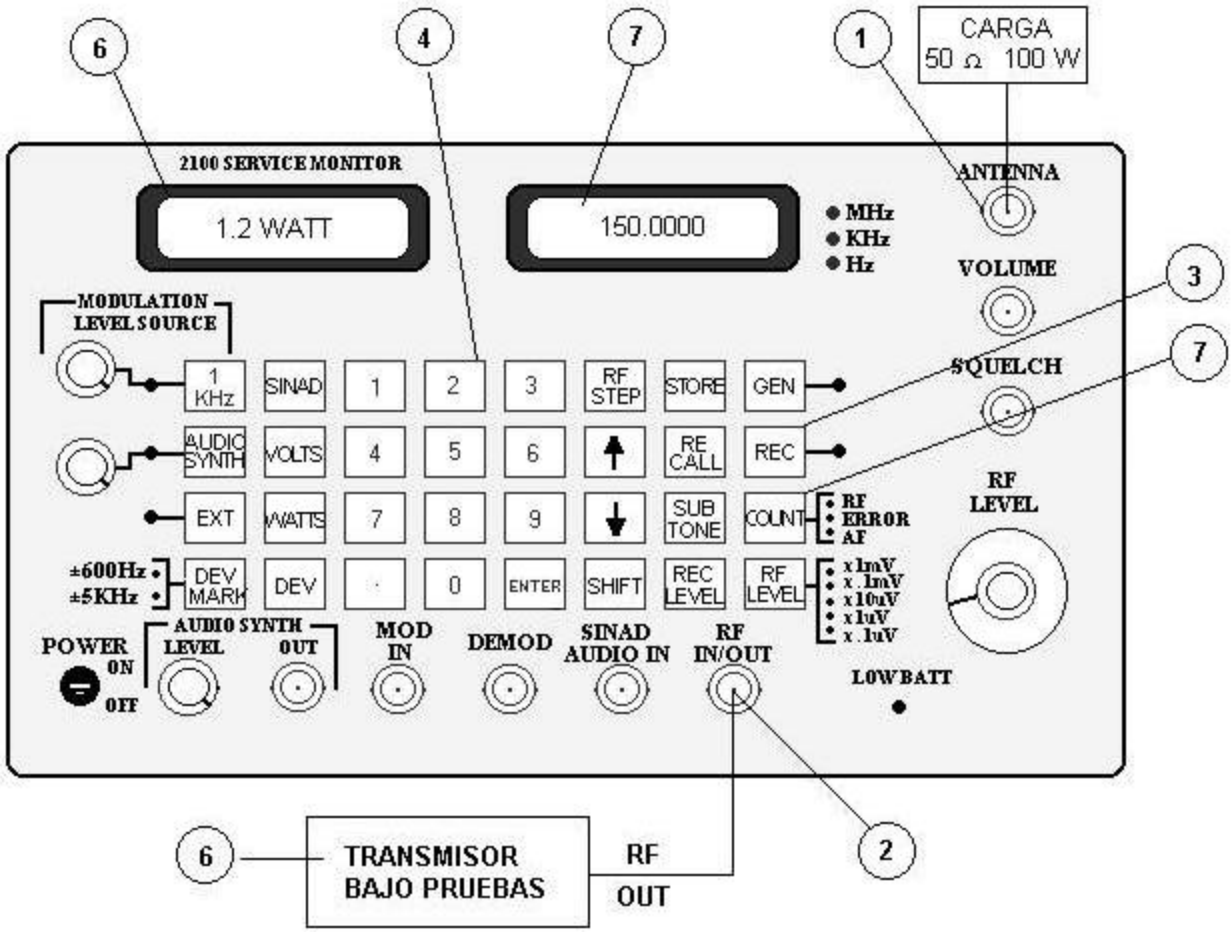
Frecuencia de TX	P. incidente(W)	P. Reflejada (W)	P. Transmitida (W)	ROE calculado.

10) Calcular el valor del ROE mediante las lecturas obtenidas y con el uso de la siguiente ecuación.

$$ROE = \frac{1+R}{1-R} \qquad R = \frac{\sqrt{Potencia.\text{Re } flejada}}{\sqrt{Potencia.Incidente}}$$

3.2 Medición de Potencia con Monitor de Servicio

Conecte el monitor de servicio de acuerdo a la figura que a continuación se muestra y respetando los valores nominales del instrumento.



1. Conecte una carga fantasma de RF de 50Ω y 100Watt al puerto de antena.
2. Conecte la salida de RF del transmisor al jack RF IN/OUT.
3. Seleccione el modo de recepción REC.
4. Programe la frecuencia de trabajo del transmisor en el monitor usando el teclado numérico seguido de ENTER.
5. Energizar el transmisor desde la red de 220V. Encender el transmisor y corroborar que el sistema está transmitiendo, mediante el receptor sintonizado a la frecuencia de trabajo del transmisor. (Para prevenir el recalentamiento del instrumento, vea las instrucciones para la aplicación de potencia al wattmetro).
6. Afine el transmisor. La lectura del nivel de potencia se visualizará expresada en watts en el LCD a la izquierda del equipo.
7. Tabule valores empleando la tabla siguiente.

TX Marca y modelo	Frecuencia de TX	P. incidente (W)

Informe:

Deberá incluir los datos de los instrumentos utilizados en las experiencias, precauciones o riesgos en la medición, recomendaciones de uso, tabla de valores obtenidos y conclusiones para cada caso.

Investigar e incorporar en informe:

Respuesta en frecuencia del wattmetro TRHULINE modelo 43.

Obtener ROE mediante aproximación de curva para VSWR en manual del wattmetro.

Universidad Austral de Chile
Instituto de Electricidad y Electrónica

Asignatura : Sistemas de Radiofrecuencias
Prof. Responsable : Sr. Franklin Castro Rojas
Nombre Experiencia : ***RECEPCIÓN Y MEDICION DE PARÁMETROS EN EMISORAS DE RADIODIFUSIÓN COMERCIAL DE F.M.***

1. MARCO TEORICO.

La radiodifusión FM surge a principios de los años 30 causando gran expectación entre los habitantes de la época. La actual localización de estas emisoras en la banda de 88-108MHz no es producto de los requerimientos de ancho de banda de esta tecnología, sino más bien que cuando se desarrolló, la banda de MF (medium frequency), que era empleada tradicionalmente para los servicios de radio, se encontraba saturada.

El mayor ancho de banda que presentan estas señales les permite una transmisión de mayor calidad frente a las emisoras que operan en Amplitud Modulada.
En nuestro país, la Subsecretaría de Telecomunicaciones es el ente regulador del espectro radioeléctrico, razón por lo cual generó el *Marco Regulatorio de Radiodifusión Sonora*, reglamento bajo el cual se establecen los parámetros, procedimientos y valores que deben cumplir cada una de las emisoras que transmitan en el país.

Los parámetros más importantes que describen el funcionamiento de una emisora que opera en Frecuencia Modulada son: *Ancho de Banda, Desviación de Frecuencia, Nivel de señal, Banda de Guarda.* Son estos precisamente los parámetros que serán evaluados en esta experiencia de laboratorio que pretende proporcionar al alumno las herramientas y el procedimiento a seguir para evaluar el estado de las emisiones de una estación radioemisora de acuerdo a los dictámenes proporcionados por la SUBTEL.

2. PRACTICA DE LABORATORIO

2.1 Objetivo General

Utilizar instrumentos de uso común para mediciones de parámetros de calidad en emisoras de Broadcast FM.

2.2 Objetivos Específicos:

- *Adquisición de destreza por parte del alumno en el empleo de analizador de espectro y monitor de servicio.*
- *Recepcionar una emisora FM y evaluar su performance.*

3. Instrumentos a utilizar:

Analizador de Espectro			
Marca	**Modelo**	**N° de serie**	**Rango de Frecuencias**
Tektronix	2711	B041472	9KHz a 1.8GHz

Monitor de Servicio				
Marca	**Modelo**	**N° de serie**	**Rango de Medición**	**Rango de Frecuencias**
Wavetek	2100	9118018		400Khz a 999.9999MHz

Receptor de comunicaciones

Marca	**Modelo**	**N° de serie**	**Rango de Frecuencias**
AOR	AR-3000		

4. PROCEDIMIENTO

4.1 RECEPCION Y ESCUCHA DE TRANSMISIONES EN LA BANDA DE 88-108MHz.

ANTES DE REALIZAR MEDICIONES CON EL ANALIZADOR DE ESPECTROS PROCURE PROPORCIONAR UN TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE 15min, DE ACUERDO A LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE, PARA OBTENER EL MAXIMO PERFORMANCE DEL EQUIPO.

Esta experiencia contempla la recepción y demodulación de una señal FM procedente de una radioemisora local. Para ello emplearemos el analizador de espectro y el monitor de servicio en forma sucesiva, de forma de poder contrastar resultados. Igualmente nos valdremos de un equipo receptor sintonizado a la frecuencia de la emisora.

1) El primer paso será sintonizar el analizador de espectro en la banda de frecuencias FM (88-108MHz).

a) Para ello presione la tecla FREQUENCY del panel y a continuación seleccione 88.0+[X] con lo cual el cursor quedará posicionado en 88MHz.

b) Ajuste el SPAN/DIV (escalado horizontal) mediante los controles [↑] y[↓] hasta obtener un valor de 100KHz por división, dato que se puede visualizar en pantalla.

c) Ajuste el nivel de referencia REF LEVEL con la ayuda de [↑] y[↓] para obtener una buena visualización de las señales.

d) Observe la distribución de las radioemisoras en esta banda. Proceda a recorrerla con la ayuda de la perilla de FREQ/MKRS.

e) Vuelva a la frecuencia de 88MHz ya sea mediante los pasos descritos en el punto a) o devolviéndose con la perilla de FREQ/MKRS.

2) Para demodular las señales FM recepcionadas, siga los siguientes pasos:

a) Ejecutado el punto 1e) presione la tecla [DEMOD/TG]. En la pantalla que se despliega, elija la opción 2 (FM DEMODULATOR) y luego vuelva a presionar la tecla [DEMOD/TG] para retornar al menú principal. Ajuste al mínimo el volumen del parlante mediante la rueda externa del control LEVEL.

b) Presione la tecla [ZERO/SPAN] y con la ayuda del control FREQ/MKRS sintonice las emisoras con el analizador cual si fuese un radiorreceptor. Mantenga moderado el

volumen de los parlantes. Para terminar es necesario apagar el demodulador de FM; para ello debe seleccionar en el menú [DEMOD/TG] la opción 0 (OFF), presionar [ZERO/SPAN] para volver a la visualización espectral normal.

4.2 MEDICION DE PARAMETROS BASICOS DE FM

En esta parte de la experiencia de laboratorio procederemos a cuantificar a través de la medición con los instrumentos adecuados, algunos parámetros tales como ancho de banda, desviación de frecuencia, banda de guarda, nivel de recepción de las señales de FM recepcionadas.

4.2.1 Medición de Ancho de Banda

El analizador de espectro Tektronix 2711 calcula el ancho de banda (BW) de las señales detectando el valor peak de la señal y encontrando los puntos de frecuencia en el espectro que se encuentren un cierto número de dBs por debajo de este peak.

Debido a que el ancho de banda depende del porcentaje de modulación de la señal, este variará continuamente. Para obtener un dato preciso, emplearemos una función especial del analizador que permite almacenar en los registros del instrumento la señal recepcionada durante un período prudente de tiempo.

Para el caso puntual de esta experiencia se medirá el BW a –3dBc(decibeles respecto de la portadora) el cual es el valor por defecto del instrumento y se darán las pautas para modificar este valor mediante los controles dispuestos en el panel frontal.

Los pasos a ejecutar son los siguientes:

a) Aplicando los conocimientos proporcionados en la sección 2.1, sintonice al menos una radioemisora local, ajustando el SPAN a 100KHz por división y con un nivel de referencia adecuado para poder visualizar la señal. (Se presenta en el siguiente resumen las frecuencias de transmisión de las emisoras que irradian sus ondas en la localidad)[1]

FM 088.9 - Bío Bío	FM 098.5 - Imagina
FM 089.5 - Montecarlo	FM 098.9 - Romance
FM 090.1 - Univ Austral	FM 099.3 - FM Hit
FM 090.9 - Cooperativa	FM 099.9 - Universo

[1] Información obtenida del web http://www.archiradios.cl, vigente al 06.2003.

FM 092.5 - Pudahuel	FM 100.5 - FM Dos
FM 093.1 - Exquisita	FM 102.3 - Rock & Pop
FM 094.9 - Ainil FM	FM 103.3 - Infinita
FM 095.7 - El Conquistador	FM 104.1 - Activa
FM 096.7 - Radio W	FM 105.3 - Tornagaleones
FM 097.9 - Punto 7	FM 105.7 - Concierto
FM 098.5 - Imagina	FM 106.1 - RRB
FM 097.3 - Corazón	FM 107.5 - 40 Principales

b) Presione la tecla [APPL] y en el menú desplegado por pantalla, seleccione la opción 0 (BANDWITH MODE) y corrobore que aparezca BANDWITH MODE @-3dBc. Si es así vuelva a presionar [APPL] y en la esquina superior derecha de la pantalla observará el BW representado en el espectro por los dos marcadores (puntos) situados a –3dB respecto del peak de la señal.

c) Presione la tecla SAVE seguida de un registro. El instrumento comenzará a almacenar las señales, reteniendo en la pantalla la que presente el valor de BW mayor, por lo tanto se recomiendo aguardar un tiempo de 2 a 3 minutos.

d) Para medir el BW entre otros puntos hay que cambiar el número de dBs por debajo del peak. Para ello debe seleccionar en el menú [APPL] la opción 9 (SETUP TABLE). De la tabla que aparece, seleccionar [0] y, siguiendo las instrucciones mostradas en pantalla, introducir otro valor (por ejemplo, -25dBc se consigue presionando [25]+Z)

4.2.2 Medición de la Desviación de Frecuencia

La desviación de frecuencia se puede expresar como el cambio instantáneo que se observa en la frecuencia de la portadora. Para la medición de este parámetro se deben seguir los pasos que a continuación se detallan para el manejo del analizador de espectros.

a) Sintonice la estación de broadcast FM la cual será evaluada.

b) Cambie el SPAN a 100KHz por división con la ayuda de los controles [↑] y[↓] del panel de control.

c) Pulse el control [APPL] del instrumento y a continuación, del menú que se observa elija la opción 7 (FM DEVIATION MODE) y vuelva a presionar [APPL].

d) En la pantalla se visualizará la desviación de frecuencia como un conjunto de líneas verticales que cuelgan desde el borde superior de la pantalla. Esta es la variación de frecuencia en función del tiempo.
e) Usted puede cambiar el factor de escala vertical presionando sucesivamente la tecla 10/5/1, conmutando de esta forma a 10KHz, 5KHz y 1KHz por división respectivamente.
f) Para chequear la desviación máxima, seleccione la escala para un factor de 10KHz/div, y usando el control [DSPL] seleccione la opción 9 y luego W para seleccionar el modo MIN HOLD IN WFM A. Con esto aparecerá en la parte central de la pantalla una línea horizontal que presentará peaks de acuerdo a la magnitud de la desviación.
g) Espere un tiempo de 2-3 minutos.
h) Pasado este tiempo lea los valores de los peaks que indican la desviación máxima de frecuencia.
i) Obtenga el ancho de banda mediante la aproximación $BW = 2 \cdot \Delta f$ y compare con los valores obtenidos en el apartado 2.2.1.

4.2.3 Medición del nivel de recepción

Alternativa 1 (Analizador de Espectros)

Suponiendo la correcta conexión de la antena de referencia en el analizador de espectros, y sobre la misma radioemisora a la cual se le calculo el ancho de banda realice los siguientes pasos:

a) Sitúese en la frecuencia de transmisión de la emisora
b) Presione el control MKR/Δ/OFF una vez, para activar el marcador (punto en la pantalla), el cual debiera posicionarse en la cresta de la señal visualizada por pantalla.
c) La lectura se observa en la esquina superior derecha de la pantalla; los datos se presentarán de la siguiente forma, siendo la unidad de medida por defecto para la medición de señales el dBm. (M se refiere al marcador).

M 88MHz	Indica la posición del marcador en MHz
M –50dBm	Señala la potencia en dBm de la señal en el marcador
10dB	Indica los dB por división en la escala vertical

d) Para cambiar la unidad de medida de la señal, presione el control [INPUT]; del menú desplegado seleccione la opción 3 (REF LEVEL UNIT) y aquí elija las unidades del nivel

de referencia. Repita este procedimiento para medir el nivel de la señal en dBmV, dBV, dBμV, dBμW. Registre estos datos.

Alternativa 2 (Monitor de Servicio)

Con el monitor de servicio siga estrictamente la siguiente secuencia para obtener la potencia de la señal.

a) Cambie la antena de referencia y conecte adecuadamente, esta vez en el monitor de servicio.
b) Encienda el monitor de servicio, el cual luego del autotesteo, quedará listo para operar.
c) Asegúrese que el instrumento este configurado para recepción de señales, sino es así, presione la tecla REC, luego de lo cual deberá iluminarse el led situado próximo a la tecla. Solo deberán estar iluminadas los leds de recepción y el de MHz situado al lado del conector BNC de antena, el cual indica la frecuencia en que operará el equipo.
d) Mediante el teclado numérico, introduzca la frecuencia de la emisora de FM, la cual deberá ser la misma seleccionada en los puntos anteriores. Para finalizar el ingreso deberá presionar ENTER. La frecuencia seleccionada se mostrará en el LCD de la derecha.
   Ej: para ingresar 88MHz, presione 88.0+ENTER
e) Sitúe el control de SQUELCH (silencio) al mínimo. Ajuste el control VOLUME en un nivel adecuado.
f) Para medir la señal, presione la tecla REC LEVEL. La conmutación reiterada sobre esta tecla le permitirá cambiar la unidad de medida de dBm a μV. El valor de la medición podrá observarlo en el LCD izquierdo.
g) Compare los datos obtenidos tanto con analizador de espectro y monitor de servicio calculando la equivalencia entre las unidades. Incorpore su desarrollo en el informe.

4.2.4 Medición de la Banda de guarda.

La banda de guarda corresponde al espacio libre de emisiones que debe estar comprendido entre dos radioemisoras adyacentes, de manera de proveer protección contra posibles señales que pueden interferir las transmisiones de la emisora vecina en frecuencia.

Alternativa 1:

a) Ajuste mediante el control de SPAN la banda de radiodifusión comercial, de manera que se observe en la pantalla dos emisoras vecinas. Un SPAN de 200KHz por división puede ser adecuado para tales efectos.
b) Considerando el valor seleccionado de SPAN, cuente los cuadros marcados en la grilla de la pantalla que separan a ambas señales.
c) Para obtener la Banda de Guarda, multiplique el número de recuadros obtenidos del punto b) y multiplíquelos por el valor del SPAN/div.

Alternativa 2:

Para esta segunda alternativa de medición haremos empleo de los marcadores que nos provee el analizador de espectros.

a) Mediante el control de FREQ/MKRS posiciónese en la parte más baja de la falda de la señal emitida por la emisora A.
b) Presione dos veces sucesivas el control de MKR/Δ/OFF, activando con esto la función Δ, que nos permitirá visualizar la diferencia en Hz entre los dos marcadores que se aprecian en pantalla.
c) Ahora, observe que un marcador se quedará fijo en la falda de la emisora A. Proceda con la perilla de FREQ/MKRS a desplazar y ajuste el otro marcador en la parte inferior de la falda de la emisora B.
d) Una vez hecho esto, lea los datos desplegados en la esquina superior derecha del display del equipo.

Informe:

Deberá incluir los datos de los instrumentos utilizados en las experiencias, precauciones o riesgos en la medición, recomendaciones de uso, tabla de valores obtenidos y conclusiones para cada caso.

Investigar e incorporar en informe:

- A que atribuye las diferencias en los niveles de recepción obtenidos con analizador de espectro y monitor de servicio
- De acuerdo a las reglamentaciones de la SUBTEL cuales son los valores de BW, Desviación de Frecuencia y Banda de Guarda. Que función cumple cada uno. Compare las estaciones evaluadas con esta normativa.

Sugerencia: Visitar http://www.subtel.cl y *descargar Norma Técnica de Radiodifusión Sonora.*

Universidad Austral de Chile
Instituto de Electricidad y Electrónica

Asignatura : Sistemas de Radiofrecuencias
Prof. Responsable : Sr. Franklin Castro Rojas
Nombre Experiencia : ***ANÁLISIS ESPECTRAL DE SEÑALES DE BROADCAST DE TV.***

1. MARCO TEORICO.

En 1941, comenzó en Estados Unidos la emisión comercial de señales de televisión *monocromática*. En 1945, la FCC asignó 13 canales de televisión VHF: 6 canales de banda baja, 1 al 6 (44 a 88MHz) y 7 canales de banda alta, 7 al 13 (174 a 216MHz). Sin embargo en 1948 se descubrió que el canal 1 (44 a 50MHz) causaba problemas de interferencia, en consecuencia, este canal fue asignado a los servicios de radio móvil. En 1952, los canales de UHF de 14 a 83 (470 a 890MHz) fueron asignados por la FCC con el fin de proporcionar más estaciones de televisión.
El servicio de radiodifusión televisiva hace uso de las bandas de frecuencia de VHF y UHF.

1.1 Transmisión de televisión monocromática

La emisión de televisión monocromática involucra la transmisión de dos señales separadas: una *aural* (sonido) y una señal de *video* (imagen). Cada transmisor de televisión emite dos señales totalmente separadas para la información de la imagen y sonido. La transmisión aural utiliza la modulación de frecuencia y la transmisión de video la modulación de amplitud. Un transmisor de televisión monocromática consta de dos transmisores totalmente separados (un transmisor de FM para la información del sonido y un transmisor de AM para la información de la imagen) cuyas salidas son combinadas en un puente diplexor[1] y alimentan una sola antena.

1.2 Estandares de radiodifusión de televisión

La figura 1 muestra el espectro de frecuencias para un canal de radiodifusión de televisión estándar. Su ancho de banda total es de 6MHz. La portadora de la imagen está espaciada

[1] Un puente diplexor es una red que se utiliza para combinar la salida de dos transmisores que operan a diferentes frecuencias y utilizan el mismo sistema de antena.

1.25MHz arriba del límite inferior para el canal y la portadora de sonido a 0.25MHz abajo del límite superior. Por tanto, las portadoras de imagen y de sonido tienen siempre 4.5MHz de separación.

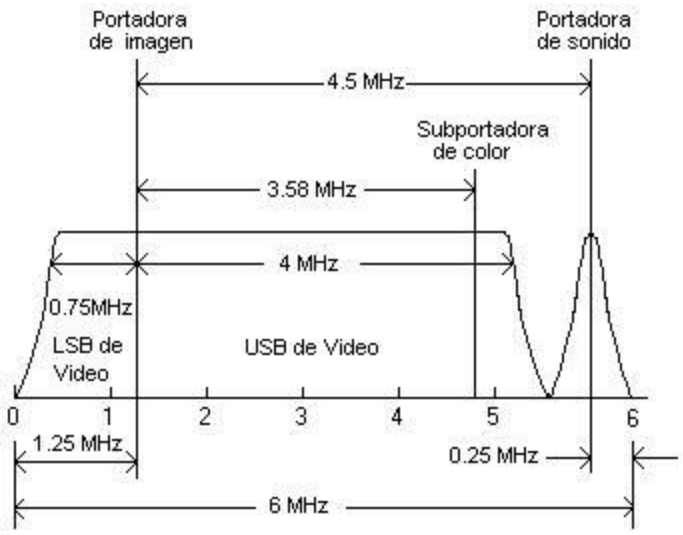


Figura 1. *Canal de radiodifusión de televisión estándar*

La *subportadora* de color está ubicada a 3.58MHz arriba de la portadora de imagen. La radiodifusión de televisión comercial utiliza una transmisión de banda lateral vestigial para la información de la imagen. La banda lateral inferior es de 0.75MHz de ancho y la banda superior de 4MHz. En consecuencia, las frecuencias bajas de video (un perfil general de la imagen) se enfatizan en relación a las frecuencias altas de video (detalles más exactos de la imagen).

En la presente experiencia, se efectuará un recorrido a la banda empleada por las frecuencias asignadas al servicio de radiodifusión televisiva. En ella se estudiará el espectro de televisión, midiéndose los parámetros más representativos.

2. PRACTICA DE LABORATORIO

2.1 Objetivo General

Reconocer el espectro de una señal de TV y evaluar sus parámetros de acuerdo a la reglamentación vigente.

2.2 Objetivos Específicos:

- *Evaluar Ancho de Banda, niveles de señal delas portadoras de audio y video para una emisora de TV seleccionada.*
- *Verificar el cumplimiento de la normativa vigente.*

3 Instrumentos a utilizar:

Analizador de Espectro			
Marca	Modelo	N° de serie	Rango de Frecuencias
Tektronix	2711	B041472	9KHz a 1.8GHz

Monitor de Servicio				
Marca	Modelo	N° de serie	Rango de Medición	Rango de Frecuencias
Wavetek	2100	9118018		400Khz a 999.9999MHz

Receptor de comunicaciones

Marca	Modelo	N° de serie	Rango de Frecuencias
AOR	AR-3000		

4. PROCEDIMIENTO

4.1 VISUALIZACION DEL ESPECTRO DE UN CANAL DE TELEVISIÓN.

ANTES DE REALIZAR MEDICIONES CON EL ANALIZADOR DE ESPECTROS PROCURE PROPORCIONAR UN TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE 15min, DE ACUERDO A LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE, PARA OBTENER EL MAXIMO PERFORMANCE DEL EQUIPO.

El primer paso consiste en localizar un canal de televisión en la banda de VHF, para luego observar la composición de su espectro de acuerdo a la Figura 1. Como información se proporciona parte del Anexo A del PLAN DE RADIODIFUSIÓN TELEVISIVA referido a la banda de VHF.

Tabla 1.

CANALES		**FRECUENCIAS PORTADORAS (MHZ)**	
N°	**Frecuencias Límites (MHz)**	**Video**	**Audio**
2	54-60	55.25	59.75
3	60-66	61.25	65.75
4	66-72	67.25	71.75
5	76-82	77.25	81.75
6	82-88	83.25	87.75
7	174-180	175.25	179.75
8	180-186	181.25	185.75
9	186-192	187.25	191.75
10	192-198	193.25	197.75
11	198-204	199.25	203.75
12	204-210	205.25	209.75
13	210-216	211.25	215.75

c) Con la información de la tabla 1, localizarse con el analizador de espectros, cercano a un canal de TV. Puede hacerlo ingresando la frecuencia deseada con el teclado seguido de [X] que corresponde al rango de los MHz. Otra forma es girando la perilla de FREQ/MKRS.

d) Ajuste el control de SPAN/DIV (escalado horizontal) mediante los controles [↑] y[↓] hasta obtener un valor adecuado para observar el espectro de TV, un valor de 2MHz por división puede ser aceptable.
e) Ajuste el nivel de referencia REF LEVEL con la ayuda de [↑] y[↓] para obtener una buena visualización de las señales.
f) Observe la distribución de las señales que se aprecian. Compare de acuerdo a la Figura 1 para distinguir cada una de ellas. Dibuje las señales.

4.2 *DEMODULACION DE LA SEÑAL DE AUDIO*

Las señales de TV transmiten sus señales estereofónicas mediante el empleo de modulación FM. Una vez localizada la señal de audio ya sea por medio de la observación del espectro de la señal de televisión o con la ayuda de la frecuencia de la portadora de audio indicada en la tabla 1:

a) Localice el marcador (punto) del analizador de espectros en la frecuencia de la portadora de audio
b) Presione la tecla [DEMOD/TG] para activar el demodulador del instrumento. En la pantalla que se despliega, elija la opción 2 (FM DEMODULATOR) y luego vuelva a presionar la tecla [DEMOD/TG] para retornar al menú principal. Ajuste al mínimo el volumen del parlante mediante la rueda externa del control LEVEL.
c) Presione la tecla [ZERO/SPAN]. Aumente el volumen de los parlantes a un valor moderado y escuche la transmisión. Para terminar es necesario apagar el demodulador de FM; para ello debe seleccionar en el menú [DEMOD/TG] la opción 0 (OFF), presionar [ZERO/SPAN] para volver a la visualización espectral normal.
d) Ahora que cuenta con la frecuencia precisa de la señal de audio sintonice tanto el receptor de comunicaciones AR-3000 como el monitor de servicio WAVETEK a la frecuencia de portadora. Compare las calidades de recepción.

4.3 MEDICION DE PARAMETROS DE LA SEÑAL DE TV

Ahora cuantificaremos los niveles de señal, tanto de portadoras de audio y video, ancho de banda de señal, entre otras.

4.3.1 Medición de Ancho de Banda

Aquí observaremos el cumplimiento de las recomendaciones expedidas por la SUBTEL para el ancho de banda de la señal de TV. Mediremos también el ancho de banda para la señal de video.

- *Señal de TV.*

e) Localice y aisle una emisora de televisión de las adyacentes.

f) Tomando en cuenta el valor del SPAN/DIV y el número de cuadros que ocupan las señales de TV multiplique estos factores. El producto será el ancho de banda aproximado.

- *Portadora de Video*

a) Sintonice la señal de video con la ayuda de las frecuencias entregadas en la tabla 1.

b) Presione la tecla [APPL] y en el menú desplegado por pantalla, seleccione la opción 0 (BANDWITH MODE). Vuelva a presionar [APPL] y en la esquina superior derecha de la pantalla observará el BW representado en el espectro por los dos marcadores (puntos) situados a los dB seleccionados bajo la portadora.

c) Si desea realizar otra medición de BW en puntos diferentes debe seleccionar en el menú [APPL] la opción 9 (SETUP TABLE). De este nuevo menú seleccione [0] y, siguiendo las instrucciones mostradas en pantalla, introducir el valor deseado (por ejemplo, -25dBc se consigue presionando [25]+Z)

4.3.2 Medición de la Desviación de Frecuencia y BW para la portadora de audio

Considerando que la transmisión estereofónica de las señales de audio se modulan en frecuencia, son válidas aquí las mediciones de estos parámetros. Siga los siguientes pasos:

j) Ajuste la frecuencia de la señal de audio de la emisora de TV en el analizador de espectro.

k) Cambie el SPAN a 100KHz por división con la ayuda de los controles [↑] y[↓] del panel de control.

l) Pulse el control [APPL], del menú que se observa elija la opción 7 (FM DEVIATION MODE) y vuelva a presionar [APPL].

m) En la pantalla se visualizará la desviación de frecuencia como un conjunto de líneas verticales que sufren variaciones de frecuencia en función del tiempo.

n) Puede cambiar el factor de escala vertical (en KHz) presionando sucesivamente la tecla 10/5/1.

o) Para chequear la desviación máxima, seleccione la escala para un factor de 10KHz/div, y usando el control [DSPL] seleccione la opción 9 y luego W para seleccionar el modo MIN HOLD IN WFM A. Visualizará en el centro de la pantalla una línea horizontal que con peaks asociados a la magnitud de la desviación.

p) Espere un tiempo de 2-3 minutos.

q) Pasado este tiempo lea los valores de los peaks que indican la desviación máxima de frecuencia.

r) Obtenga el BW mediante la aproximación válida para señales de FM: $BW = 2 \cdot \Delta f$.

s) Compare resultados con las recomendaciones situadas en el Anexo B3 del Plan de Radiodifusión Televisiva.

4.3.3 Medición del nivel de recepción de las portadoras

Alternativa 1 (Analizador de Espectros)

e) Sitúese en la frecuencia de transmisión de la portadora de video.

f) Presione el control MKR/Δ/OFF una vez, para activar el marcador (punto en la pantalla), que aparecerá en el peak de la señal.

g) Lea los datos en la esquina superior derecha de la pantalla. No olvide que la unidad de medida por defecto para la medición de señales es el dBm.

h) Para cambiar la unidad de referencia, presione el control [INPUT]; seleccione la opción 3 (REF LEVEL UNIT) y elija las unidades. Repita este procedimiento para medir el nivel de la señal en dBmV, dBV, dBμV, dBμW. Registre estos datos.

Alternativa 2 (Monitor de Servicio)

h) Cambie la antena de referencia y conecte al jack del instrumento.
i) Encienda el monitor de servicio, el cual luego del autotesteo, quedará listo para operar.
j) Pesione la tecla REC, para activar el modo de recepción de señales del equipo.
k) Introduzca la frecuencia de la portadora de sonido con la ayuda del teclado, seguido de ENTER. La frecuencia seleccionada se mostrará en el LCD de la derecha.
l) Sitúe el control de SQUELCH (silencio) al mínimo. Ajuste el control VOLUME en un nivel adecuado.
m) Presione la tecla REC LEVEL y anote el dato entregado. Si desea cambiar la unidad de medida de dBm a μV presione sucesivamente el control REC LEVEL.
n) Repita puntos a) al h) esta vez para la medición en la señal de audio.

4.3.4 Relación entre portadoras de video y audio

Esta medición busca establecer la relación en potencia existente entre las portadoras mencionadas; para ello existen dos alternativas.

Alternativa 1

a) Ubique ambas portadoras dentro de la pantalla mediante la selección de un valor de SPAN adecuado.
b) Ajuste el nivel de referencia para buena señalización (control REF LEVEL)
c) Observe los cuadros de la grilla que separan ambas señales y multiplíquelos por el factor de ganancia. Con esto obtendrá la relación en dB.

Alternativa 2

a) Repita los pasos a) y b) planteados en la Alternativa 1 para una correcta visualización de ambas portadoras.
b) Presione una vez el control de MKR/Δ/OFF. Deberá aparecer al costado derecho de la pantalla la letra M seguido de la frecuencia en que se encuentra posicionado el marcador.
c) Sitúe con la perilla de FREQ/MKRS el marcador en la frecuencia de portadora de video.
d) Presione nuevamente MKR/Δ/OFF, ahora activará el modo Δ reflejado en la aparición de una D al costado derecho de la pantalla.
e) Gire la perilla de ajuste FREQ/MKRS, observe como se mueve un segundo cursor y ubíquelo en la cresta de la portadora de audio.

f) Lea los valores a la derecha de pantalla. Aquí se verán la distancia en frecuencia entre las portadoras (cercano a 4.5MHz) y la diferencia de potencia entre ambas. Registre y compare datos con los obtenidos con el método anterior.

Informe:
Deberá incluir los datos de los instrumentos utilizados en las experiencias, precauciones o riesgos en la medición, recomendaciones de uso, tabla de valores obtenidos y conclusiones para cada caso.

Investigar e incorporar en informe:

- Bajo que norma se transmiten las señales de TV en nuestro país.

Sugerencia: Visitar http://www.subtel.cl y descargar *Plan de Radiodifusión Televisiva*.

Universidad Austral de Chile
Instituto de Electricidad y Electrónica

Asignatura : Sistemas de Radiofrecuencias
Prof. Responsable : Sr. Franklin Castro Rojas
Nombre Experiencia : ***PERFORMANCE DE TRANSCEPTORES***

1. MARCO TEORICO.

El transceptor es una unidad que combina las funciones de transmisión y recepción, permitiendo la operación semiduplex en un solo canal con sustancial reducción del coste y de la complejidad al mismo tiempo que se facilita considerablemente la operación. El transceptor se ha generalizado especialmente para servicio móvil en casos en que sean consideraciones especiales la reducción de volumen, de peso y de consumo de energía.

En la presente experiencia, se pondrá bajo análisis un transceptor de comunicaciones para visualizar a través de las diversas pruebas, el desempeño en un sistema de comunicaciones. Se hará empleo de los diversos equipos de medición para obtener el performance del equipo, reflejado en los resultados de los parámetros a evaluar.

2. PRACTICA DE LABORATORIO

2.1 Objetivo General

Con el empleo de los instrumentos adecuados, evaluar el performance de diversos transceptores de comunicaciones.

2.2 Objetivos Específicos:

- *Establecer una metodología de trabajo adecuado que permita identificar la calidad de un equipo receptor.*
- *Comprobar las especificaciones entregadas por el fabricante mediante mediciones en equipos bajo prueba.*

3 Instrumentos a utilizar:

Analizador de Espectro			
Marca	**Modelo**	**N° de serie**	**Rango de Frecuencias**
Tektronix	2711	B041472	9KHz a 1.8GHz

Monitor de Servicio				
Marca	**Modelo**	**N° de serie**	**Rango de Medición**	**Rango de Frecuencias**
Wavetek	2100	9118018		400Khz a 999.9999MHz

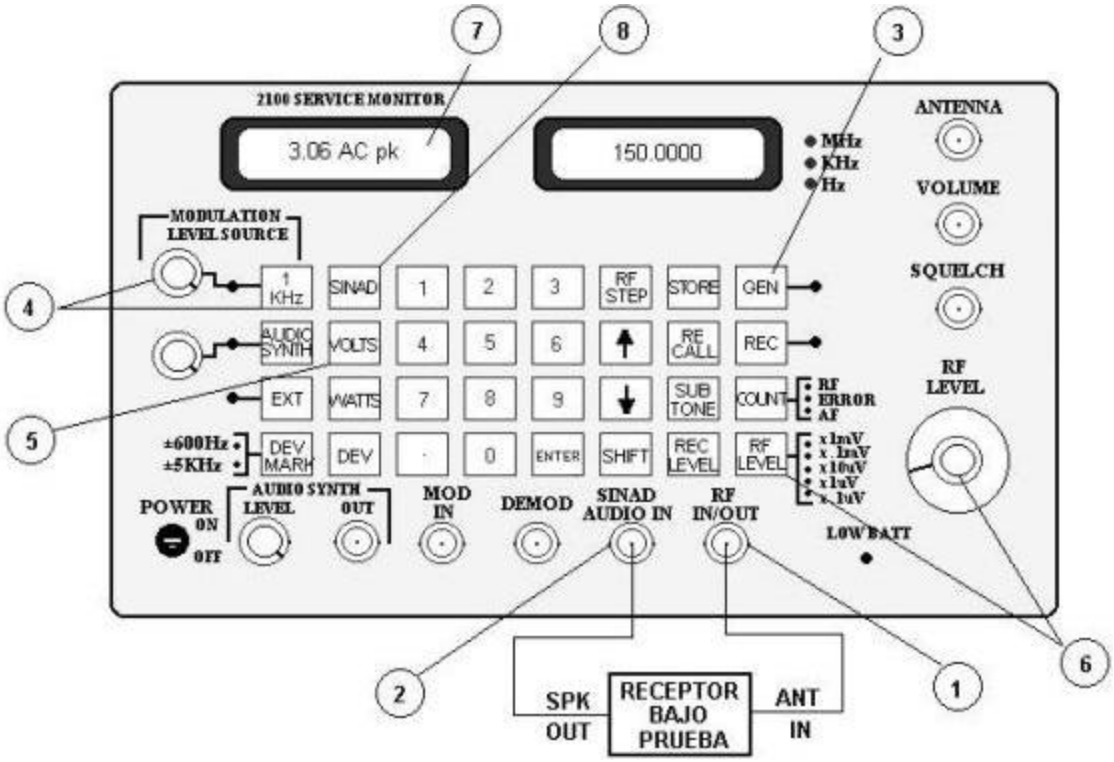
Contador de Frecuencias

Marca	**Modelo**	**N° de serie**	**Rango de Frecuencias**

4. PROCEDIMIENTO

4.1 Distorsión de audio en el receptor

Un factor importante en la alineación de las propiedades de un receptor es conocer la distorsión de la señal de audio recuperada y procesada. Si existen problemas en el circuito de audio causando alta distorsión, la prueba de 12dB SINAD no será válida puesto que el SINAD combina el factor de distorsión con la señal y ruido para una sensibilidad determinada.



1. Conecte el puerto de conexión de antena del receptor bajo prueba al conector de RF IN/OUT del monitor de servicio.
2. Conecte la etapa de salida de audio o los terminales de altavoz del receptor al SINAD AUDIO IN.
3. Seleccione el modo GEN.
4. Seleccione la opción de 1KHz y ajuste el control de nivel de 1KHz para una desviación máxima de 60%. Por ejemplo ajústela a 3KHz si la máxima desviación permisible es 5kHz.
5. Seleccione el modo VOLTS.
6. Ajuste el control de nivel de RF para estabilizar completamente el receptor (1mV)
7. Ajuste el volumen del receptor para una razón de audio completa. Usando las características de voltímetro y la fórmula:

Potencia de Audio= $\frac{V^2}{2r_{spk}}$, donde: V= voltaje del altavoz

R_{spk}= impedancia del altavoz

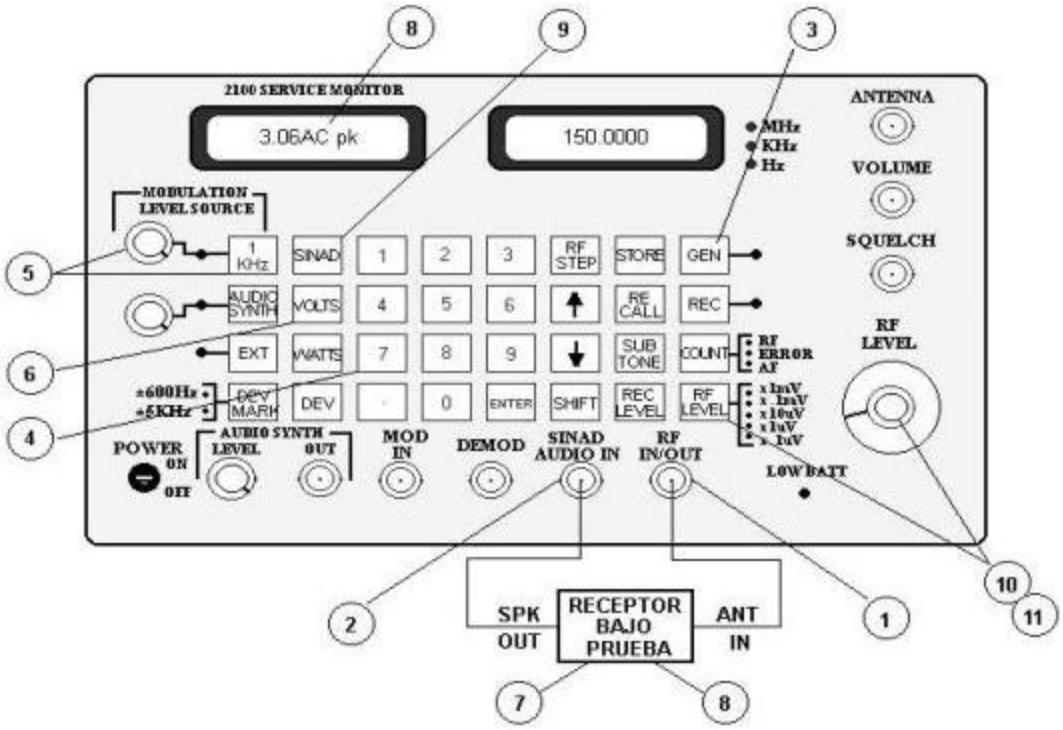
Presione el botón SINAD una o dos veces según sea lo requerido para obtener la medida de distorsión en forma directa expresada en porcentaje (%).

4.2 Sensibilidad

Es la capacidad de un receptor de recibir señales débiles y poderlas reproducir sin distorsión y con un valor de relación señal a ruido lo mayor posible.

La sensibilidad es importante porque, junto a la potencia de transmisión, determina el alcance que se pueda conseguir. Se mide en microvoltios (µV). Será mejor cuanto más pequeño sea su valor. Siempre aparece en relación a una señal de audio de 12 dB (es el nivel estándar de «las mejores condiciones», en la que se valora en la medición la intensidad de la señal, el ruido y la distorsión (SINAD), por eso se dice que un equipo tiene «X µV (12 dB SINAD)».

Este ensayo se realiza en condiciones normalizadas para que los valores obtenidos sean válidos en cualquier lugar y tiempo y sirvan de comparaciones entre receptores. Emplearemos el monitor de servicio Wavetek 2100. El modelo 2100 realiza rápidamente las medidas de SINAD y despliega el resultado al dB más cercano. Esto permite que el usuario sintonice rápidamente los receptores para un óptimo funcionamiento. Los pasos a seguir se describen a continuación.



1. Conecte la entrada de RF (puerto de antena) del receptor bajo prueba al jack de RF IN/OUT del monitor de servicio.
2. Conecte a la entrada SINAD AUDIO IN la salida del altavoz del receptor. Si utiliza el conector del altavoz externo y él desconecta el altavoz interno, utilice para sustituirlo una carga de la misma impedancia.
3. Seleccione el modo GEN.
4. Programe la frecuencia del receptor en MHz usando el teclado numérico seguido por la tecla ENTER.
5. Seleccione la función de modulación de 1KHz y ajústela para una desviación máxima del receptor de 60% usando el control de nivel de 1KHz. Por ejemplo, si la desviación máxima del receptor está especificada como 5KHz, entonces la desviación de prueba será:

$$5KHz \cdot 0.6 = 3000Hz$$

6. Seleccione el modo AC pk VOLTS.
7. Abra el control de squelch (silencio) del receptor.
8. Seleccione el volumen del receptor para alcanzar la máxima potencia de audio, especificada por el fabricante del equipo. Use el voltímetro interno para determinar la potencia de audio usando la formula:

Potencia de Audio= $\frac{V^2}{2r_{spk}} = \frac{V^2(RMS)}{r_{spk}}$ (onda seno), donde: V= voltaje del altavoz

r_{spk}= Impedancia del altavoz

9. Seleccione la función SINAD para una lectura en dB.
10. Ajuste el rango de nivel de RF y el vernier (ajuste fino) para una lectura de SINAD de 12 dB.
11. La sensibilidad del receptor es expresada como los mV fijados en el dial de nivel de RF.

4.3 Selectividad

Es la capacidad que tiene un receptor de aceptar una señal y rechazar a todas las demás que llegan a la antena. Cuantitativamente la selectividad se expresa a través de un gráfico que representa la relación entre la tensión de entrada fuera de resonancia y la tensión de entrada en resonancia.

Para obtener este gráfico, se sintoniza el receptor a la frecuencia de referencia y se ajusta la salida normalizada del generador para obtener la potencia normalizada. Luego, la salida del generador se desplaza valores predeterminados por encima y por debajo de la frecuencia de referencia, y se ajusta para cada frecuencia el nivel de salida del generador hasta obtener los valores de potencia normalizada.

La normalización del proceso se efectúa inyectando una señal modulante al 30% con un tono modulante de 400Hz, produciendo una potencia de salida determinada. Esta potencia normalizada esta especificada de acuerdo a la potencia máxima establecida para el receptor.

P_{ON} (normalizada)= 50mW para receptores de 100mW<Po<1W.

P_{ON} (normalizada)= 500mW para receptores de Potencia de salida mayor que 1W.

1. Inyecte a la entrada de audio del receptor una señal con tono modulante de 400Hz modulada al 30%. Para esto seleccione la señal portadora en una frecuencia dentro del rango de trabajo del equipo receptor.
2. Sintonice la frecuencia de recepción del equipo a la frecuencia de la portadora.
3. Ajuste la salida del generador hasta conseguir la potencia de salida normalizada en el receptor la que visualizará en el panel frontal del monitor de servicio. Tabule el valor de μV obtenidos conmutando el botón de VOLTS del monitor de servicio.

4. Proceda a efectuar continuas variaciones en la frecuencia de la portadora en pasos de ±10KHz respecto de f_o. Para cada nuevo valor ajuste la salida de RF del generador hasta lograr la potencia de salida normalizada.
5. Registre los valores de μV desplegados en el monitor de servicio para cada nuevo valor de frecuencia de portadora. Tabule valores.
6. Represente gráficamente la relación entre el nivel de amplitud de frecuencia fuera de resonancia al nivel de la frecuencia en resonancia (γ).

$$\gamma = \frac{\text{Nivel fuera de resonancia [}\mu V\text{]}}{\text{Nivel en resonancia [}\mu V\text{]}}$$

4.4 Estabilidad de Frecuencia

La estabilidad de frecuencia es la habilidad de un oscilador para permanecer a una frecuencia fija y es de máxima importancia en los sistemas de comunicaciones. La estabilidad de frecuencia a menudo se considera de corto a largo tiempo. La *estabilidad a corto tiempo* se ve afectada principalmente por las fluctuaciones en los voltajes de operación de cd, mientras que la *estabilidad a largo plazo* es una función de la edad de los componentes y los cambios de temperatura así como la humedad del ambiente.

La estabilidad de frecuencia se da generalmente como un porcentaje de cambio en frecuencia (tolerancia) del valor deseado. Las estaciones comerciales de radiodifusión en FM deben mantener sus frecuencias portadoras dentro de ±2KHz de su frecuencia asignada, que es aproximadamente una tolerancia de 0.002%. En la radiodifusión comercial en AM, el cambio máximo permisible en la frecuencia portadora es sólo ±20KHz.

En este ensayo pondremos a prueba la estabilidad de frecuencia del equipo en su modalidad de transmisión, para ello se efectuarán los siguientes pasos:

1. Conecte a la salida del equipo transmisor una carga resistiva adecuada, insertando entre ambos el wattmetro de radiofrecuencias.
2. Retire la capsula de medición del wattmetro e incorpore en su lugar el contador de frecuencias TRIO.
3. Encienda el equipo transmisor y déjelo operar por un periodo de 15minutos para alcanzar las condiciones normales de funcionamiento.
4. Efectúe transmisiones de portadora sin modular en intervalos regulares de 1 minuto por un periodo de 15 minutos.
5. Anote las lecturas de frecuencia entregadas por el equipo contador de frecuencias.

4.5 Emisiones no esenciales

Las emisiones no esenciales son en rigor cualquier emisión que genere el equipo transmisor que no corresponda a la información a transmitir. Consideramos dentro de esta categoría a los armónicos, los cuales son señales espaciadas en un factor n respecto de la fundamental.

1. Conecte a la salida del equipo transceptor la carga fantasma, intercalando entre ella y él un wattmetro de inserción.
2. Retire la cápsula de medición del wattmetro y tome una muestra de la señal de RF metiéndola al analizador de espectros mediante los conectores adecuados.
3. Sintonice el analizador de espectros a la frecuencia de transmisión del equipo de comunicaciones.
4. Encienda el equipo transmisor y procure darle un tiempo de calentamiento de 15min para emular condición de trabajo.
5. Antes de transmitir y con la frecuencia de operación ya definida calcule las frecuencias de los armónicos. Para ello multiplique la frecuencia de la portadora por n.
6. Transmita y visualice el espectro de salida de la señal mediante observación directa en el analizador previamente calibrado a la frecuencia de transmisión.
7. manteniendo el equipo transmitiendo, desplácese en el espectro sintonizando las frecuencias de armónicos. Si observase armónicos proceda a medir el nivel de la señal. Tabule valores.

Universidad Austral de Chile
Instituto de Electricidad y Electrónica

Asignatura : Sistemas de Radiofrecuencias
Prof. Responsable : Sr. Franklin Castro Rojas
Nombre Experiencia : ***SUPERVISIÓN EN TERRENO DE RADIOEMISORA FM***

1. INTRODUCCION.

Debido a que el espectro radioeléctrico es un espacio limitado, la emisión de señales al espacio no está libre de controles por parte de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, los cuales son generalmente encargados a Ingenieros del área de Telecomunicaciones. Reviste entonces gran importancia el manejar esta información y el esquema de trabajo para realizar estas labores.

Esta experiencia contempla la medición de parámetros de calidad en la Radioemisora de la Universidad Austral de Chile, la cual emite sus señales dentro de la banda de 88-108MHz en frecuencia modulada.

El trabajo consiste en aplicar los conocimientos adquiridos en laboratorio, relacionados con la medición de los parámetros básicos de FM con ayuda del analizador de espectros y efectuarlos esta vez en la planta de transmisión, considerando todos los detalles y precauciones que contempla el trabajo en terreno. Como guía de trabajo se empleará el *FORMULARIO DE ANTECEDENTES GENERALES DE RADIODIFUSIÓN SONORA* emitido por la SUBTEL, donde el alumno deberá apuntar los datos de tipo general, del concesionario, como aspectos técnicos de los equipos, destinados a la presentación de su informe final.

2. PRACTICA DE LABOPRATORIO

2.1 Objetivo General

Efectuar mediciones en terreno que describan el cumplimiento de la normativa vigente por parte de una emisora de broadcast FM.

2.2 Objetivos Específicos:

- *Completar el Formulario de Antecedentes Generales de Radiodifusión Sonora.*
- *Establecer una metodología de trabajo que considere los riesgos y precauciones a tener con el equipamiento de trabajo.*

2. **Instrumentos a utilizar:**

Analizador de Espectro			
Marca	**Modelo**	**N° de serie**	**Rango de Frecuencias**
Tektronix	2711	B041472	9KHz a 1.8GHz

4. DESARROLLO.

ANTES DE REALIZAR MEDICIONES PROCURE PROPORCIONAR AL ANALIZADOR DE ESPECTROS UN TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE 15min, DE ACUERDO A LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE, PARA OBTENER EL MAXIMO PERFORMANCE DEL EQUIPO.

Para efectuar el análisis de la radioemisora, conecte la sonda del analizador de espectros en el conector BNC dispuesto en el amplificador de potencia para obtener la muestra de RF. Observe que el equipo transmisor también cuenta con un conector para dicho propósito. La muestra de RF puede tomarse indistintamente de ambos equipos, esto porque los valores nominales de las muestras obtenidas están normalizadas a 0dB.

Las mediciones que se deberán realizar se enumeran a continuación seguidas de la forma de efectuarlas.

4.1 ANCHO DE BANDA

1.Presione el control [APPL] y seleccione la opción 9 (TABLE SETUP).

2. A continuación presione la opción 0 del menú e ingrese con el teclado el número de dBs bajo la portadora donde desea medir el ancho de banda. Por ejemplo para –3dBc oprima 3+[Z].

3. Presione nuevamente [APPL] para volver al modo de visualización espectral.
4. Nuevamente presione [APPL]+0. A la derecha de la pantalla lea el BW.
5. Repita los pasos 1 – 4 para las mediciones a –25 y –35dBc.

4.2 NIVEL DE ARMONICOS

Los armónicos son aquellas señales que se encuentran desplazadas en múltiplos de la fundamental y que poseen la misma información que ella.

Para la medición del nivel de los armónicos siga los siguientes pasos:

1. Calcule las frecuencias de los 10 primeros armónicos, multiplicando la frecuencia fundamental por n y apúntelos en un papel.
2. Sitúese en la frecuencia portadora y proporcione un nivel de señal adecuado mediante el control REF/LEVEL hasta lograr que el peak de la portadora se ubique en 0dB, es decir que alcance el borde superior de la pantalla. **Una vez conseguido esto no realice ningún ajuste más al REF/LEVEL hasta realizar las mediciones de los 10 armónicos.**

3. Sintonice la frecuencia del segundo armónico. Para ello ingrese la frecuencia con el teclado numérico seguido de la tecla [X] que es el multiplicador de los MHz
4. Por observación directa localice el peak del armónico y con la ayuda de las cuadrículas de la pantalla y los valores indicados al costado de ella, evalúe el número de dBs bajo la fundamental.
5. Repita este procedimiento hasta el décimo armónico repitiendo los pasos 2-4.

4.3 RADIACIONES NO ESENCIALES.

Las radiaciones no esenciales consisten en cualquier señal situada entre armónicos que no sean producto de las emisiones generadas por la estación transmisora de radiodifusión.

1. Sitúese en la frecuencia fundamental de la estación.
2. Ajuste el SPAN/DIV de modo adecuado que le permita observar la fundamental más los armónicos.
3. Recorra con la ayuda del FREQ/MKRS visualizando la presencia de cualquier señal entre armónicos.
4. Si estas existiesen, nuevamente lleve la portadora a 0dB y localice las radiaciones no esenciales para efectuar las mediciones de dBc (Use la metodología explicada en los puntos 2-4 para la medición de armónicos).
5. Si no encuentra radiación no esencial informe mediante la palabra: *NO PRESENTA* en la sección correspondiente del formulario.

4.4 ATENUACION A CANAL ADYACENTE

Realice el siguiente procedimiento.

1. Localícese en la frecuencia fundamental (frecuencia de la portadora).
2. Presione el control MKR/Δ/OFF hasta que aparezca el marcador en pantalla. Puede comprobarlo observando la letra M que aparece en la esquina superior derecha de la pantalla del instrumento. Procure que el marcador este ubicado en la frecuencia de la portadora, si no es asi, desplácelo con la ayuda el FREQ/MKRS.
3. Presione nuevamente MKR/Δ/OFF, lo que activará el modo Δ que se aprecia por la aparición de la letra D a la derecha del display.
4. Desplace este segundo marcador a ±200KHz respecto de la fundamental visualizando el valor del delta en la esquina derecha. Anote el valor en dB allí mostrado, el cual indica

la diferencia en dB entre la fundamental y la frecuencia seleccionada. Repita el procedimiento para todos los valores especificados en el formulario.

5. GUIA PARA EL LLENADO DE FORMULARIO FRS-G

5.1 IDENTIFICACIÓN DEL CONCESIONARIO

Complete estos datos solicitando la información al concesionario de la estación radioemisora o en su defecto al técnico encargado. Individualice correctamente al técnico responsable.
El resto de los datos solicitados en la hoja 1/5 son de carácter general.

5.2 ASPECTOS TÉCNICOS

Tome en forma clara y detallada los datos de los equipos solicitados: Consola, Procesador de Audio y Generador Stéreo. Identifique marca y modelo.

5.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD

Deberá describir tipo de construcción, tipo de iluminación y la existencia de Tierra de Servicio.

Tierra de Servicio: deberá existir conexión física de los equipos mediante conductor o malla de sección adecuada a tierra para proteger a los operadores ante eventuales fallas a masa de los equipos.

5.4 ENLACE ESTUDIO PLANTA-TRANSMISORA

Si la planta transmisora se encuentra alejada de los estudios, deberá existir un enlace estudio-planta transmisora. Si no existe enlace, deberá mencionarlo y no escriba nada en los cuadros siguientes.

5.5 TRANSMISOR DE ENLACE

Deberá apuntar los datos solicitados de marca, modelo, frecuencia de operación, potencia, más las mediciones de niveles de armónicas, desviación de FM, radiaciones no esenciales[1]

[1] La forma de efectuar las mediciones realícelas con ayuda del punto 2.

5.6 ANTENA DE ENLACE TRANSMISORA

TIPO: describa si es tipo anillo, yagi, logperiódica, etc.

POLARIZACION: la forma de polarización de la antena (circular, vertical, horizontal, etc)

GANANCIA: ganancia referida al dipolo.

N° ELEMENTOS: nro de elementos radiantes.

5.7 ACCESO PLANTA TRANSMISORA

Complete con los datos de dirección de la planta, comuna, región, fono, coordenadas geográficas.

5.8 ENLACE ESTUDIO PLANTA TRANSMISORA

Si no existiese enlace menciónelo y pase al punto siguiente.

Si existe complete los siguientes datos:

3.8.1 RECEPTOR: marca, modelo, frecuencia de operación.

3.8.2 ANTENA DE ENLACE RECEPTORA: guíese por el punto 4.3.

5.9 ASPECTOS TÉCNICOS EQUIPO TRANSMISOR

MARCA: Indique la marca del equipo

MODELO: indique el modelo del equipo.

MUESTRA RF: señale si posee conector para la obtención de una muestra de RF.

FILTRO INTERNO: señale si el equipo cuenta con filtro interno.

FILTRO EXTERNO: indique si aparte del filtro interno del equipo, este se conecta a un filtro externo y dispuesto a sus cercanías.

TIPO: menciona el tipo de filtro empleado en el equipo.

BASTON DE DESCARGA: señale si en la sala de equipos existe un bastón aislante que permita la descarga de los condensadores del equipo para efectos de mantención.

TAPAS DE ACCESO: el equipo cuenta con tapas de acceso que lo protejan de manipulaciones de terceras personas.

TIERRA DE PROTECCIÓN: conexión física por medio de conductores adecuados para la descarga de fallas a masa desde el equipo hacia la tierra del sistema eléctrico.

POTENCIA DE OPERACIÓN: Potencia a la cual esta operando la estación radioemisora.

FRECUENCIA DE OPERACIÓN: frecuencia asignada a la portadora de la radioestación.

DESVIACIÓN DE FRECUENCIA. (Ver punto 2)

ANCHO DE BANDA: (Ver punto 2)

5.10 INSTRUMENTOS PARA MEDIDAD DIRECTAS

El equipo amplificador de la Radio UACh cuenta con un selector para efectuar las mediciones en el instrumento, por simple selección en el conmutador.

POTENCIA DIRECTA: leída del instrumento del equipo amplificador (Watts)

POTENCIA REFLEJADA: leída del instrumento del equipo amplificador (Watts):

VOLTAJE ETAPA FINAL: leída del instrumento del equipo amplificador (Watts)

CORRIENTE ETAPA FINAL: leída del instrumento del equipo amplificador (Watts)

5.11 ATENUACION CANAL ADYACENTE

(Ver punto 2)

5.12 NIVEL DE ARMONICOS

(Ver punto 2)

5.13. RADIACIONES NO ESENCIALES

(Ver punto 2)

5.14 SISTEMA RADIANTE

Deberá incorporar información de tipo, n° de elementos de la antena, ganancia del sistema, polarización, radiación (guíese por punto 3.6)

BALIZAS OPERATIVAS. Indique si la antena cuenta con balizas en lo alto de la torre.

CERCO DE PROTECCIÓN: Señale si el sistema radiante está cercado impidiendo el acceso a personar extrañas.

PINTURA TORRE: indique si la torre esta correctamente pintada.

LETRERO PELIGRO: señale la presencia de señalética que indique el peligro en las cercanías del sistema radiante.

5.15 EQUIPO TRANSMISOR DE RESPALDO.

Si la radioemisora no cuenta con equipos de transmisión de respaldo señálelo y no complete la información solicitada.

Por el contrario si posee equipo de respaldo ante eventuales fallas, complete de acuerdo a lo señalado en el punto 3.9.

5.16 TIPO DE TORRE

AUTOSOPORTADA: Si es que no posee tirantes (vientos).

VENTADA: si es que presenta tirantes que le proporcionan firmeza ante remezones por viento

ALTURA DE TORRE. Expresada en mtos.

ALTURA CENTRO DE RADIACIÓN. Altura que se encuentra la antena.

TORRE COMPARTIDA: Si es que en la misma torre subsisten mas de un sistema radiante con diversos fines. Si es así enumérelos.

5.17 CASETA DE TRANSMISIÓN.

Complete los datos generales del tipo de construcción de la caseta, de la instalación eléctrica, iluminación, ventilación, extintores.

Capitulo VIII. Conclusiones

La necesidad de comunicarse, inherente al ser humano, ha llevado a la constante búsqueda de nuevas formas de comunicación.
Con el correr de los tiempos, han sido múltiples las tecnologías que han dado solución a esta necesidad. Así es como, producto del vertiginoso desarrollo del área de la Electrónica y las Telecomunicaciones, las cuales se han potenciado conjugándose en una sola, han ido cada vez tomando mas fuerza las alternativas inalámbricas por las potencialidades que ellas presentan. Dadas estas circunstancias, se hace cada vez más valioso el correcto aprovechamiento del limitado espectro radioeléctrico, en el cual deben convivir, únicamente resguardados por las correspondientes bandas de guarda, numerosas señales de información, todas ellas valiosas para el destinatario final.
Es por ello, que reviste gran importancia la existencia de un ente regulador que controle el empleo de este preciado recurso de las Telecomunicaciones.

Considerando lo anterior, y viendo que el quehacer del nuevo profesional de la Ingeniería Electrónica radica precisamente en estas nuevas tecnologías, la presente Tesis se ha concebido como un pequeño gran aporte al fortalecimiento de las materias relacionadas a las comunicaciones inalámbricas, proporcionando información y experiencias de laboratorio que permitan volcar los conocimientos del alumnado a situaciones reales.

Por otro lado, el manejo de los instrumentos de medición destinados en el laboratorio de Radiofrecuencias, considera un valor agregado para el alumno, debido a que son equipos de uso común en las empresas de Telecomunicaciones por la robustez y eficacia en la medición de las señales presentes en el espectro radioeléctrico. Esto considera un gran desafío al alumno, pues si bien, aquí se presentan manuales y aplicaciones que consideran el empleo de estos equipos, sus potencialidades son enormes y dependerá del interés del usuario, obtener el máximo provecho de ellos.

En esta Tesis, se consideró un estudio genérico de las propiedades que presentan las señales de radiofrecuencia en las bandas de HF y VHF, haciendo hincapié en las particularidades de cada una, a la vez que se indican sus usos más comunes. Esto debido a que no se considera este trabajo como un apunte final, sino más bien como una guía que complemente la formación

dictada por el profesor de asignatura, presentándose al alumno como una referencia de fácil comprensión.
Es con esta filosofía, que se incorporan materias tales como receptores, modulaciones AM y FM y antenas, las cuales se consideraron para brindar un marco teórico que otorgue una visión general de las partes constitutivas de un sistema de radiofrecuencias.

En el capitulo VII, conjugando las materias sintetizadas en las paginas anteriores, se presentan 5 experiencias de tipo práctico. Estas se van presentando con un nivel creciente de complejidad, de tal forma de ir preparando en forma sistemática al alumno para la sesión siguiente.
Así, se entregan las pautas para medir parámetros tales como potencia de transmisión, ancho de banda, desviación de frecuencia, nivel de señal, armónicos, entre otros, los cuales revelan gran información del estado de transmisión de una emisora bajo estudio. Todos estos son factores regulados por la SUBTEL y normados bajo sus Normas de Radiodifusión.

Para la creación de estas experiencias, se efectuó todo un trabajo previo, en el cual el alumno tesista debió investigar, recopilar, traducir y aprender el manejo de los instrumentos que aquí se consideran, así como estructurar las sesiones enfocando las mediciones a aquellas que permitan evaluar los parámetros regulados por la Subsecretaria de Telecomunicaciones.
Todo el procedimiento fue primeramente ejecutado por el tesista, para luego volcar el procedimiento al papel, lo que asegura que siguiendo en forma rigurosa el orden aquí establecido, se obtendrá los resultados.

La última experiencia planteada consideró una salida a terreno para evaluar el comportamiento de la Radioemisora de la Universidad Austral de Chile, evaluándose en los estudios de transmisión parámetros como ancho de banda, armónicos, potencia, entre otros, a la vez que se procedía a completar el Formulario de Antecedentes de Radiodifusión Sonora que proporciona la SUBTEL para la fiscalización de estas emisoras. Observando los análisis y mediciones tomadas, se puede concluir que la Radio UACh ***cumple*** con todas las exigencias que estipula la reglamentación vigente.
Se entrega en el Anexo 2 los resultados obtenidos de esta fiscalización, lo cual sirve de antecedente para próximas visitas.

Referencias bibliográficas

Textos

[1]. William I. Orr, W6SAI, *Radio Handbook*, Newnes, Twenty-third Edition,1997.

[2]. Angel Cardama A., *Antenas*, Alfaomega, 2000.

[3]. Roger L. Freeman, *Telecommunication Transmisión Handbook*, Wiley Interscience, Third

[4]. Edition, 1991.

[5]. Jerry Withaker, *Standard Handbook of Video and Television Engineering*, McGraw Hill, Third Edition, 2000.

[6]. F. G. Stremler, *Introducción a los Sistemas de Comunicación*, Adisson Wesley Longman, Tercera Edición, 1993.

[7]. Wayne Tomasi, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas,* Prentice Hall, Segunda Edición, 1996.

Manuales

[8]. Tektronix User Manual. *2711 Spectrum Analyzer*.

[9]. Wavetek Operation Manual. *Model 2100. Communications Service Monitor.*

[10]. Bird Instruction Book. *Thruline RF Directional Wattmeter Model 43.*

Normas Técnicas

[11]. Norma Técnica para el servicio de radiodifusión sonora. SUBTEL, 1999.

[12]. Marco Técnico relativo a los Servicios Limitados (modificado). SUBTEL, 1989.

[13]. Plan de Radiodifusión Televisiva. SUBTEL, 1990.

Web de organismos afines

[14]. Subsecretaria de Transportes y Telecomunicaciones: http://www.subtel.cl

[15]. Unión Internacional de Telecomunicaciones: http://www.itu.int/home/index-es.html

WEB de radioafición

[16]. http://arieldx.tripod.com

ANEXO 1

Manuales de Equipos

Tektronix 2711. Características Generales

El Analizador Tektronix 2711 es un analizador de espectros digital de tipo heterodino, válido para el rango de frecuencias 9KHz a 1.8GHz.
El funcionamiento de un analizador de espectros heterodino, Figura 1, es el siguiente: la señal de entrada que se desea analizar es trasladada a una frecuencia intermedia (FI) más alta (en el caso del analizador bajo estudio, es de 2.11GHz) por medio de un oscilador local interno, senoidal y sintonizable. Es decir, a lo largo de cada barrido se desplaza el espectro de la señal de entrada a la frecuencia FI, que es la frecuencia central de la banda de paso de un amplificador sintonizado a la frecuencia FI. La salida del amplificador de FI se mezcla con un oscilador de cuarzo, generándose una información centrada en 0Hz. Esta información se filtra, por medio de un filtro activo, y la salida es rectificada y amplificada por un circuito denominado de medición. En la pantalla se muestra la potencia de salida de la señal asociada a un determinado rango de frecuencias.

La resolución del analizador viene determinada por el ancho de banda del filtro de FI. Sería deseable que el ancho de banda fuese prácticamente nulo para extraer cada componente de frecuencia de la señal, pero esto es imposible. Debido a esta imperfección, si la separación en frecuencia de dos señales es menor que el ancho de banda del filtro FI utilizado el analizador de espectros nos muestra un único armónico de potencia que representa la suma de las potencias de las dos señales. Interesa, por tanto, reducir el ancho de banda del filtro FI lo que conlleva, como ventaja adicional, la disminución de la potencia de ruido introducida.

Al comienzo del diagrama de bloques aparecen un atenuador, un amplificador y un filtro pasabajos. El atenuador y amplificador se introducen con la intención de controlar el nivel de señal aplicado al resto del analizador (si el nivel es demasiado alto, la señal se distorsiona por los circuitos del analizador y, si es demasiado pequeña, la señal puede ser enmascarada por el propio ruido presente en el instrumento) El filtro LP es conocido como *filtro imagen*. Si no se incorporase, podrían entrar en el mezclador frecuencias indeseadas que, posteriormente, serían trasladadas a la FI y provocarían una lectura y medida erróneas.

Para representar la amplitud de los distintos armónicos, se realiza el filtrado pasabajo de la señal proveniente del detector ubicado tras el filtro FI. Este filtro pasabajo es conocido como *filtro de video* y se emplea para suavizar la respuesta que se muestra en el display.

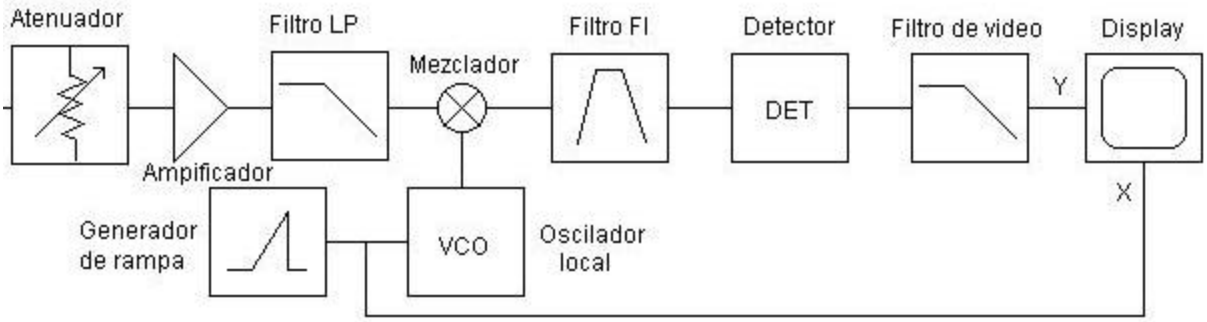


Figura 1. *Diagrama de bloques de un analizador de espectro heterodino.*

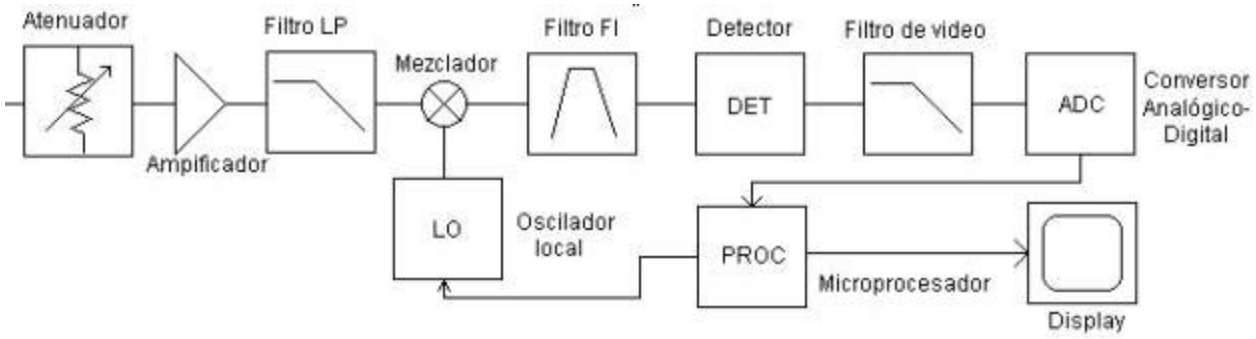


Figura 2. *Diagrama de bloques de un analizador de espectro digital, controlado por microprocesador.*

El paso de tecnología analógica a digital, Figura 2, implica la utilización de microprocesadores y la introducción de displays digitales. En este caso, la salida del filtro FI (o del detector) se convierte a dígitos binarios. Los valores digitales son leídos por un microprocesador que controlará el display digital donde se muestra la imagen y al oscilador local (LO) que gobierna el mezclador del dispositivo.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de bloques del analizador de espectros en estudio, el TEKTRONIX 2711. Puesto que el analizador Tektronix 2711 es un analizador de espectro digital, heterodino y de barrido, existen similitudes con el esquema mostrado en la Figura 3. En este caso, se puede apreciar la existencia de 3 conversiones de frecuencia en cascada. Estas conversiones se realizan para trabajar en una frecuencia intermedia, FI, adecuada. Un valor de FI alto facilita la supresión de las frecuencias imagen pero dificulta la realización de filtros estrechos y detectores de FI. Sin embargo, si el valor de FI es bajo, es posible realizar filtros

estrechos y detectores de forma más sencillos aunque se dificulta, en gran medida, la supresión de frecuencias imagen.

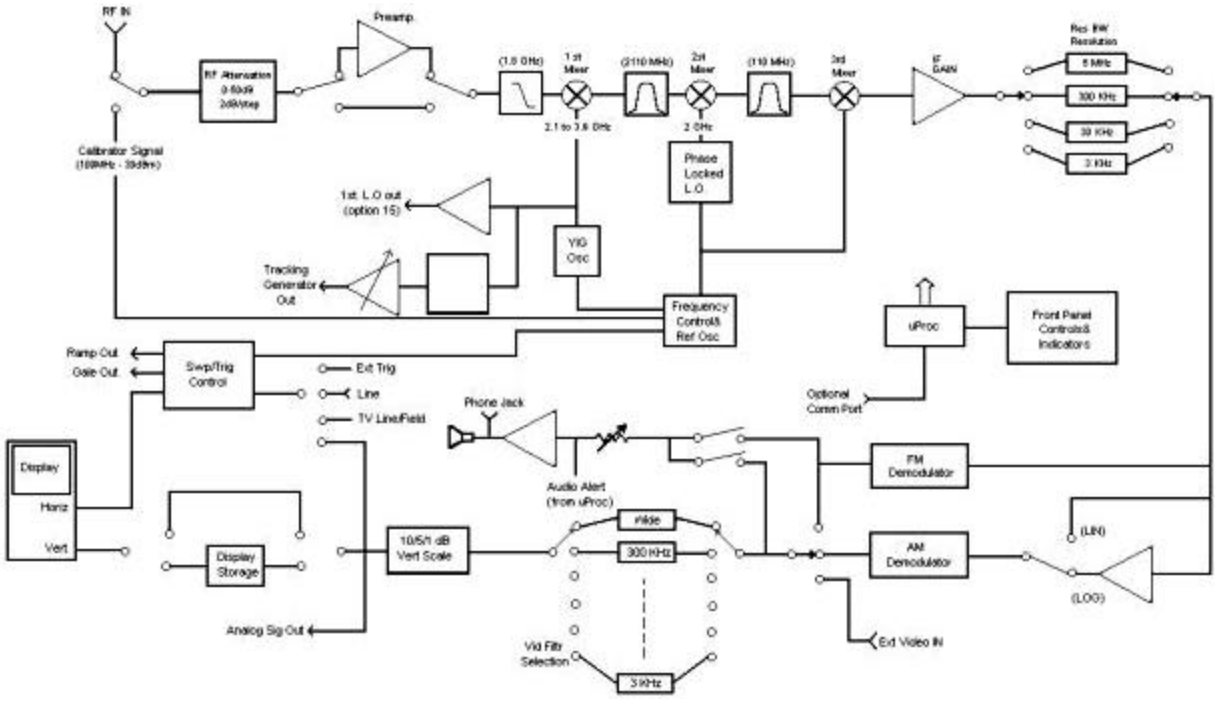


Figura 3. *Diagrama de bloques del analizador de espectro TEKTRONIX 2711.*

Aspectos generales de uso del analizador Tektronix 2711

En los siguientes apartados se detallará cómo utilizar el analizador de espectros Tektronix 2711.

Antes de empezar a describir el manejo del instrumento, es preciso señalar que **NUNCA SE DEBEN INTRODUCIR SEÑALES AL ANALIZADOR DE NIVEL SUPERIOR A 20dBm (100mW ó 2.2Vpp) Y 100VDC**. Por tanto, antes de introducir una señal al analizador de espectro, es preciso asegurarse que ésta no supera los límites admisibles por el equipo.

Por otro lado, todas las características que ofrece el instrumento son válidas a partir de un tiempo de calentamiento del instrumento de, aproximadamente, 15 minutos después de que se hayan realizado todos los pasos de normalización. Estas características son:

- ***Rango de frecuencias:*** 9 KHz - 1.8 GHz.

- ***Precisión:*** 10-5 de frecuencia central, ±5 KHz, ±1 Bit menos significativo.
- ***Resolución de lectura:*** = 1% del span/div para 100 KHz.
- ***Rango de frec. Span/div:*** De 100MHz/div a 10KHz/div en secuencias de 1, 2 y 5 con las teclas de flechas de SPAN/DIV (se puede definir un valor arbitrario con el teclado numérico del panel frontal o el menú de utilidades). Valores especiales: 180MHz/div con MAX SPAN ó 0 MHz con ZERO SPAN.
- ***Bandas laterales de ruido:*** =-70 dBc para anchos de banda =100KHz.
- ***Ancho de banda de resolución:*** 5 MHz, 300KHz, 30KHz y 3KHz.
- ***Filtro de video:*** Reduce el ancho de banda de video aproximadamente 1/100 del ancho de banda de resolución, en modo AUTO. A través del menú de utilidades se pueden seleccionar filtros de 3Hz, 10Hz, 30Hz, 100Hz, 300 Hz, 1KHz, 3KHz, 10KHz, 30KHz, 100KHz, 300KHz y WIDE (completo).
- ***Marcador (marker):*** Marcador de frecuencia y amplitud (las medidas aparecen en pantalla precedidas de una 'M'). Usando el botón FREQ/MKR o las teclas ← e → es posible situar el marcador en cualquier posición del barrido digital.
- ***Marcador Delta:*** Cuando está activo, aparece un segundo marcador (marcador de referencia) a la misma frecuencia que el primero. La diferencia en frecuencia y amplitud entre los dos marcadores aparece en pantalla precedida de una 'D'. Es posible desplazar el marcador como se indicó anteriormente.
- ***Medida central:*** Una vez activa permite que se desplace al centro de la pantalla la señal, por encima de cierto umbral, más cercana a él o, si está activo el marcador, la señal, por encima de dicho umbral, más cercana al marcador.
- ***Rastreo de señal (Track):*** Cuando se activa, el analizador busca continuamente la medida central para mantener dicha señal en el centro de la pantalla.
- ***Visualización vertical:*** En escala logarítmica, 0 dB/div, 5 dB/div y 1 dB/div, y los valores equivalentes en escala lineal.
- ***Nivel de referencia:*** Línea superior de la retícula o pantalla. En modo logarítmico, desde -70dBm hasta +20dBm o desde -23dBmV a +66.9dBmV (en pasos de 1 a 10dB). En modo lineal desde 8.84µV/div a 280mV/div (en pasos de 1, 2 y 5 desde 10µV/div a 280mV/div).
- ***Rango dinámico Display:*** Máximo 80dB en escala logarítmica (8 divisiones en escala lineal).
- ***Rango de Atenuación RF:*** De 0 a 50dB en pasos de 2dB.

- ***Entradas RF:*** Conector hembra tipo N. Impedancia de entrada de 50Ω. Nivel Máx aceptable de entrada: +20dBm (100mW) ó 66.9dBmV (2.2V) y 100VDC.
- ***Barrido:*** 1µs a 2s/div en pasos de 1, 2 y 5.
- ***Tensión de alimentación:*** De 90VAC a 250VAC con frecuencia de entrada de 48Hz a 63Hz y 90VAC a 132VAC con frecuencia de 48Hz a 440Hz.

Además de todas estas características, en el manual del TEKTRONIX 2711 aparecen otras como *sensibilidades* (con y sin preamplificador), *respuestas espúreas, productos de intermodulación, distorsiones, niveles de disparo* (interno y externo), *conectores accesorios* (como RS-232, J103), *niveles de puerta y salida de barrido, memoria no volátil, tiempo de vida de la batería, calibrador interno, accesorios opcionales* (contador de frecuencia, conector de 24 pines, generador de tracking, interfaz RS-232, capacidad de monitor de video) y *requerimientos de potencia* (fusible, potencia de entrada y corriente de fugas). En este manual no se van a tratar, para simplificar, estas otras especificaciones.

El analizador de espectro 2711 es bastante robusto, pero puede ser dañado por alguna causa derivada de un manejo inadecuado del instrumento, como puede ser aplicar una señal demasiado grande a la entrada o fuentes de alimentación incorrectas, permitir humedad, suciedad u otros contaminantes en el interior de la carcasa y ventilar inadecuadamente el equipo.

Por otra parte, cada cierto período de tiempo hay que realizar una comprobación del sistema analizador, principalmente las primeras veces de utilización del instrumento y cuando han ocurrido factores como cambios de temperatura, presión, mucho tiempo sin utilización. Esta comprobación del sistema es conocida como normalización.

La primera acción a realizar para trabajar con el analizador de espectro es enchufarlo. Antes de presionar POWER hay que asegurarse de que no hay ninguna fuente de señal conectada al instrumento y que el cable de corriente está conectado. Una vez enchufado, los LEDs indicadores parpadearán y se escucharán una serie de tonos (*beeps*) mientras el instrumento realiza un autochequeo de encendido. El analizador inicializa sus controles del panel frontal a los valores almacenados en memoria. Si, previamente, se ha utilizado el instrumento estos valores son los últimos utilizados y pueden ser parámetros definidos por el usuario

(almacenados a partir del menú UTIL) o los valores por defecto (valores de fábrica almacenados en ROM interna del analizador) .
Si se emplean los valores predeterminados de fábrica, valores por defecto, se puede empezar a trabajar con el analizador de espectro después del encendido. Si, por el contrario, utiliza una configuración de valores definida por usuario, al comenzar a funcionar aparecen, en pantalla del instrumento, los siguientes mensajes:

- **WAITING FOR USER DEFINED POWERUP** (espera que se cargue la configuración definida por el usuario). El panel frontal permanece bloqueado y no se puede hacer nada hasta que no desaparezca este mensaje. En este intervalo de tiempo, el analizador de espectro modifica los valores de configuración predeterminados de fábrica por aquellos definidos por el usuario.
- **WARMUP TIME 15 MIN** (tiempo de calentamiento 15 min). Se pueden realizar medidas con el analizador tan pronto como se configure el instrumento. Sin embargo, para el correcto funcionamiento (según las especificaciones que fija el fabricante) el aparato necesita un tiempo de calentamiento de 15 min. Si se toman medidas antes de este tiempo de encendido, pueden aparecer errores de medida. El instrumento avisa de este hecho mostrando mensajes en su pantalla, especialmente si se selecciona un intervalo de tiempo -span- o un ancho de banda de resolución del filtro FI más estrecho del que aparece inicialmente en el encendido.

El analizador comienza a funcionar con un valor de atenuación RF, por defecto, de 50dB. Este valor suministra al instrumento la mayor protección puesto que toda señal aplicada a la entrada experimenta la máxima atenuación que se puede programar antes de alcanzar el circuito mezclador. Es recomendable que se emplee este valor cuando se conecten señales de amplitud desconocida al analizador.

La anchura (SPAN) se encuentra fijada a 180MHz por división. Este es el máximo valor posible, lo que queda indicado con la palabra MAX. Es el valor más adecuado cuando se introducen nuevas señales ya que permite visualizar todo el rango de medida del instrumento (1.8GHz). Si empleamos valores de SPAN menores, habrá partes de la señal que quedarán fuera de pantalla. Aún así, es importante recordar que la potencia total de la señal (no sólo la que estamos visualizando, sino la suma total de todas las señales que recibe el analizador) debe

permanecer por debajo de +20dBm. Es posible estudiar un dominio de frecuencia pequeño asociado a la señal de entrada si disminuimos el SPAN y la atenuación programadas (esto acarrea el problema de que dicha atenuación se baja para toda la señal de entrada entrante al analizador de manera que podría darse el caso de que, en la parte de la señal que queda fuera del rango de frecuencia visualizado en la pantalla, tengamos un valor de señal demasiado grande que saturare los circuitos mezcladores, introduzca respuestas espúreas y dañe el mezclador).

Por todo esto hay que tener muy en cuenta los valores de atenuación introducidos al analizador según sea la señal a medir (por regla general, si desconocemos la señal, impondremos máxima atenuación, 50dB).

Pantalla del analizador de espectro Tektronix 2711

Los datos que aparecen en la pantalla al encender el analizador de espectro, Figura 4, son:

- **900MHz**. Frecuencia central de la pantalla del analizador.
- **20.0dBm**. Nivel de referencia. Nivel de potencia que se tiene en la parte superior de la pantalla. Cada división vertical hacia abajo significa una disminución de potencia en tantos dB como se especifica con el factor de escala vertical (a la derecha de la pantalla) que, en este caso, es de 10dB.
- **180MHz/MAX**. Factor de escala horizontal. Cada división horizontal representa una variación, en frecuencia, de dicho valor. En este caso, aparece la etiqueta MAX porque se trata del máximo escalado horizontal posible (permite observar todo el rango de medida del instrumento, 1.8GHz).
- **5MHz**. **RBW**. Ancho de banda de resolución del filtro de FI.
- **ATTN 50DB**. Atenuación de RF. Este valor es que se emplea por defecto (es el que asegura una mayor protección al instrumento). Consigue que, a la entrada del mezclador, no se superen -30dBm, lo que garantiza el óptimo funcionamiento del sistema.
- **VF WIDE**. Ancho de banda del filtro de video (postfiltrado que permite visualizar mejor la señal).

- **10 DB/**. Factor de escala vertical. Cada división vertical representa una variación, en potencia, de dicho valor.

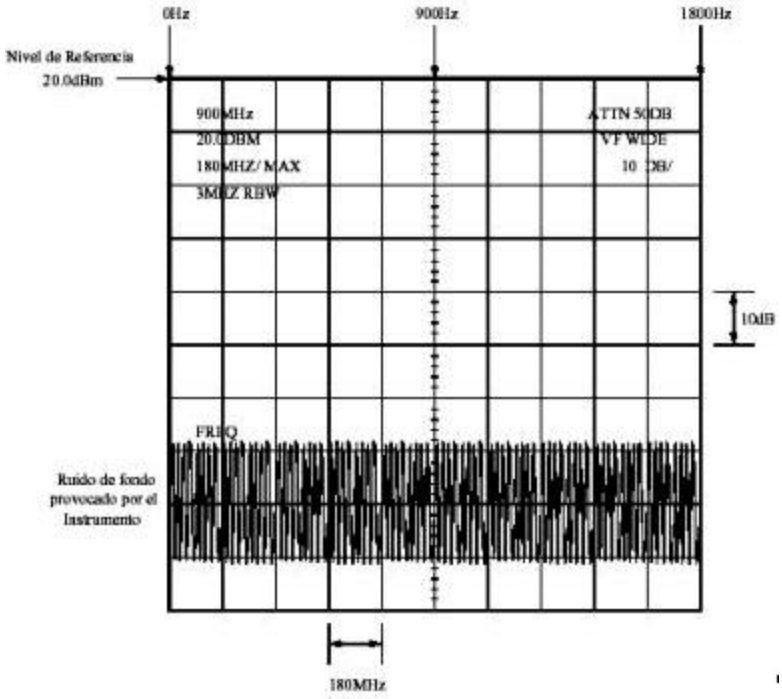


Figura 4. *Pantalla inicial del analizador de espectro Tektronix 2711.*

El espectro que se muestra, inicialmente, representa el nivel de ruido del analizador.
Este nivel de ruido es la amplitud del ruido (que pasa a través del filtro de resolución) generado internamente por el propio instrumento. Si estrechamos el ancho de banda de dicho filtro, el ruido disminuye ya que la potencia de ruido es proporcional al ancho de banda de resolución.

El ruido aparece como una banda ancha e irregular que atraviesa la mitad inferior de la pantalla. El analizador está funcionando en modo digital con presentación de tipo *max/min*. La presentación *max/min* que se hace está destinada a asemejar el funcionamiento digital al analógico (para ver la **presentación analógica**, **presionar [D]**, lo que deshabilita el registro de almacenamiento D -cuando todos los registros están deshabilitados aparece el modo de funcionamiento analógico-). Para obtener la presentación *max/min* se muestrean, en 256 puntos, las amplitudes maxima y mínima del espectro analógico y se dibujan dos conjuntos, intercalados, de 256 puntos (en total se obtiene una gráfica de 512 puntos del espectro que son los puntos que se visualizan en la pantalla del analizador).

Control de la frecuencia central, el nivel de referencia y el intervalo por división (SPAN/div)

Los parámetros que más vamos a manejar en este analizador son la frecuencia (FREQUENCY), el intervalo por división (SPAN/DIV), el nivel de referencia (REF LEVEL) y el ancho de banda del filtro FI. Estos parámetros se podrán variar con los controles situados en el bloque central (de color gris) y con el menú de utilidades (UTIL MENU).

1. Mandos FREQ/MKRS, Figura 5.

- **Peak find**. El cursor (punto luminoso que aparece en la pantalla) se sitúa en el pico de más potencia que haya en la pantalla. En la parte superior derecha de la misma se muestran la potencia y la frecuencia del pico.
- **MKR / ∆ / OFF**.

  - Si se pulsa una vez, aparece un cursor que se puede mover usando la rueda del panel frontal o con las flechas MKR a derecha o izquierda.

  - Si se pulsa una segunda vez, aparecen dos cursores, uno fijo y otro variable. En la parte superior derecha aparecerá la medida diferencial entre los dos cursores.

  - Si se pulsa una tercera vez se volverá a la posición inicial en la que, moviendo la rueda del panel, se desplaza el espectro permaneciendo fijo el cursor en el centro de la pantalla.
- **CRT-MEAS / TRKG**.

  - Si se pulsa una vez se situará en el centro de la pantalla el pico más cercano al cursor (*center measure*).

  - Si se pulsa una segunda vez (*tracking*), el pico se mantendrá en el centro de la pantalla aunque sufra fluctuaciones en frecuencia. Esta opción tiene el mismo efecto que si continuamente se repitiera la operación de [*center measure*].

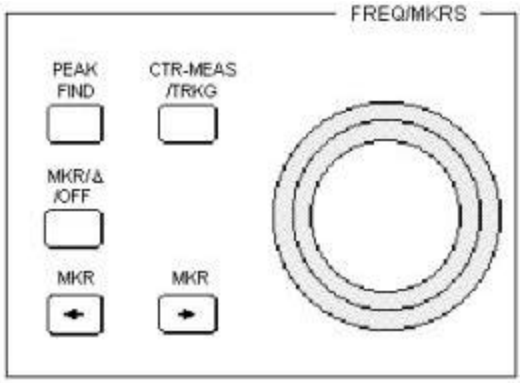


***Figura 5**. Mandos FREQ/MKRS.*

- **FREQUENCY**. Permite variar la frecuencia central de la pantalla. El nuevo valor se puede introducir de tres formas:

  1. Directamente, utilizando el teclado o panel de números, junto con las unidades en que estemos trabajando. La tecla BKSP (*backspace*) se utiliza para borrar el último carácter escrito. El analizador dispone de un rango de 0Hz a 1.8GHz. Por ejemplo, si queremos introducir 100.2MHz como valor de frecuencia central, se debe pulsar la tecla [FREQUENCY] y, posteriormente, las teclas [1]-[0]-[0]-[**.**]-[2]-[X] del teclado.

  2. Pulsando las flechas que se encuentran ubicadas en el frontal junto a [FREQUENCY]. Cada vez que pulsemos una flecha, se obtiene un desplazamiento en frecuencia igual al escalado horizontal que se haya programado.

  3. Moviendo la rueda [FREQ/MKRS]. Cada *click* de la rueda genera un desplazamiento de la frecuencia de 0.02 veces el factor de escalado horizontal. Por ejemplo, si el escalado de frecuencia es de 1MHz por división, cada *click* provoca un desplazamiento de la frecuencia intermedia de 20KHz hacia arriba (si la rueda se gira hacia la derecha) o hacia abajo (si se gira la rueda hacia la izquierda).

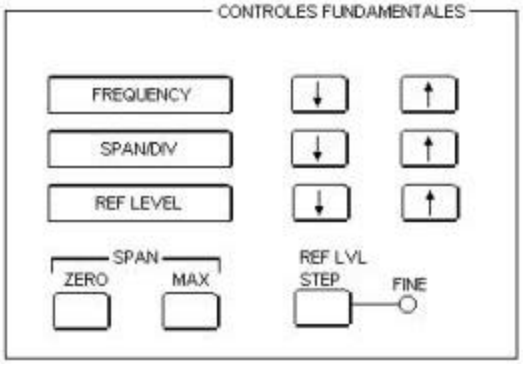


***Figura 6.** Controles fundamentales*

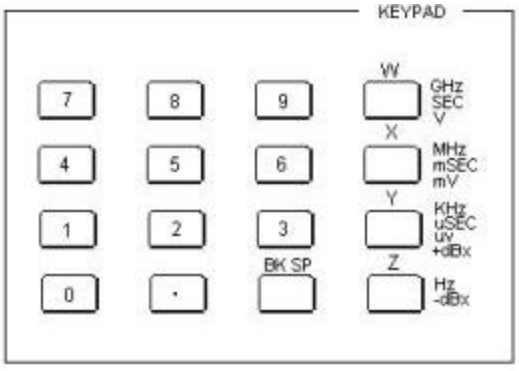


***Figura 7.** Teclado alfanumérico*

- **SPAN/DIV**. Varía el escalado horizontal. Se puede hacer de dos formas:

  1. Directamente, utilizando el panel de números, junto con las unidades en que estemos trabajando. La tecla BKSP (*backspace*) se puede utilizar para borrar el último carácter escrito. El analizador dispone de un rango de 10KHz a 180MHz. Por ejemplo, si queremos introducir un escalado horizontal de 10KHz, se debe pulsar [SPAN/DIV] y, posteriormente, las teclas [1]-[0]-[Y].
  2. Pulsando las flechas situadas junto a [SPAN/DIV]. El escalado horizontal varía, en la secuencia 1-2-5, desde 10KHz hasta 180MHz.

  Se disponen, además, de dos botones que predefinen el SPAN a su valor máximo o mínimo. Estos botones son:

  1. [ZERO]. Si se pulsa una vez se muestra, en el dominio del tiempo, la señal abarcada por el filtro de FI. El cambio de la escala temporal se realiza con las flechas de [RES BW] (se verá posteriormente). Si se pulsa de nuevo, se retorna al dominio de la frecuencia.
  2. [MAX]. Si se pulsa una vez se muestra el espectro completo de la señal (180MHz/div). Si se pulsa otra vez, se vuelve a la situación previa.

- **REF LEVEL**. Varía el nivel de referencia de señal. El nuevo valor se puede introducir de 2 formas:

  1. Directamente, utilizando el panel de números, junto con las unidades en que estemos trabajando (+dBx ó -dBx). La tecla BKSP (backspace) se puede utilizar para borrar el último carácter escrito. El analizador dispone de un rango de +20dBm hasta -70dBm. Este nivel de referencia aparece en el borde superior de la pantalla del analizador. Por ejemplo, si queremos introducir un nivel de referencia de -10dBm, se debe pulsar [REF LEVEL] y, posteriormente, las teclas [1]-[0]-[Y] del teclado.
  2. Además, se dispone del mando [REF LVL STEP] que fija la variación (entre 1dB y 10dB) que se produce al pulsar las flechas asociadas a [REF LEVEL]. El indicador [FINE], ubicado junto a la tecla [REF LVL STEP], se ilumina cuando se selecciona 1dB.

3. Mandos RES BW (ancho de Banda del filtro de FI) y SWEEP CONTROLS (controles de barrido), Figura 8.

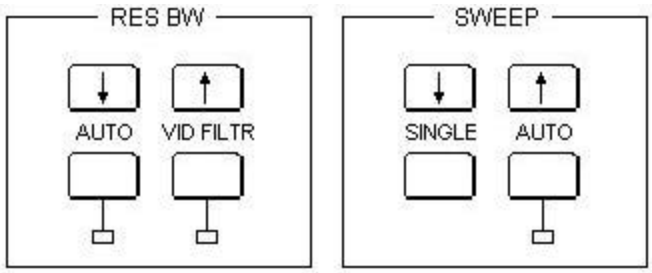


Figura 8. *Mandos RES BW y SWEEP CONTROLS.*

- El ancho de banda del filtro viene indicado en la columna derecha superior del display. Presionando las teclas [↑] ó [↓] de los mandos [RES BW] es posible cambiar, desde 3Hz hasta 300KHz y en pasos de 1-3, la resolución del ancho de banda del filtro FI. Si se presiona la tecla [AUTO], el analizador selecciona, automáticamente, el ancho de banda de resolución apropiado al SPAN que se ha programado (si se presiona de nuevo se desactiva la función de selección automática del ancho de banda).

- Si se presiona la tecla [VID FLTR] (filtro de video) se observa una señal más nítida. Cuando se activa esta función se hace pasar la señal detectada por un filtro de video cuyo ancho de banda es igual al ancho de banda de resolución. El ancho de banda de este filtro de video se puede determinar mediante el menú de utilidades [Menú UTIL].

- Las teclas [.] y [.] de [SWEEP] permiten cambiar, en pasos de 1-2 y 5 desde 2seg./div hasta 1µseg./div, la frecuencia de barrido. En modo analógico, sólo es posible hacer barridos en pasos de menos de 100µseg./div. Si se presiona la tecla [SINGLE], el analizador se configura en modo de barrido único (aparece en la pantalla la indicación SGLSWP MODE y cuando se presiona la tecla es cuando se produce el barrido). Si se programa otros modo de barrido (como puede ser un barrido provocado por alguna señal externa), el barrido comienza con la primera señal de disparo (*trigger*) que recibe el analizador de espectro y, al principio de cada barrido, aparece en pantalla del equipo la indicación SGLSWP ARM. Para salir de estos modos de barrido, incluido el barrido único, hay que presionar la tecla [AUTO] (el analizador selecciona, automáticamente, la frecuencia de barrido de forma apropiada al SPAN que se haya impuesto). Si se

presiona, de nuevo, la tecla [AUTO] el analizador deja de seleccionar, automáticamente, la frecuencia de barrido.

Control de pantalla y entrada RF

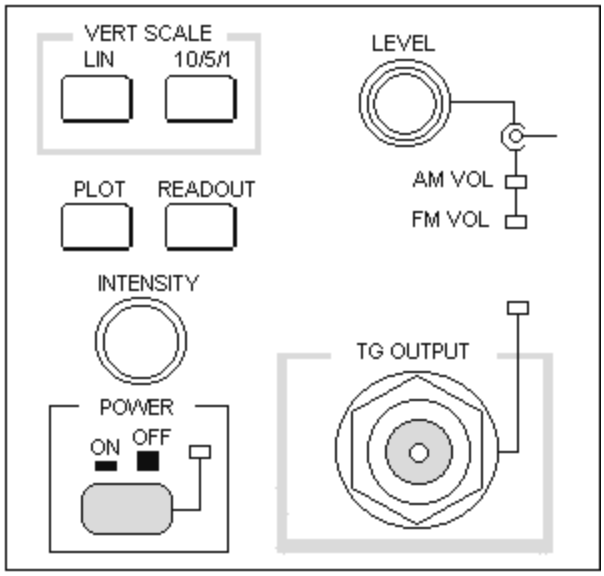
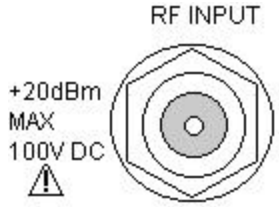


Figura 9. *Controles de pantalla.*

Los mandos de control de la pantalla son:

1. **LIN**. Cambia el modo de visualización vertical de LOG (logarítmico) a LIN (lineal). El factor de escala se controla con los mandos REF LEVEL en modo lineal y por el botón [10/5/1] en modo LOG.
2. **10/5/1**. Controla el factor de escala vertical en modo logarítmico. Pulsando, repetidamente, esta tecla se cambia la escala vertical en la secuencia 10-5-1dB/div.
3. **PLOT:** Envía, por el bus GPIB o la línea RS-232, el gráfico de pantalla a una impresora o plotter externos. Evidentemente, antes de enviar los datos, es necesario configurar las interfaces correctamente.
4. **READOUT**. Muestra u oculta el texto de la pantalla.
5. **INTENSITY**. Varía el brillo del TRC (tubo de rayos catódicos). Aumenta girando el mando en el sentido de las manecillas del reloj y decrece al girarlo en sentido contrario.

6. **POWER**. Enciende y apaga el instrumento. El LED verde queda iluminado cuando el instrumento está funcionando.
7. **LEVEL**. La rueda interior de este mando configura el nivel de *trigger* (disparo) en modo de disparo interno (INT), externo (EXT) o con la red AC (LINE). La rueda externa controla el volumen de los demoduladores AM y FM.
8. **AM VOL**. LED activo cuando está funcionando el demodulador AM.
9. **FM VOL**. LED activo cuando está funcionando el demodulador FM.
10. **TG OUTPUT**. Salida del generador de tracking (TG). No se encuentra disponible en este analizador de espectro.



El conector de entrada y conexión al DUT es de tipo N y 50 .. Hay que tener en cuenta que, los **máximos valores que se pueden aplicar a la entrada del analizador de espectro** son:

Amplitud Máxima	+20dBm
Máxima tensión DC	100V
Rango de Frecuencia	9KHz a 1.8GHz

Registros (DISPLAY STORAGE)

El analizador de espectro dispone de una serie de registros ([A], [B], [C] y [D]) que permiten realizar ciertas funciones de análisis con el diagrama espectral que se está analizando, Figura 10.

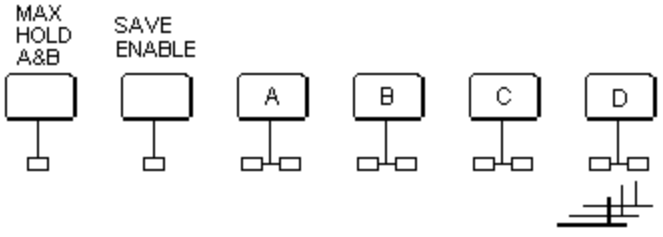


Figura 10. *Registros de control de la pantalla.*

1. **SAVE ENABLE**. Habilita las funciones de guardar y borrar los registros. Si después de presionar [SAVE ENABLE] se pulsa el botón correspondiente a un registro [A], [B] ó [C], en éste se guarda o borra el gráfico que muestra la pantalla del analizador. El LED que aparece bajo

este botón indica si está habilitada (led iluminado) o no (apagado) esta función. Cuando un registro tiene una imagen cargada, tendrá encendido su LED rojo correspondiente (para ver su contenido se pulsará el botón del registro correspondiente -pasa a iluminarse, entonces, el LED verde asociado al registro-). Para borrar el contenido de un registro hay que pulsar [SAVE ENABLE] y, posteriormente, el botón del registro que se desea borrar.

El uso del registro [D] es particular. Para poder ser usado es necesario tener vacíos los otros tres registros puesto que hace uso de ellos. Al salvar este registro, se guardan las señales correspondientes a 4 barridos. Al mostrar, por pantalla, el contenido del registro [D] aparecerán los 4 barridos desplazados una división vertical de pantalla y media división horizontal. La gráfica inferior corresponde al último barrido que se almacenó (el que realmente se ha almacenado en el registro [D]) y la superior al primer barrido tomado (guardado en el registro [A]). Para salir de este modo de funcionamiento, pulsaremos de nuevo [SAVE ENABLE] [D].

2. **MAX HOLD A & B**. Cuando está habilitado, los registros A y B (según elección) almacenan los valores de pico del espectro que se está midiendo. Este modo compara la amplitud del barrido actual, punto a punto, con el máximo valor almacenado de barridos anteriores. Si la amplitud actual es mayor se almacena el valor actual, si no, se retiene el valor anterior. En el registro [D] se almacena el barrido que tiene la máxima amplitud. El LED bajo este botón indica si está habilitada (led iluminado) o no (apagado) esta función y para salir de este modo hay que pulsar [MAX HOLD A&B] y [A].

Menús del analizador de espectro Tektronix 2711

Se describen, a continuación, los diferentes menús de que dispone el analizador.

1. **Menú de disparo y barrido** (TRIGGER & SWEEP), Figura 11. Las diferentes opciones que aparecen al seleccionar este menú se muestran en la Tabla 1.

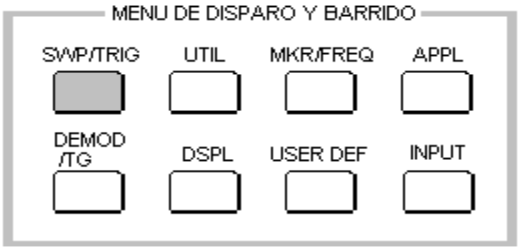


Figura 11. *Menú de disparo y barrido.*

Disparo (trigger)	
0. FREE RUN	Funcionamiento en barrido continuo.
1. INTERNAL	Disparo del barrido desde una señal interna.
2. EXTERNAL	Disparo de barrido a partir de una señal externa.
3. LINE	Disparo de barrido desde la línea AC (220 VAC).
4. TV LINE	Disparo de barrido desde un pulso de sincronización horizontal de TV.
5. TV FIELD	Disparo de barrido desde un pulso de sincronización vertical de TV
Barrido (sweep)	
6. SWEEP RATE	Permite definir el período de barrido.
7. MANUAL SCAN	Deja o no SCAN manual. Si lo hace, LEVEL controla la posición horizontal.
8. SYNC POLARITY	Cambia la polaridad del pulso de sincronismo de vídeo.

Tabla 1. Opciones disponibles en el menú de disparo y barrido.

2. **Menú de utilidades** (UTIL), Figura 12. Las diferentes opciones que aparecen al seleccionar este menú se muestran en la Tabla 2.

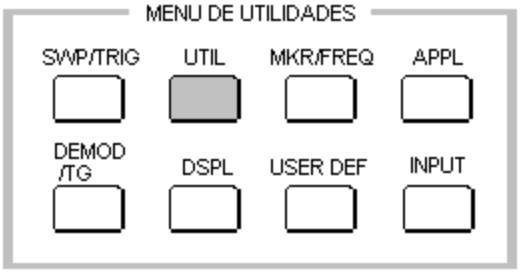


Figura 12. *Menú de utilidades.*

Tabla 2. Opciones disponibles en el menú de utilidades.

0. **INITIALIZE INSTR SETTINGS**	Reinicializa el analizador de espectro. Se configura con los últimos valores definidos por el usuario o con valores definidos de fábrica.
1. **STORED SETTINGS** 0. Last Power Down 1. Factory Default Power-Up 2. User-Defined Power Up 3. &UP User-Defined Settings	Cuatro pantallas que permiten al usuario definir los valores con que se configura el equipo al encenderlo. El contenido e los registros se puede guardar junto con los valores definidos.
2. **KEYPAD ENTERED SETTINGS**	
0. FREQUENCY	Permite definir el valor de la frecuencia central.
1. REFERENCE LEVEL	Permite definir el valor del nivel de referencia.
2. SPAN/DIV	Permite definir el valor de span/div (escala horizontal).
3. RF ATTENUATION	Selecciona entre nivel de atenuación a la entrada FIXED (fijo) o AUTO (automática) y permite la entrada desde teclado del nivel de atenuación fijo.
4. RESOLUTION BW 0. Auto 1. Fixed Scale	Selecciona entre resolución del ancho de banda (RBW) FIXED (fija) o AUTO (automática) y permite la entrada desde teclado del RBW fijo.
5. VIDEO FILTER 0. AUTO 1. FIXED	Selecciona entre ancho de banda del filtro de vídeo fijo (FIXED) o automático (AUTO) y permite la entrada desde teclado del BW fijo del filtro de video. Este es el único método para cambiar, manualmente, el BW del filtro de video.
6. VERTICAL SCALE 0. LOG 1 DB/DIV 1. LOG 5 DB/DIV 2. LOG 10 DB/DIV 3. LINEAR	Selecciona un factor de escala vertical entre 1, 5, 10dB/div o escala lineal.
7. SWEEP RATE	Permite definir el período de barrido.
3. **NORMALIZATIONS** 0 ALL PARAMETERS 1 FREQUENCY ONLY 2 AMPLITUDE ONLY	Habilita la normalización interna de los parámetros amplitud o frecuencia (o ambos, con ALL PARAMETERS) del analizador de espectro.
4.**SYSTEM CONFIGURATION**	
0. COMMUNICATION PORT CONFIG	Cambia entre manejo de I/O directo o por interrupciones. Muestra mensajes del estado en pantalla. Para configurar el puerto GPIB, seleccionar esta opción.
0. GPIB 0. STATUS 1. GPIB ADDRESS 2. POWER ON SRQ 3. EOI/LF MODE 4. TALK ONLY MODE	Activa o desactiva la línea del puerto GPIB: La opción 0 permite definir la dirección del puerto GPIB. La opción 1, configura la dirección GPIB del instrumento. La opción 2, cambia la generación de petición de servicio en el inicio del analizador (power-up). La opción 3, selecciona el mensaje hardware de terminación (EOI) o software (LF). Todos los instrumentos TEK soportan EOI. Finalmente, la opción 4 se usa cuando se envíen datos a la

	impresora/plotter desde el analizador y éste funcione en modo GPIB-no controlador.
1. SCREEN PLOT CONFIG 0. COMM PORT 1. PLOTTER LANGUAGE 2. PLOT SPEED 3. PLOTS PER PAGE 4. PLOT POSITION	Seleccionado para configurar el puerto de comunicaciones para aplicaciones de impresora/plotter: La opción 0 indica los puertos de comunicaciones instalados. La opción 1 selecciona el lenguaje de impresora/plotter (HPGL para plotters, EPSON FX para impresoras). La opción 2 selecciona el rango de velocidades del plotter desde lento (SLOW) a rápido (FASTEST). La opción 3 selecciona entre 1 y 4 plots (gráficos) por página. La opción 4 selecciona la posición, en la página, de cada gráfico.
2. PRINTER CONFIGURATION	Elige la salida de impresora entre el puerto de comunicaciones y pantalla (CRT)
3. INSTRUMENT CONFIG 0. AUDIO ALERT 1. MINIMUM SIGNAL SIZE 2. WAVEFORM TO PRINTER 3. WVFRM OUTPUT FORMAT 5. FREQUENCY CORRECTION 6. SPECTRAL DSPL IN MENUS 7. SWEEP HOLDOFF	La opción 0 cambia el tono de audio para las teclas, los errores o para ambos. La opción 1 habilita la mínima diferencia de amplitud de la señal de entrada necesaria para las funciones de marcado. La opción 2 permite la salida, o no, al puerto de comunicaciones siguiendo cada barrido de los datos de la señal, en formato ASCII o binario. La opción 3 selecciona la salida del puerto de comunicaciones entre ASCII y binario. La opción 5 permite, o no, correcciones de frecuencia. La opción 6 provoca que se vea la señal mientras se trabaja con los menús. La opción 7 selecciona el rechazo de barrido entre NORMAL y SHORT HOLDOFF (pequeño).
4. REAL-TIME CLOCK SETUP	Permite redefinir el reloj del sistema.
5. STORED SETTINGS PROTECT	Previene el borrado de los valores de control. Cuando estos están protegidos, no se pueden borrar.
6, 7. FACTORY TROUBLES. AIDS	Ayudas para la resolución de problemas.
9. INSTALLED OPTIONS DISPLAY	Lista en pantalla las opciones instaladas.
5. **INST DIAGNOSTICS /ADJUSTMENTS**	
0,1,3,4,6	Ayudas para resolver problemas del equipo.
2. MANUAL ADJUSTMENTS	Ajustes manuales
2. DISPLAY STORAGE CAL	Se emplea, junto con los controles del panel posterior, para ajustar la alineación de traza.
5. SERVICE NORMALIZATIONS 0. FREQUENCY NORMALIZAT 1. REFERENCE NORMALIZAT 2. AMPLITUDE NORMALIZAT 4. NORMALIZAT VALUES 5. PRINT ALL NORM VALUES 6. NORM DEBUG TO PRINTER	Las opciones 0, 1 y 3 se usan, junto con señales externas o algún otro equipo, para calibrar los parámetros internos del analizador de espectro. La opción 4, muestra en pantalla los parámetros de normalización. La opción 5, imprime los parámetros de normalización. Finalmente, la opción 6, imprime los mensajes que aparezcan durante la normalización.

7. **SERVICE REQUEST**	Genera una petición de servicio GPIB (SRQ) con propósitos de testeo.
9. **MORE** 0. PRINT READOUTS	La opción 0 permite envía los datos de pantalla a la impresora.

3. **Menú del marcador y de la frecuencia** (MKR/FREQ), Figura 13. Las diferentes opciones que aparecen al seleccionar este menú se muestran en la Tabla 3.

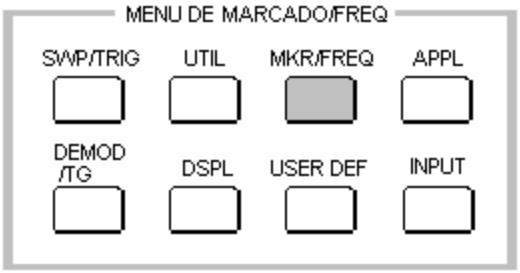


Figura 13. *Menú del marcador y de la frecuencia.*

Tabla 3. Opciones disponibles en el menú del marcador y de la frecuencia.

0. **THRESHOLD**	Permite programar la diferencia de amplitud de señales necesaria para las funciones del marcador y del límite de detector.
1. **PROGRMD TUNING INC** 0. CENTER FREQ 1. MARKER FREQ 2. KEYPAD-ENTERED INC 3. KEYPAD ENTRY 4. RETURN TO AUTO	Seleccionando esta opción se determina si el incremento asociado a la rueda del panel frontal se realiza sobre la frecuencia central, la frecuencia del marcador en uso o la frecuencia introducida por teclado. La opción 4 devuelve a la selección automática (AUTO) del incremento de sintonización (tuning).
2. **KNOB FUNCTION** 0. FREQUENCY 1. MARKER	Elige la función de la rueda del panel frontal entre control de frecuencia o de marcador.
3. **MARKER TO REF LEVL**	Cambia el nivel de referencia a la amplitud actual del marcador (si éste está activo).
4. **MOV MARKER TO NEXT PEAK**	Mueve el marcador al mayor o menor pico espectral más cercano.
5. **TRANSPOSE MARKERS**.	Intercambia los marcadores fijo y desplazable
6. **MARKER START/STOP**	Iguala las frecuencias de inicio y fin (start/ stop) de la pantalla a las posiciones actuales de los marcadores.
7. **FREQUENCY START/STOP** 0. FREQ START ENTRY 1. REQ STOP ENTRY	Permite definir el valor de las frecuencias de inicio y fin en pantalla.
8. **TUNING INCREMENT**	Selecciona el incrementos de sintonización entre diferentes opciones (AUTO, PROGRMD y TABULAR).

9. **SETUP TABLE**	
0.CENTER/START FREQUENCY	Cambia el control de la rueda del panel frontal entre frecuencia central y de inicio.
1. COUNTER RESOLN 0. COUNT. OFF WHEN TRKG 1. 1 HZ 2. 1 KHZ	Apaga la lectura del contador en modo de seguimiento de señal (signal track mode) y selecciona la resolución del contador a 1Hz ó 1KHz (sólo si se dispone de un contador de frecuencia).
2. TABULAR TUNING TABLES	Selecciona, de entre una lista de frecuencias estándar de TV de cable o difusión, el incremento de sintonización.
3. FREQ OFFSET	Permite programar un valor con el que se compensa (offset) la frecuencia central en la pantalla.
4. FREQ OFFSET MODE.	Determina si el offset de frecuencia (FREQ OFFSET) está en ON PLUS (activado positivo), ON MINUS (activado negativo) u OFF (desactivado). Para que aparezca, el valor de offset debe estar establecido como ON MINUS

4. **Menú de aplicaciones** (APPL), Figura 14. Las diferentes opciones que aparecen al seleccionar este menú se muestran en la Tabla 4.

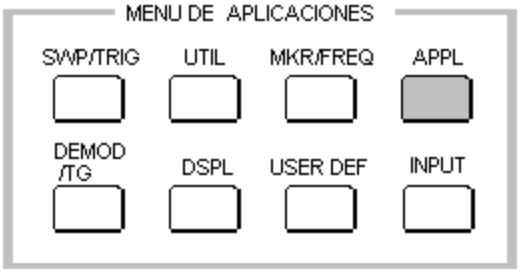


Figura 14. *Menú de aplicaciones.*

Tabla 4. Opciones disponibles en el menú de aplicaciones.

0. BANDWITH MODE	Determina el BW (entre los puntos dados por un cierto número de dBs por debajo del valor máximo) de un pico espectral.
1. CARRIER TO NOISE	Mide la relación portadora a ruido en los puntos indicados por los marcadores.
2. NOISE NORMALIZED.	Mide el ruido, en un ancho de banda normalizado, en el punto indicado por el marcador
3. SIGNAL SEARCH MENU 0. BEGIN FREQ 1. END FREQ 2. START TEST 3. DISPLAY RESULTS	Permite definir los parámetros de búsqueda, en el espectro, de una componente de la señal visualizada. Las opciones 0 y 1 fijan la frecuencia a la que debe empezar y terminar, respectivamente, la búsqueda. La opción 2 inicia la búsqueda y, finalmente, la opción 3 permite seleccionar hacia donde (a la impresora o a la pantalla) se envían los resultados (se elige cual de los dos

	por medio de [UTIL][4][2]).
4. OCCUPIED BW	Determina el BW que contiene un porcentaje especificado de energía de la señal.
7. FM DEVIATION MODE	Muestra, en pantalla, la desviación vertical de la FM instantánea en 10, 5 ó 1KHz/div.
9. SETUP TABLE 0. DB DOWN OF BW MODE 1. NORM BW FOR C/N 2. NOISE NORM'D BW 3. PERCENT OCCUPIED BW	Permite la configuración del número de dBs por debajo asociado al BANDWITH MODE, del ancho de banda normalizado para medidas de ruido y relación Carrier/Noise y del porcentaje de energía para medidas de BW ocupado.

5. **Menú del demodulador y del generador de tracking** (DEMOD/TG), Figura 15. Las diferentes opciones que aparecen al seleccionar este menú se muestran en la Tabla 5.

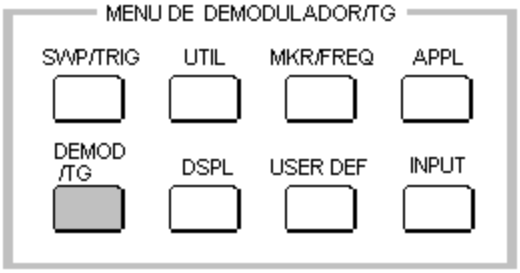


Figura 15. *Menú del demodulador y del generador de tracking.*

0. OFF	Desconecta la salida, a altavoces, de los demoduladores.
1. AM DEMODULATOR	Conecta la salida del demodulador AM a un altavoz interno o a la salida para auriculares. El volumen se puede controlar con la rueda LEVEL.
2. FM DEMODULATOR	Conecta la salida del demodulador FM a un altavoz interno o a la salida para auriculares. El volumen se puede controlar con la rueda LEVEL.

Tabla 5. Opciones disponibles en el menú del demodulador y del generador de tracking.

6. Menú de pantalla (DSPL), Figura 16. Las diferentes opciones que aparecen al seleccionar este menú se muestran en la Tabla 6.

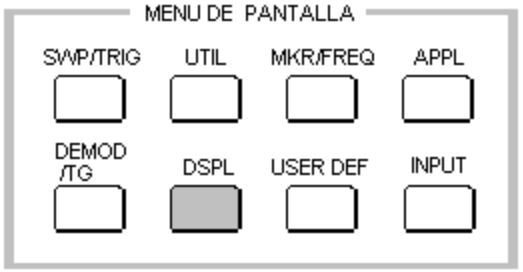


Figura 16. *Menú de pantalla.*
Tabla 6. Opciones disponibles en el menú de pantalla.

0. DIGITAL / ANALOG	Desactiva todos los registros de pantalla (modo analógico) y activa la configuración de los registros de pantalla (modo digital).
1. ENSEMBLE AVERAGING	
1. INITIATE AVERAGING	Comienza el proceso de promediado.
2. TERMINATE AVERAGING	Termina el proceso de promediado.
3. MAX	Calcula el promedio de los máximos de los valores espectrales.
4. MEAN	Calcula el promedio medio (la mitad entre los puntos máximo y mínimo).
5. MIN	Calcula el promedio de los mínimos de los valores espectrales.
6. MAX/MIN.	Encuentra los promedios máximo/mínimo
7. NUMBER OF AVERAGES	Calcula el promedio desde 1 a 1024 trazas o selecciona promedio continuo.
8. SAVE RESULTS IN DISPL.	Permite seleccionar entre los registros A, B, C para almacenar el promedio calculado.
2. B, C MINUS	A Resta el contenido del registro A de los registros B ó C si están activos.
3. B, C MINUS A OFFSET TO	Desvía (offset) el resultado de la resta definida previamente al nivel de referencia o a la frecuencia central.
4. ACQUISITION MODE	Cambia entre visualización de picos y max/min.
5. TITLE MODE	Habilita la introducción de títulos e información en pantalla.
6. GRATICULATE ILLUMINAT.	Activa o desactiva la iluminación de la retícula.
7. DISPLAY SOURCE	Cambia entre fuente de señal interna (INT) y externa (EXT) e indica el modo (AM ó FM) cuando seleccionamos INT.
8. DISPLAY LINE	Controla la línea de pantalla y del límite del detector (detector limit).
1. ON/OFF	Activa, o desactiva, y ubica la línea horizontal de pantalla a una amplitud determinada.
2. VALUE ENTRY	Permite definir la amplitud de la línea de pantalla.
3. DISPLAY LINE TO MARK.	Fija la amplitud de la línea de pantalla a la amplitud actual del marcador.
4. LIMIT DETECTOR	Configura que suene una alarma audible si la señal está por encima de la línea límite de detector, si está por debajo de ella o si está por debajo de ella pero por encima del umbral. El límite del marcador se impone usando [MKR/FREQ][0].
9. MIN HOLD IN WFM nn	Acumula el valor mínimo del espectro y habilita la selección del registro que almacenará el resultado.

7. **Menú de definiciones de usuario** (USER DEF), Figura 17. Las diferentes opciones que aparecen al seleccionar este menú se muestran en la Tabla 7.

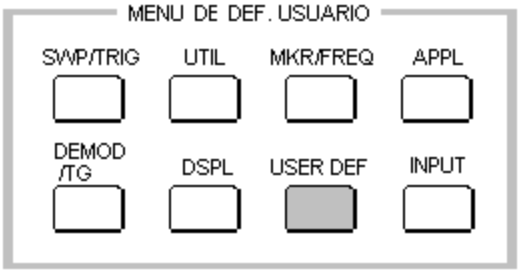


Figura 17. *Menú de definiciones de usuario.*

Tabla 7. Opciones disponibles en el menú de definiciones del usuario.

0. PROGRAM 0 ?.... 8. PROGRAM 8	Programas (secuencias de pulsación de teclas) definidos por el usuario (UDPs). Se seleccionan y ejecutan presionando [USER DEF] y [program#].
9. USER DEF PROG UTILITIES	Utilidades preprogramadas para crear UDPs.
0. ACQ/EXIT KEY STROKES	Se utiliza para empezar a definir las teclas (o terminar de definir teclas) sin almacenar el UDP.
1. TITLE EDIT	Crear o modificar el nombre del UDP.
2. WAIT FOR END OF SWEEP	Se emplea para que el UDP espere hasta que finalice el barrido. Muestra, en pantalla, el mensaje "WAIT FOR END OF SWEEP". Es necesario para funciones que utilicen procesado de fin de barrido como cuenta (count), medida de centro (cent meas) …
3. DISPLAY MESSAGE	Crear, o borrar, mensajes que se mostrarán en pantalla durante la ejecución del UDP.
4. PAUSE FOR "USER DEF" KEY.	Empleado para que, en los UDPs, aparezca "PRESS USER DEF KEY TO CONTINUE" (presione la tecla USER DEF para continuar) y para bloquear la ejecución del programa hasta que se presione dicha tecla
5. CONTINUOUS EXECUTION	Cuando está seleccionado, provoca que se repita continuamente el UDP.
6. STORE	Almacena el UDP seleccionado en la posición (de la 0 a la 8) elegida. Dicha posición debe estar vacía antes de almacenar el UDP. Si el UDP tiene nombre, éste aparece al lado del número de programa.
7. DELETE	Borra los UDPs seleccionados (según su número).
8. PROTECT	Protege de ser borrados los programas almacenados. El carácter # indica la protección.

8. **Menú de entrada** (INPUT), Figura 18. Las diferentes opciones que aparecen al seleccionar este menú se muestran en la Tabla 8.

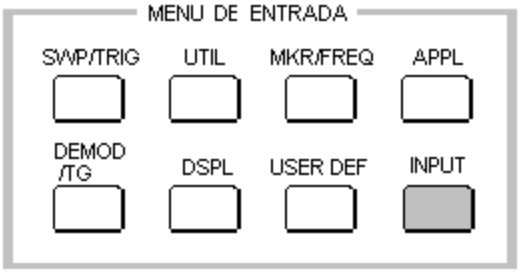


Figura 18. *Menú de entrada.*

Tabla 8. Opciones disponibles en el menú de entrada.

1. PREAMP	Activa o desactiva el preamplificador interno.
2. 50ØBM / 75ØBMV	Calcula los factores de conversión para conmutar entre fuentes de 50 W/dBm y fuentes de 75 W/dBV. Sirve para reescalar la pantalla.
3. REF LEVEL UNIT	Selecciona la unidad de referencia tomada.
0. DBM	Referencia en miliwatios.
1. DBMV	Referencia en milivoltios.
2. DBV	Referencia en voltios.
3. DBUV	Referencia en microvoltios.
4. DBUW.	Referencia en microvatios
5. DBUV/M IN WFM X	Referencia en microvoltios por metro. Usar [DSPL] para seleccionar el registro de pantalla.
9. DBUV/M SETUP	Permite definir factores de antena y distancias de test.
4. 1ST MXR INPUT LVL	Permite definir el valor de la amplitud de entrada al primer mezclador que deflecta la pantalla al nivel de referencia.
5. RF ATTENUATION	Permite definir si el analizador selecciona automáticamente (AUTO) o no el nivel de atenuación de RF.
6. EXTERNAL ATTEN/AMPL 0. ON/OFF 1. ATTEN/AMPL ENTRY	Indica si hay presente atenuación o amplificación externa al analizador y permite configurar dicha cantidad.
7. CAL SIGNAL @100MHZ–30DBM	Activa o desactiva la señal de calibración interna.

El WAVETEK modelo 2100 es un monitor de servicio de banco y portátil de calidad, controlado por microprocesador. Diseñado para desarrollar una variedad de pruebas en transceptores de FM, el pequeño tamaño y sencillo panel frontal lo hacen ideal para producción y pruebas de banco. Dada la opción de empleo de batería, es especialmente conveniente para ser usado en terreno.

El modelo 2100 genera y recibe señales desde los 400KHz a 999.9999MHz en pasos de 100Hz, pero con un rango de uso desde los 100KHz. El nivel de salida de RF es continuamente variable de 0.1mV RMS a 10mV RMS en 5 rangos.

LEDs anunciantes y dos displays de LCD en el panel frontal indica el ajuste del instrumento y los resultados de las mediciones.

El modelo 2100 contiene una fuente de modulación de 1KHz, un sintetizador de audio de 10Hz a 10KHz y una entrada de modulación externa. La salida del sintetizador de audio tiene una segunda salida variable independiente en el panel frontal. Los marcadores de desviación en ±5KHz o ±600Hz pueden ser superpuestos en la salida demodulada para ser vista en un osciloscopio externo.

El modelo 2100 mide y despliega SINAD en dB o % de distorsión, Volts, desviación FM, nivel de señal, frecuencia de portadora, frecuencia de audio demodulada, error de frecuencia y subtonos.

Cuando una carga de RF es aplicada al conector de antena, la señal recibida puede ser aplicada al conector RF IN/OUT para medir su nivel de potencia en Watts. Posee veinte registros de memoria los que están disponibles para almacenar y llamar a todos los ajustes del teclado del panel frontal. Una interfase opcional RS-232 le permite la conexión en sistemas de prueba automatizado.

Especificaciones

Modo Generación

Rango de Frecuencias	400KHz a 999.9999MHz. * Rango utilizable desde los 100KHz
Resolución	Pasos de 100Hz
Salida de RF	5 Rangos de 0.1 mV a 10 mV
Precisión	± 2 dB
Pureza Especial	<-35 dBc dentro ± 300 KHZ (dentro de todas bandas móviles)
Desviación FM	0 a 10KHz peak
Precisión	± 5% de FS (a Escala Completa)
Modulación Externa	todos los tonos EIA, 10Hz a 10KHz
Modulación Interna	10Hz a 10KHz
Impedancia de Salida	50Ω
Protección Señal Reversa	Switch automático para cargas externas a entradas superiores a 200 mW en el conector RF IN/OUT, posibilidad de instalación de switch a la carga interna.

Modo de Recepción

Rango de Frecuencias	400KHz a 999.9999MHz
Resolución	100Hz
Sensibilidad	2mV a 10 dB SINAD, típico
Ancho de Banda	10KHz
Rechazo de imágenes	-50 dB
Rango de RF en Pasos	100Hz

1.1.1 Contador de Subtonos

Rango de Frecuencias	60Hz a 270Hz
Resolución	0.2Hz

Medidas de Modulación

Desviación de FM	0 a ± 10KHz
Precisión	± 5 % de FS a 1KHz desde 0 a 7KHz
	± 10% de FS a 1KHz desde 7 a 10KHz
Marcadores de desviación FM	± 600Hz, ± 5KHz (disponible marcadores opcionales)
	Precisión de marcadores ± 5 % a desviación de 5KHz.

Modo Contador de Frecuencias

Frecuencia RF	30MHz a 999.9999MHz
Resolución	1KHz
Error de Frecuencia	10Hz a 10KHz a >10mV señal recibida.
Frecuencia de Audio	10Hz a 20KHz
Resolución	1Hz

Medición de Señal

Rango	0 a 100 watts, auto rangueo 10 a 100 watts Full Scale
Precisión	± 10% FS a 600MHz, ± 20 % FS desde 600 a 999.9999 MHz
Display	LCD (Pantalla Cristal Líquido)

Nota: No tiene carga estándar interna. Las cargas externas de 50 o 100 watt deben ser conectadas en el conector de antena. Use cables coaxiales de longitud mínima.

Fuentes de Modulación Interna

Rango de Frecuencias	10Hz a 10KHz
Resolución	0.1Hz, 10Hz a 1999.9Hz
	10Hz, 2KHz a 10KHz
Salida	0 a 1 V RMS
Frecuencia Fija	1KHz
Precisión	Base Tiempo ± 1 cuenta

Nivel de Señal (Rec. Level)

Rango	40 dB (-50 dB a –90 dB)
Precisión	± 3 dB
Display	LCD

SINAD

Rango	0 a 30 dB
Resolución	Pasos de 1 dB
Precisión	± 1 dB en 12 dB (±3% a 25%)
Impedancia	10Kohms
Unidades de Medida	% Distorsión o dB SINAD

Tamaño de los pasos RF

Pasos de 100Hz a 999.9999MHz

Memoria

Almacena todas las funciones de teclado en cada registro para almacenamiento del sistema.
Tamaño de memoria: 20 registros.

Voltímetro

Rango	± 20 V DC, 20 V AC peak, sobre 50 KHz
Impedancia de Entrada	100Kohms
Precisión	± 5 %

Base de Tiempo

Razón de envejecimiento	**±** 1ppm/año
Temperatura (0° a 50° C)	± 0.5ppm

1.1.2 General

Rango de operación temperatura	0 a 50 °C
Requerimientos de Poder	
AC	100/110/220/240 V AC ±10%, 50 – 400 ciclos
DC	10.5 a 15.2 V DC
Batería Interna Recargable	>12 volts
Dimensiones	26.1cm (10-3/8”) ancho incluyendo tomador
	16.5cm (6-1/2”) alto (incluyendo pie)
	43.2cm (17”) profundidad (incluyendo pie trasero)
Peso c/batería	<15lbs.

Operación

Introducción

Esta sección contiene instrucciones de operación para el Monitor de Servicio de Comunicaciones Modelo 2100. Incluida están las descripciones del panel frontal y trasero (referido a la Figura 3-1), además de las características de uso.

Descripción del panel frontal

El Wavetek contiene LEDs anunciadores para indicar funciones de uso o unidades. Un tono de error con sonido audible señala que el usuario ha ingresado una operación no válida. Las siguientes descripciones están dadas en orden para identificar las funciones del instrumento y sus correspondientes teclas.

Los displays de LCD de la izquierda y la derecha del instrumento indican los ajustes y medidas pertinentes. Los LEDs en la derecha anuncian las unidades correctas durante un despliegue de frecuencias.

1 KHz	Activa la fuente de modulación de 1KHz en modo de Generación.
AUDIO SYNTH	Activa el sintetizador de audio en la frecuencia ajustada recientemente y despliega la frecuencia en el LCD derecho (en Hz).
EXT	Encendido “Entrada Modulación“. Tono sonoro de Error en modo de recepción.
DEV MARK	Activa los marcadores en cualquier desviación ± 600Hz, ± 5KHz
SINAD	Mide SINAD y despliega la lectura en el LCD izquierdo. El botón de SINAD conmuta entre dB y % de distorsión cada vez que es presionado.

VOLTS

Activa uno u otro DC o AC volts. Mide voltaje en el conector SINAD AUDIO IN. Despliega modo y lectura en el LCD de la izquierda.

WATTS

Mide la potencia de RF aplicada en el puerto RF IN/OUT producto de la carga de 50Ω aplicada por el usuario y conectada en el puerto de antena. Despliega la lectura en el LCD izquierdo.

DEV

Mide la desviación de FM de la portadora de RF generada o recibida y despliega la lectura en LCD izquierdo en Hz.

ENTER

Termina un dato numérico.

↑

Cuando es precedido por la tecla RF STEP, la frecuencia es subida o bajada (respectivamente) de acuerdo al paso de RF preseleccionado y la nueva frecuencia es mostrada en el LCD derecho.

↓

Cuando es precedido por la tecla RECALL, podemos visualizar la configuración del panel frontal almacena en los registros de memoria, la cual es desplegada por ½ segundo. El display luego cambia para mostrar la configuración guardada.

SHIFT

Mediante esta tecla se pueden direccionar las siguientes segundas funciones:
Shift+1 – Conmuta las unidades de SINAD entre dB y % de distorsión.
Shift+6 – Identifica la versión del software.
Shift+9 – Verifica el estado de los osciladores.
Shift. – Carga la memoria de almacenamiento con el dato actual.
Shift REC – Alterna al receptor la frecuencia de LO entre una alta o baja inyección lateral para frecuencias sobre 16MHz. La función SHIFT será necesaria para algunas lecturas si una espuria interfiere con la frecuencia deseada.
Shift 8 – Habilita el modo RS-232 (no suministrado con la unidad), deshabilitando todo el panel frontal.
Shift+0 – Despliega el número de serie de la unidad en el LCD derecho.

RF STEP

Despliega el tamaño del paso de RF en el LCD derecho. Sirve como un prefijo para cambiar el tamaño de paso RF cuando es seguido por el dato y la tecla ENTER.

STORE

Prefijo para almacenar configuraciones del panel frontal en la memoria (debe ser seguido por un código de dirección 1 hasta 20 y luego ENTER). Despliega la información en el LCD derecho.

RE-CALL

Prefijo para el rellamado de la configuración del panel de control desde la memoria. La dirección 0 contiene una configuración inalterable programada de fábrica (configuración por defecto).

SUB-TONE

Cuenta los subtonos en modo recepción y despliega en el LCD derecho.

REC LEVEL

Mide la estrechez de señal en el modo de recepción y lo despliega en el LCD de la izquierda. El botón de REC LEVEL conmuta entre mV y dBm cada vez que es presionado.

GEN

REC

Estas dos teclas seleccionan el modo de generación o recepción. Sólo un modo es activado a la vez. Cada tecla responde para la frecuencia seleccionada y es deplegada en LCD derecho. Cuando el modo de generación es seleccionado, el LED es iluminado. En el modo de recepción el LED asociado ilumina sólo cuando el silencio es roto por una señal recibida.

COUNT

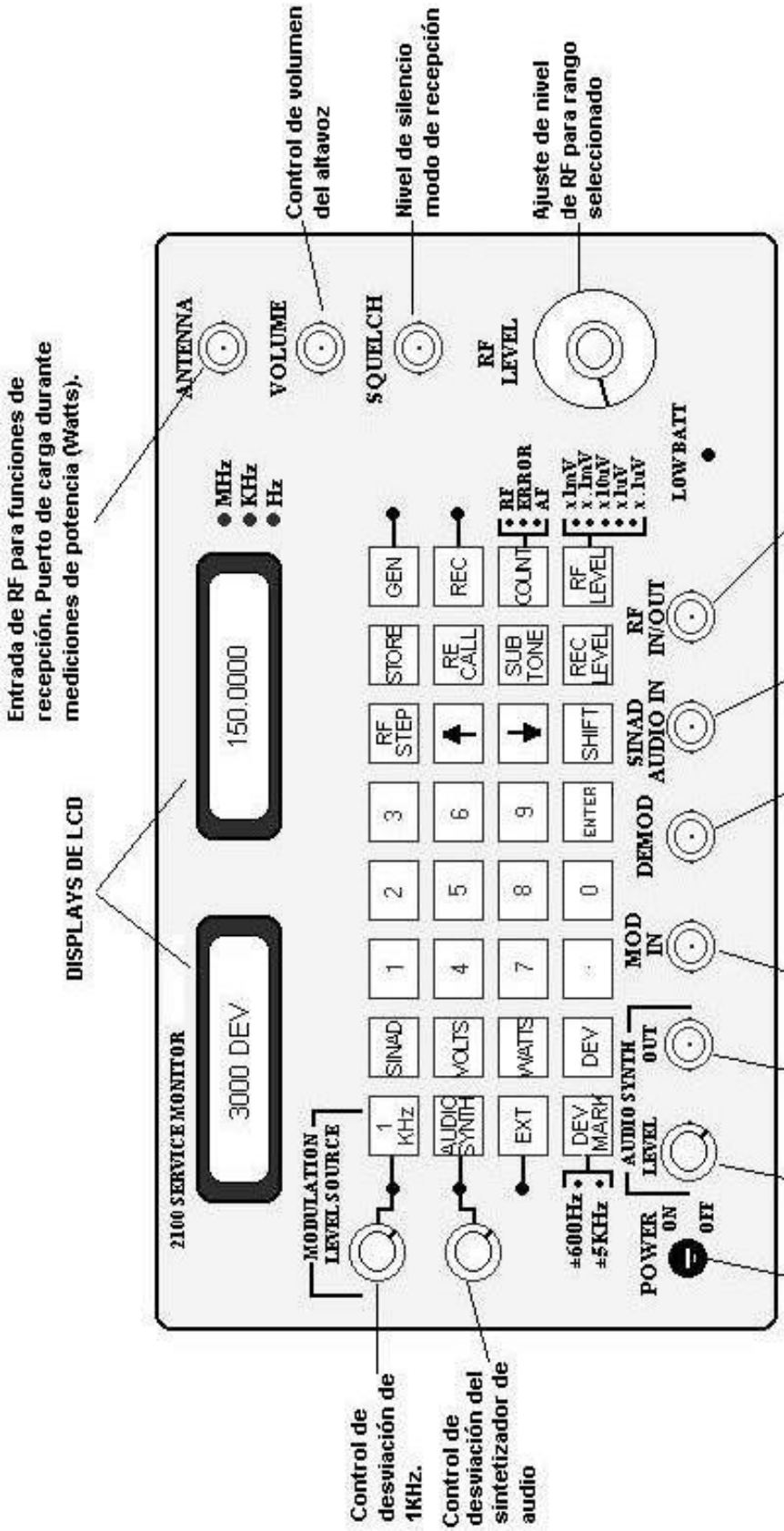
- **RF**
- **ERROR**
- **AF**

En el modo de recepción este selecciona el contador para RF, ERROR, AF y OFF. En generación el contador monitorea el conector SINAD/AUDIO IN y son seleccionables los modos AF y OFF. El contador también trabaja en el modo WATTS cuando suficiente potencia llega al puerto RF IN/OUT. **El modo de conteo debe ser desactivado cuando es reprogramada la frecuencia de RF.**

RF LEVEL

- **x 1mV**
- **x .1mV**
- **x 10uV**
- **x 1uV**
- **x .1uV**

Selecciona una de los 5 rangos para el generador de RF.

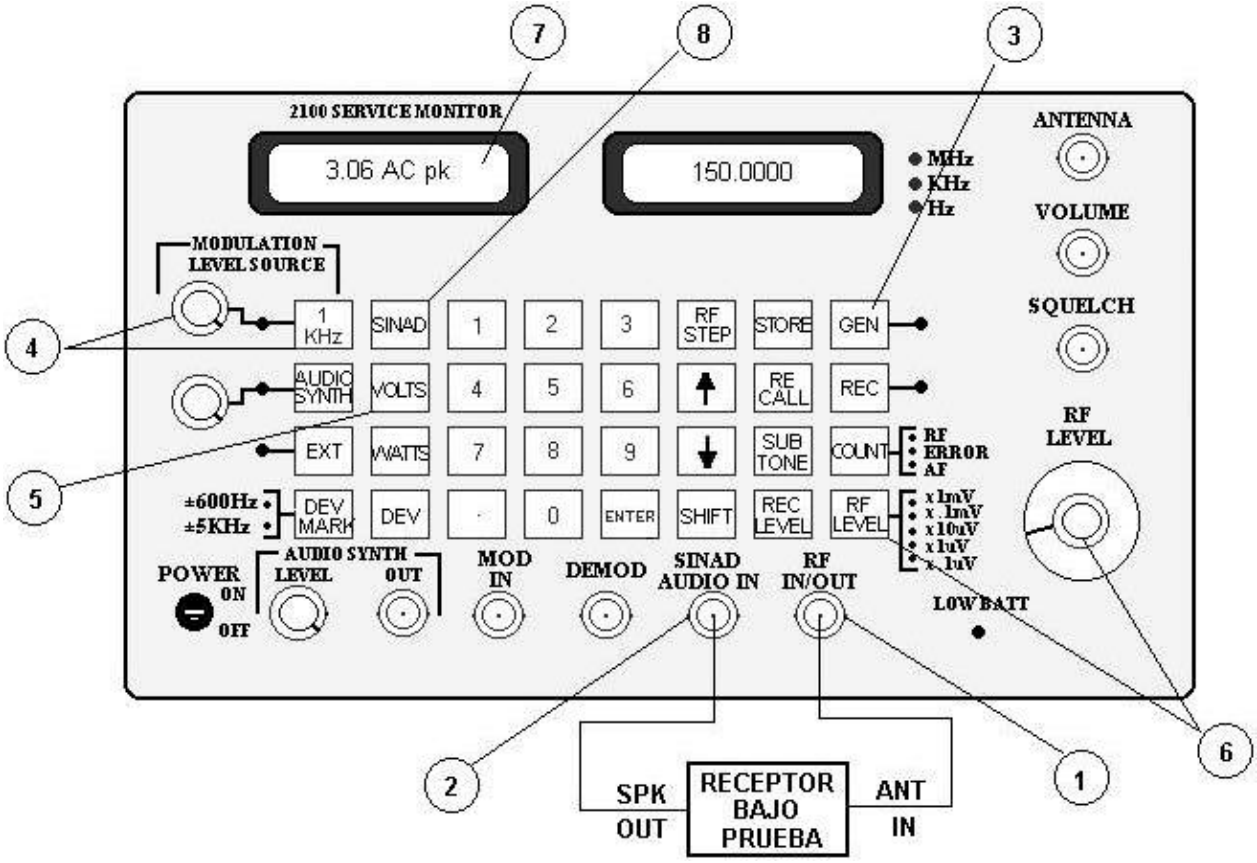


Panel de Control Frontal y Puertos del Monitor Wavetek 2100

Notas de aplicación

Medidas de distorsión de audio en el receptor

Un factor importante en la alineación de las propiedades de un receptor es conocer la distorsión de la señal de audio recuperada y procesada. Si existen problemas en el circuito de audio causando alta distorsión, la prueba de 12dB SINAD no será válida puesto que SINAD combina el factor de distorsión con la señal y ruido en una sensibilidad determinada.



1. Cablee el puerto de antena del receptor bajo prueba al conector RF IN/OUT del modelo 2100.
2. Cablee la etapa de salida de audio o los terminales de altavoz del receptor, conectándolo a SINAD AUDIO IN.
3. Seleccione el modo GEN.
4. Seleccione 1KHz y ajuste el control de nivel de 1KHz para una desviación máxima de 60%, por ejemplo 3KHz, la máxima permisible es 5kHz.
5. Seleccione modo VOLTS.
6. Ajuste el control de nivel de RF para estabilizar completamente el receptor (1mV)

7. Ajuste el volumen del receptor para una razón de audio completa. Usando las características de voltímetro y la fórmula:

$$\text{Potencia de Audio} = \frac{V^2}{2r_{spk}}$$, donde: V= voltaje del altavoz

R_{spk}= impedancia del altavoz

8. Presione SINAD una o dos veces (como sea requerido) para obtener una lectura directa de la distorsión en %.

Sensibilidad – 12 dB SINAD

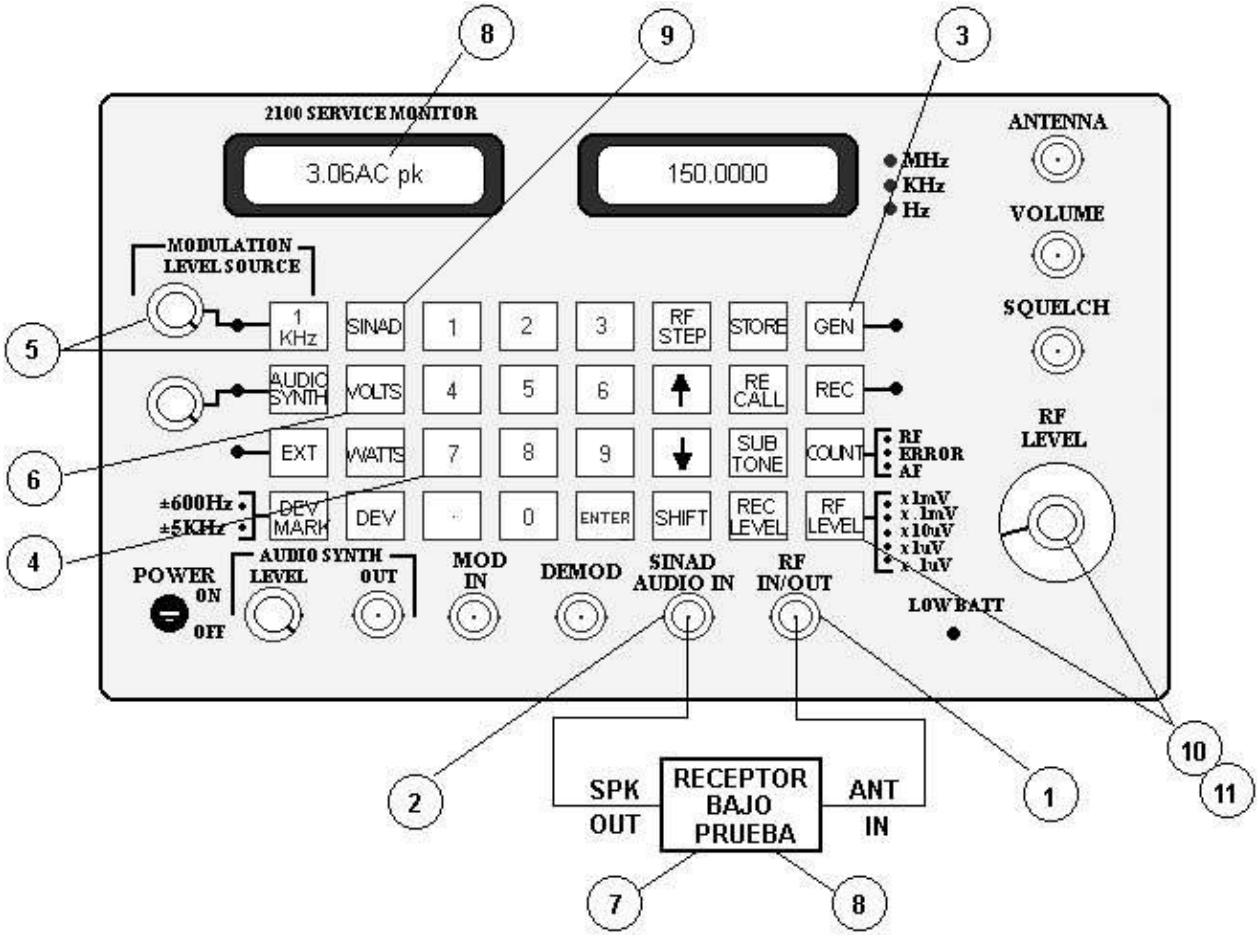
Las medidas de la sensibilidad deben reflejar la señal + el ruido y la distorsión si ellos son verdaderamente significativos.

El SINAD es una unidad de medida que está diseñada para tomar estos factores en cuenta. Una definición aceptada es “la cantidad de RF requerida para medir 12 dB SINAD desde un receptor cuya banda de paso esta determinada”.

El nivel de RF para esta medición es típicamente expresada en mV. SINAD es definido como la razón de voltaje:

$$\frac{Señal + Ruido + Distorción}{Ruido + Distorción}$$, y es expresada en dB.

El modelo 2100 realiza rápidamente las medidas de SINAD y despliega el resultado al dB más cercano. Esto permite que el usuario sintonice rápidamente los receptores para un óptimo funcionamiento.



1. Conecte la entrada de RF (puerto de antena) del receptor bajo prueba al jack de RF IN/OUT del monitor modelo 2100.
2. Conecte a la entrada SINAD AUDIO IN la salida del altavoz del receptor. Si es usado el conector del altavoz externo y estel desconecta el altavoz interno, se puede emplear una carga de la misma impedancia para sustituirlo.
3. Seleccione el modo GEN.
4. Programe la frecuencia del receptor en MHz usando el teclado numérico seguido por la tecla ENTER.
5. Seleccione la función de modulación de 1KHz y ajústela para una desviación máxima del receptor de 60% usando el control de nivel de 1KHz. Por ejemplo, si la desviación máxima del receptor está especificada como 5KHz, entonces la desviación de prueba será:

$$5KHz \cdot 0.6 = 3000Hz$$

6. Seleccione el modo AC pk VOLTS.

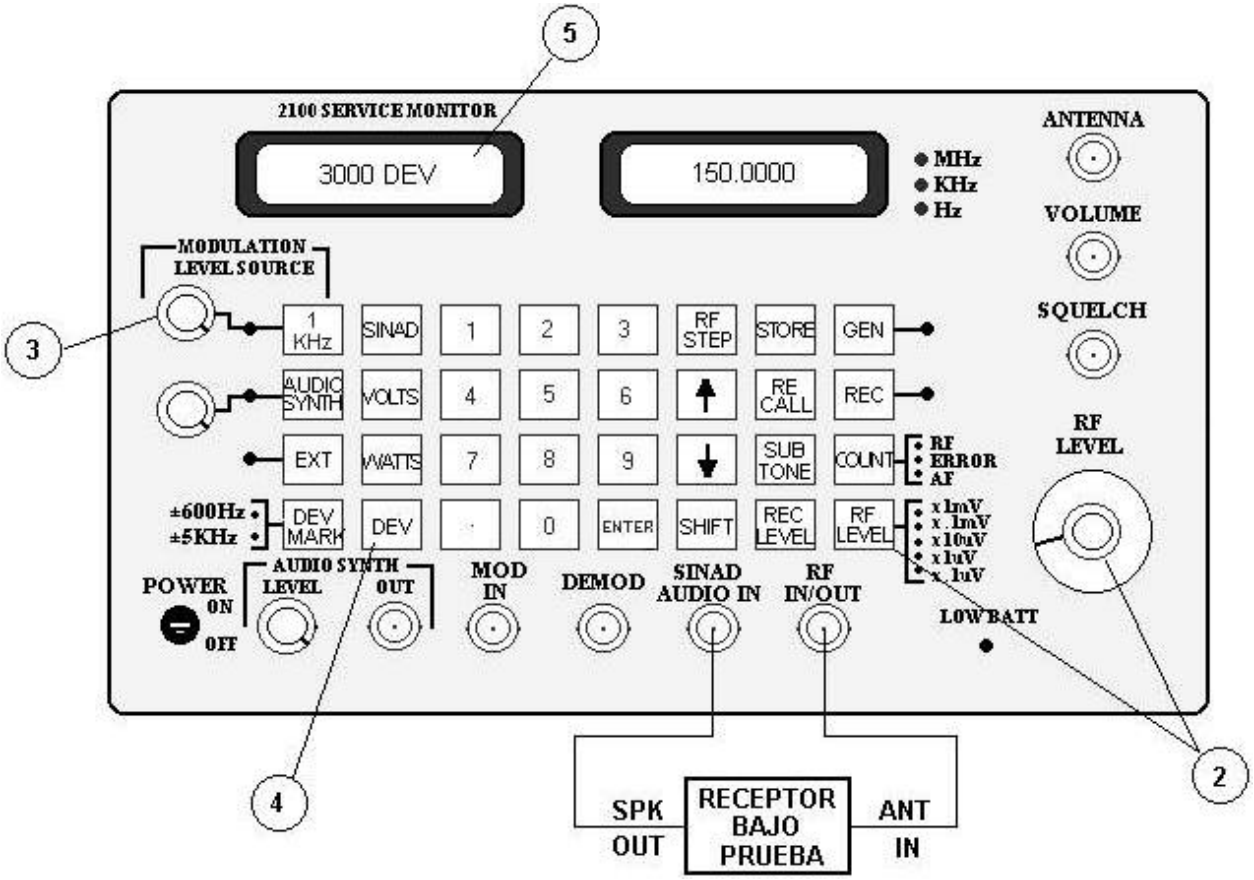
7. Abra el control de squelch (silencio) del receptor.
8. Seleccione el volumen del receptor para alcanzar la máxima potencia de audio, de acuerdo a las especificaciones del fabricante del equipo. Use el voltímetro interno para determinar la potencia de audio usando la formula:

   Potencia de Audio= $\frac{V^2}{2r_{spk}} = \frac{V^2(RMS)}{r_{spk}}$ (onda seno), donde: V= voltaje del altavoz, y

   r_{spk}= Impedancia del altavoz
9. Seleccione la función SINAD para una lectura en dB.
10. Ajuste el rango de nivel de RF y el vernier (ajuste fino) para una lectura de SINAD de 12 dB.
11. La sensibilidad del receptor puede obtenerla a partir de los mV fijados en el dial de nivel de RF.

Ancho de Banda de aceptación de modulación

En los receptores de voz modulada FM, la máxima desviación aceptada para una cierta reducción en la sensibilidad SINAD es llamada Ancho de banda de aceptación de modulación. Puesto que un pobre Ancho de banda de aceptación de modulación da lugar a una degradación de la sensibilidad, este test es importante para optimizar completamente el funcionamiento del receptor. Esta característica de operación es esencial también en el mantenimiento de un sistema de comunicación. Si el Ancho de banda de aceptación de modulación es pobre o excedido, esto resultará en una empeorada sensibilidad del receptor.

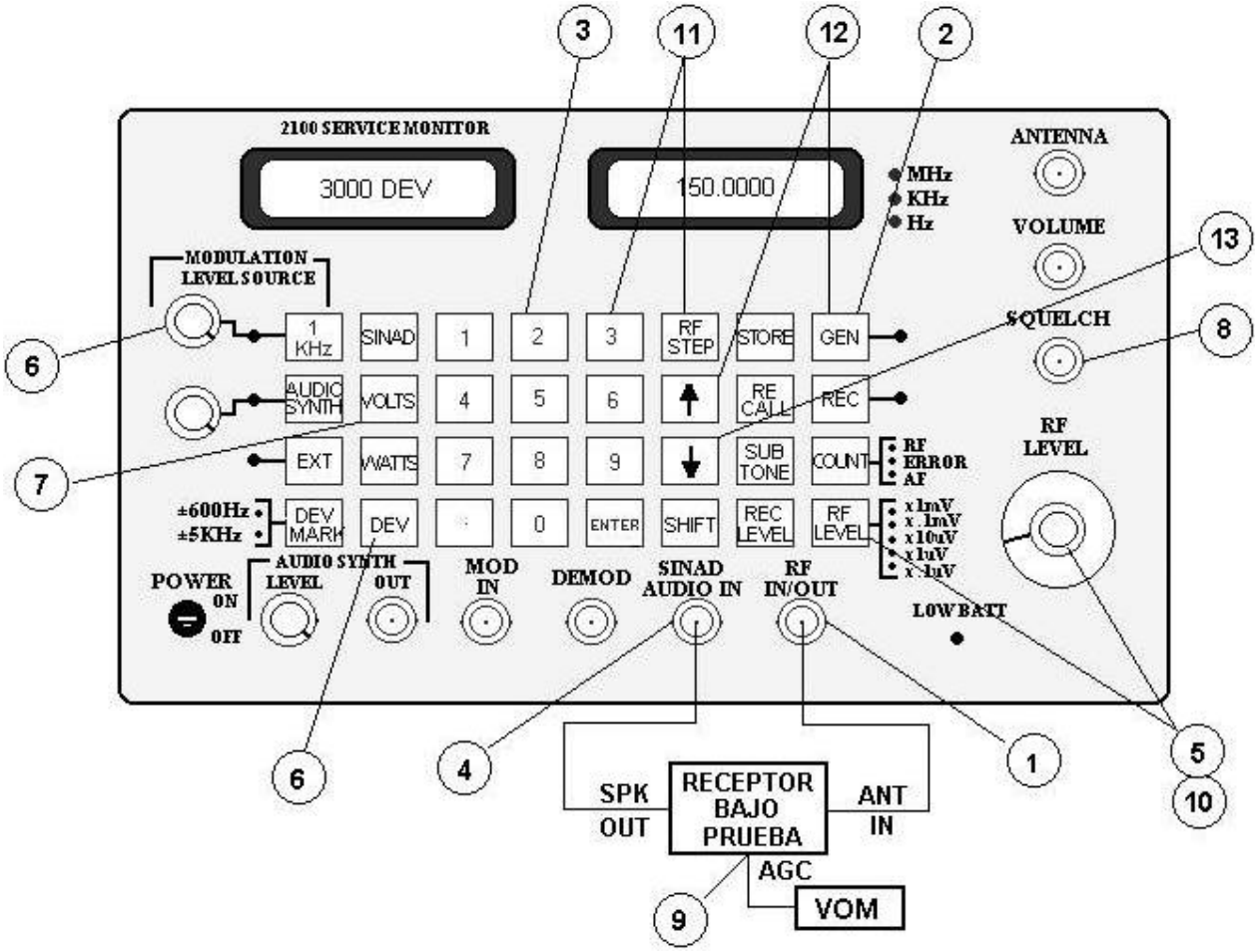


1. Desarrolle el test de 12dB SINAD descrito en el punto anterior.
2. Incremente el nivel de RF en 6dB sobre el punto de sensibilidad de 12DB SINAD (un incremento de 6dB corresponde a colocar el doble de los mV en el dial de salida RF).
3. Incremente el control de nivel de 1KHz hasta que los 12dB SINAD se lean nuevamente.
4. Active el modo DEV.
5. Multiplique el incremento en la desviación por dos para obtener el ancho de banda de aceptación de modulación, como sigue:

   [Desviación nueva – Desviación previa] x 2= Ancho de banda de aceptación de modulación.

Simetría y ancho de banda del receptor de FI

Este ensayo determinará el ancho de banda del filtro de FI y la simetría (para determinar si los puntos de corte alto y bajo son correctos). Un ancho de banda estrecho puede causar distorsión y por otro lado, un ancho de banda mayor al requerido puede causar ruido. Este test es bueno para detectar y corregir problemas causados por alto ruido y distorsión.



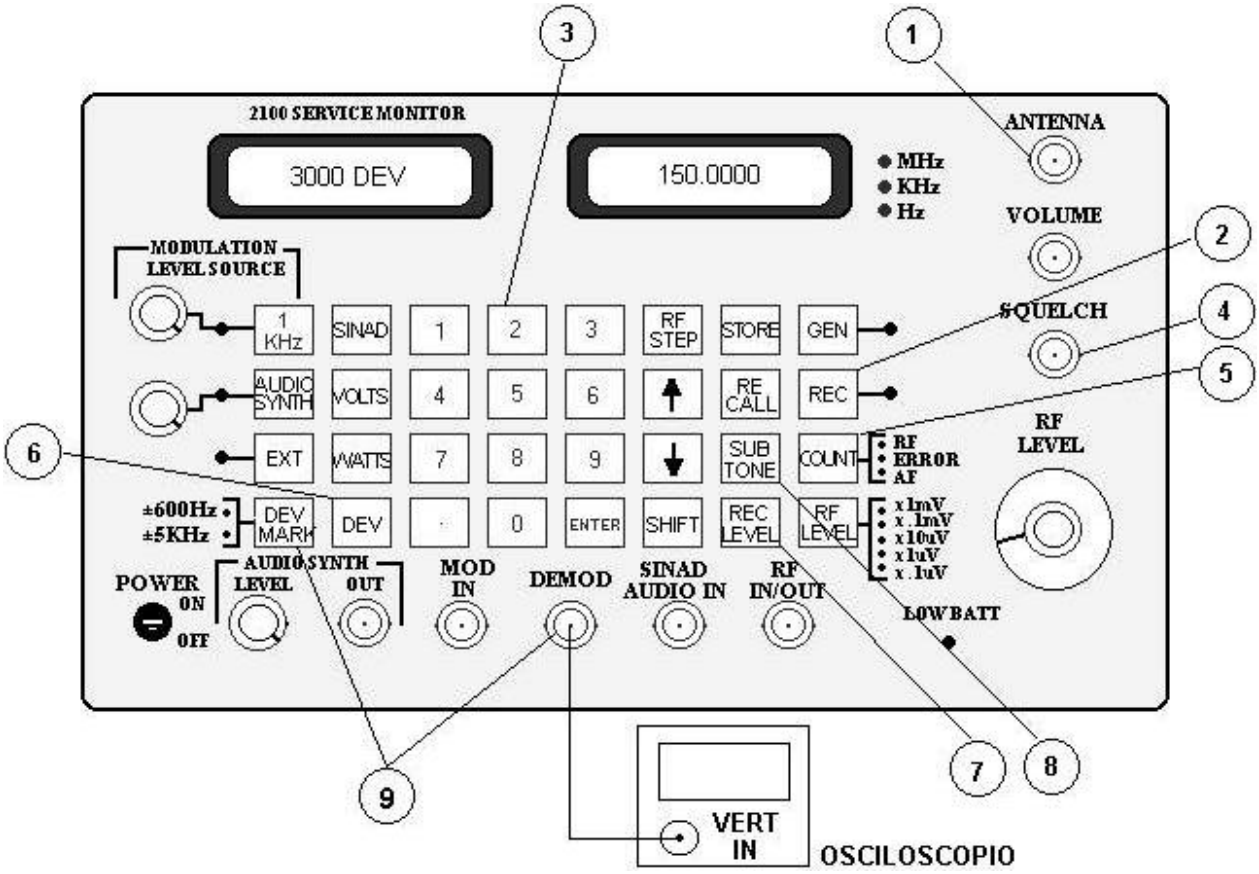
1. Conecte el jack RF IN/OUT a la entrada de RF (puerto de antena) del receptor a probar.
2. Seleccione el modo GEN
3. Programe la frecuencia en MHz del receptor usando el teclado numérico seguido de la tecla ENTER.
4. Conecte el receptor de audio a la entrada SINAD AUDIO IN.
5. Ajuste el RF LEVEL y el control de vernier a 1mV.
6. Seleccione DEV, fuente 1KHz, y ajuste el control de nivel de 1KHz para desviación de 5KHz.
7. Seleccione la función AC pk VOLTS.

8. Ajuste el silenciador, control SQUELCH a la posición máxima.
9. Conecte un voltímetro de alta resolución (en modo DC) al punto de prueba AGC del receptor bajo prueba.
10. Reduzca la salida de RF a 3dB. Tome nota del voltaje AGC. Ajuste de regreso la salida de RF a 1mV.
11. Seleccione el paso de RF y programe para 100Hz (0.0001MHz) de paso, usando el teclado numérico seguido de la tecla ENTER.
12. Seleccione GEN y use la tecla con flecha hacia arriba para incrementar la frecuencia de RF hasta obtener el voltaje AGC del paso 10. Recuerde esta como la “frecuencia superior”.
13. Use ahora la tecla con flecha hacia abajo para retornar a la frecuencia central y continúe decrementando hasta que vuelva a obtener el voltaje AGC anotado en el punto 10. Apúntela como la frecuencia inferior. La diferencia entre la frecuencia superior y la frecuencia inferior es el ancho de banda de 3dB. La simetría es buena si la frecuencia inferior se encuentra a la misma distancia desde el centro que la frecuencia superior.

Medidas en el Transmisor.

Monitoreo fuera de aire

El receptor 2100 provee cobertura continua de frecuencia desde los 400KHz a 999.9999MHz con buena sensibilidad y rechazo de intermodulación. La Sensibilidad del receptor es típicamente 2mV o 10dB para monitoreo fuera del aire.



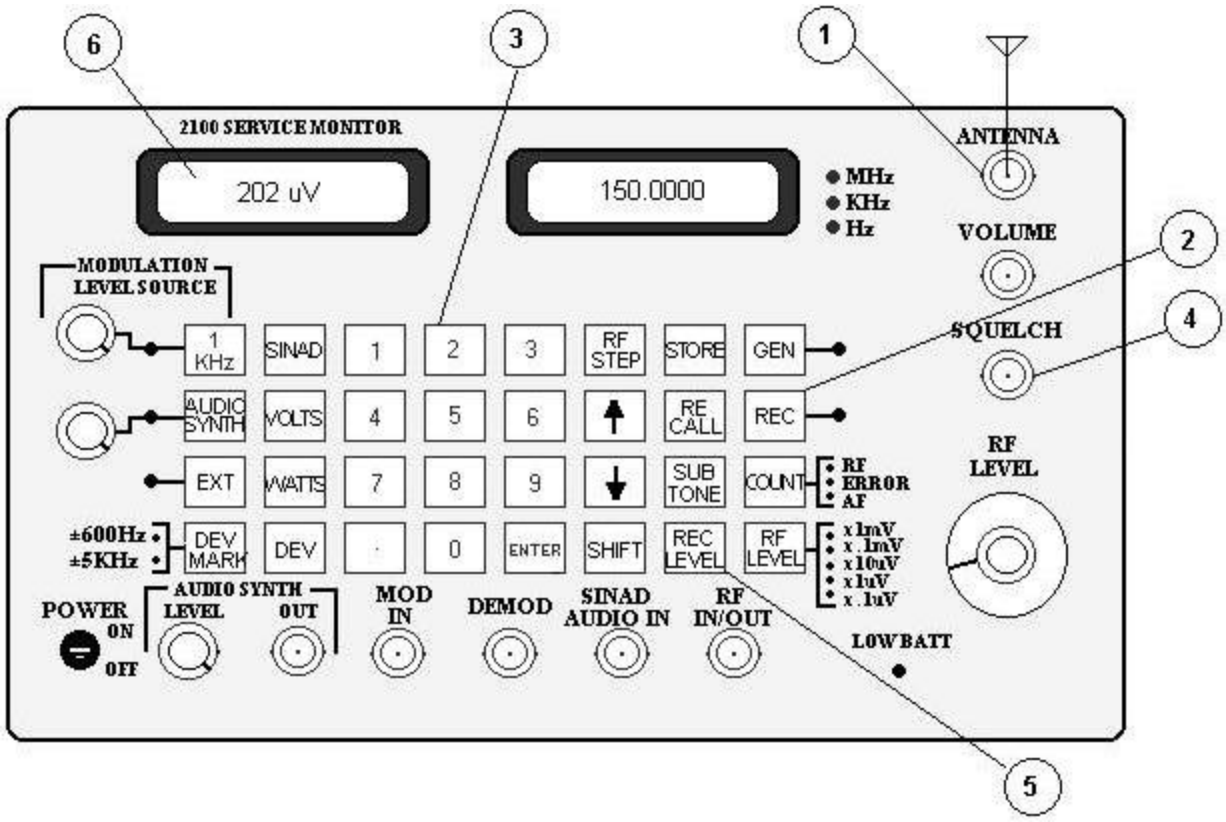
1. Conectar la antena a la entrada de antena.
2. Seleccione el modo REC.
3. Programe la frecuencia a ser monitoreada en MHz usando las teclas de entrada de datos seguido de la tecla ENTER.
4. Ajuste el control de silencio SQUELCH para la sensibilidad requerida.
5. Seleccione COUNT RF para desplegar la frecuencia actual de las señales de RF recibidas sobre 100mV.

   Seleccione COUNT ERROR para desplegar el error de frecuencia de la señal recibida.

Seleccione COUNT AF para desplegar la frecuencia de modulación de audio en la portadora.

6. Seleccione DEV para desplegar la desviación FM en la portadora.
7. Seleccione REC LEVEL para desplegar la estrechez de la señal.
8. Seleccione SUBTONE para desplegar tono CTCSS en el display LCD de la derecha.
9. Seleccione DEV MARK y conecte el jack DEMOD a un osciloscopio externo para calibrar el audio demodulado al marcador de ±600Hz o a ±5KHz.

Medida de Estrechez de señal relativa

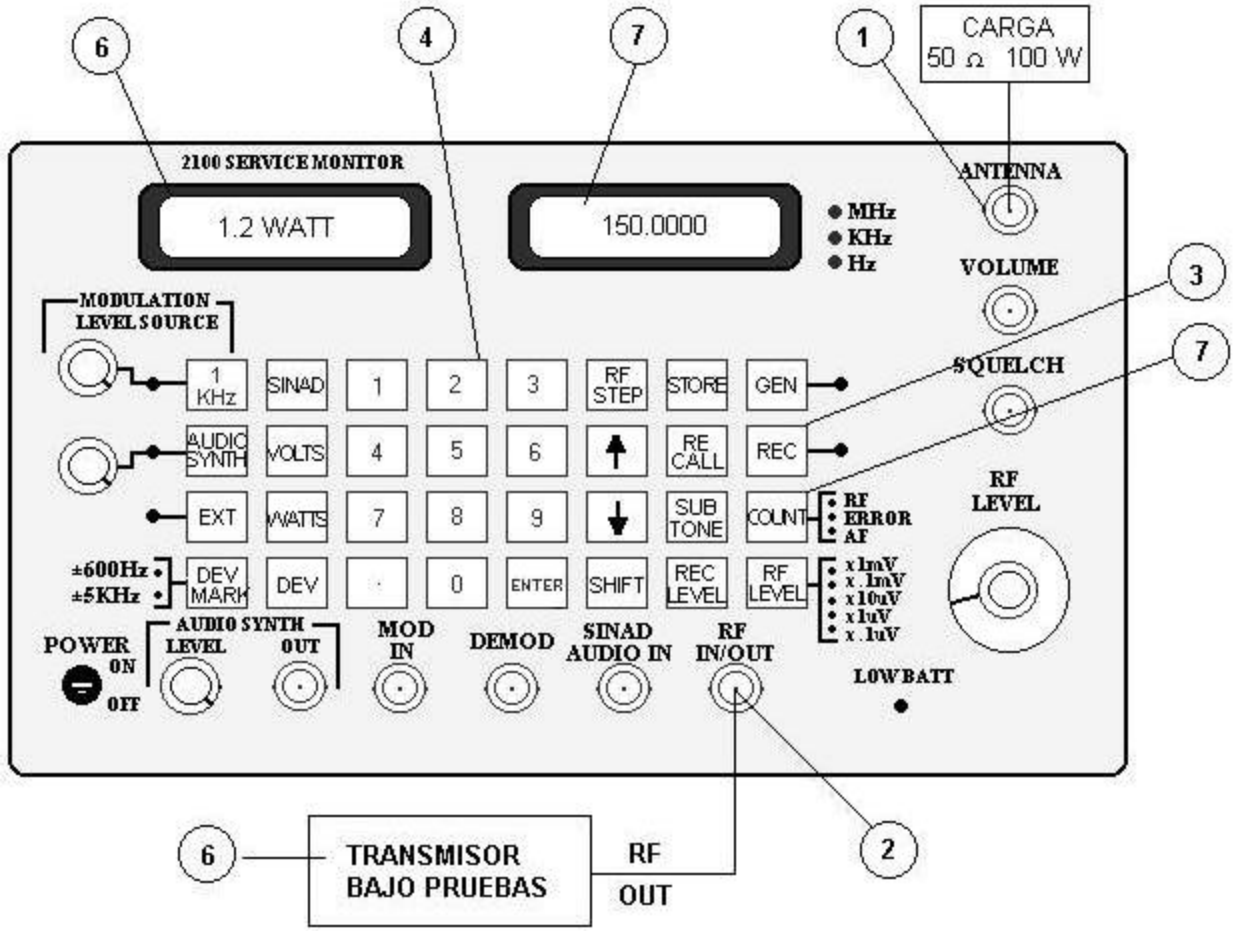


1. Conecte la antena al jack de entrada de antena. Para medidas en sitios remotos, conecte a una antena de exterior.
2. Seleccione el modo RCV.
3. Programe la frecuencia a monitorear a través del teclado numérico.
4. Abra el control SQUELCH.

5. Seleccione REC LEVEL.
6. Compare la estrechez de la señal leyendo con la última “buena indicación” conocida, o use para comparar dos transmisores del mismo nivel de potencia de salida en lugares próximos.

Nota: Deberán realizarse varias comparaciones usando el instrumento para determinar que la lectura de referencia de un transmisor es correcta. Esto requiere tomar las lecturas del test a la misma hora del día y bajo las mismas condiciones atmosféricas.

Midiendo la potencia del transmisor y el error de frecuencia.

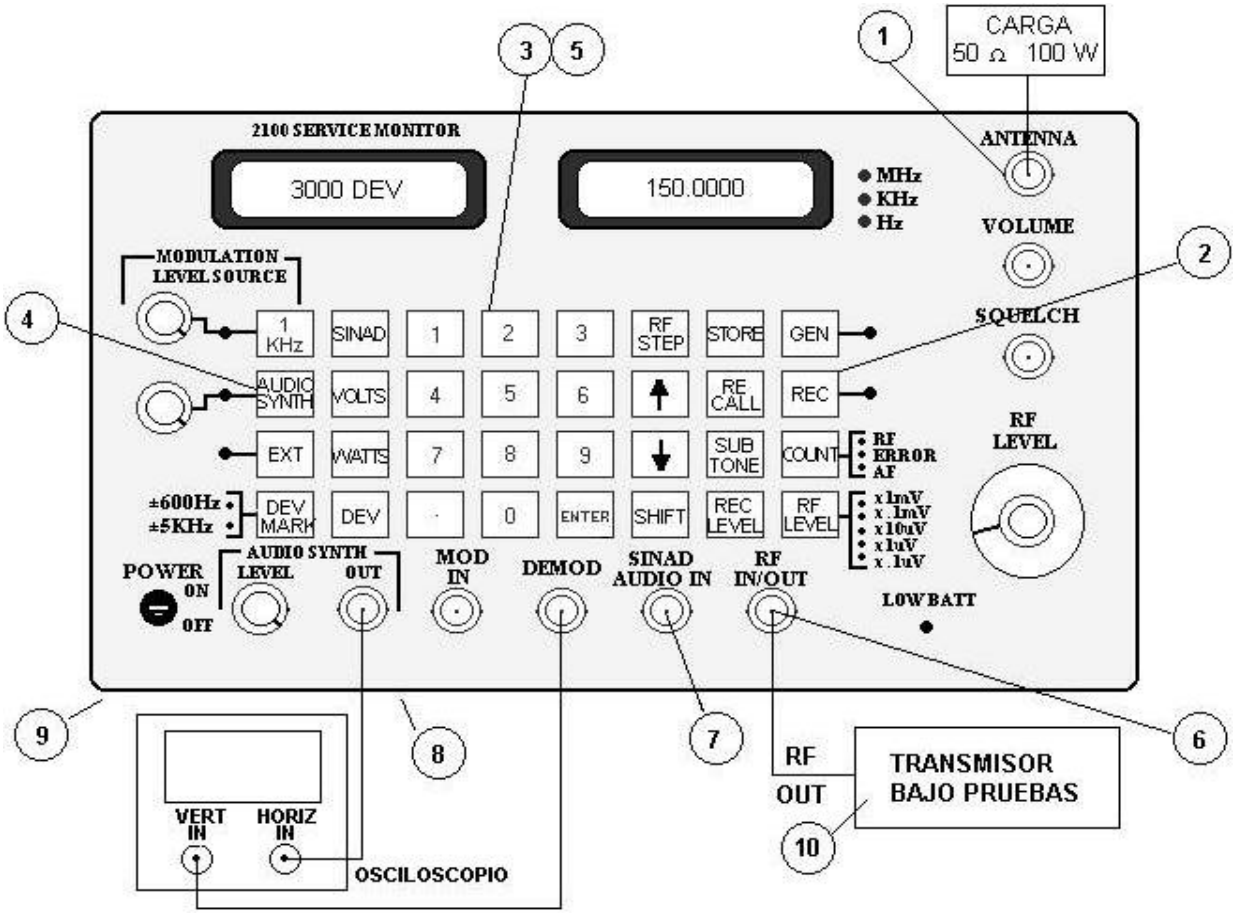


1. Conecte una carga de RF de 50 o 100Watt al puerto de antena.

2. Conecte la salida de RF del transmisor al jack RF IN/OUT.
3. Seleccione el modo REC.
4. Programe la frecuencia del transmisor en el monitor usando el teclado numérico seguido de ENTER.
5. Para prevenir el recalentamiento del instrumento, vea las instrucciones para la aplicación de potencia al wattmetro.
6. Afine el transmisor. La unidad de potencia en watts será desplegada en LCD de la izquierda.
7. Seleccione COUNT ERROR y lea el error de frecuencia en el LCD de la derecha.

Sintonización de Tonos subaudibles del transmisor.

Los tonos CTCSS pueden ser identificados usando la función SUBTONE. Esta tarea también puede ser desarrollada rápidamente usando un osciloscopio par crear un patrón de lissajous durante la sintonización.



1. Conecte una carga de RF de 50 o 100 W al jack de antena.
2. Seleccione el modo REC.
3. Configure la frecuencia del transmisor en MHz usando el teclado numérico.
4. Seleccione AUDIO SYNTH.
5. Use el teclado numérico para programar el subtono deseado en Hz y termine el dato con la tecla ENTER.
6. Conecte el puerto de antena del transmisor bajo prueba al puerto de RF IN/OUT del monitor.
7. Conecte la salida DEMOD a la entrada vertical del osciloscopio.
8. Conecte la salida del sintetizador de audio a la entrada horizontal del osciloscopio.
9. Para prevenir el sobrecalentamiento del instrumento, vea las especificaciones para la aplicación de potencia al wattmetro.
10. Afine el transmisor.
11. Ajuste el nivel del sintetizador de audio para un patrón de lissajous en el osciloscopio.
12. Ajuste la frecuencia de subtono del transmisor para un patrón de lissajous estable.

Programación miscelánea con el teclado

Programación del tamaño del paso de RF.

1. Seleccione RF STEP.
2. Ingrese el tamaño de paso de RF deseado en MHz y presione ENTER.
3. Use las teclas de flecha hacia arriba o abajo para pasar por la frecuencia de RF.

Operación de memoria y rellamado.

Veinte registros de almacenamiento (1-20) están disponibles. Para almacenar un esquema en la memoria:

1. Seleccione STORE.
2. Ingrese una ubicación de memoria (desde 1-20) usando las teclas.

3. Seleccione ENTER para terminar.

Para llamar un registro de la memoria.

1. Seleccione la tecla RECALL
2. Seleccione el registro de memoria deseado (desde 1-20) usando el teclado.
3. Lame (active) el registro presionando ENTER.
4. El operador puede visualizar las configuraciones almacenadas presionando RECALL seguido de las teclas de flecha hacia arriba o hacia abajo.

ANEXO 2

Formularios

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES RADIODIFUSION SONORA	**FRS-G** **1/5**

IDENTIFICACION DEL CONCESIONARIO:

CONCESIONARIO:	
DOMICILIO:	
RUT:	
COMUNA:	
REGION:	
FONO:	
FAX:	
REPRESENTANTE LEGAL:	
SEÑAL DISTINTIVA:	
FRECUENCIA DE OPERACION:	
NOMBRE DE RADIOEMISORA:	
N° DECRETO CONCESION:	FECHA:
N° DECRETO MODIFICACION 1:	FECHA:
N° DECRETO MODIFICACION 2:	FECHA:
N° DECRETO MODIFICACION 3:	FECHA:

TECNICO RESPONSABLE:	
DIRECCION:	
REGION:	
FONO:	

IDENTIFICACION DEL PERSONAL:

* PERSONA QUE ATIENDE EN LA RADIOEMISORA	:
* EMPRESA QUE REALIZA LA TOMA DE DATOS	:
* PERSONA QUE REALIZA LA TOMA DE DATOS	:

DATOS GENERALES:

FECHA DE LA TOMA DE DATOS:	
HORA DE LA TOMA DE DATOS	:

OBSERVACIONES:

1.
2.

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES RADIODIFUSION SONORA	**FRS-G** **2/5**

DIRECCION ESTUDIOS:
COMUNA:
REGION:
FONO
COORDENADAS GEOGRAFICAS:

ASPECTOS TECNICOS:

CONSOLA:	**PROCESADOR DE AUDIO:**	**GENERADOR STEREO:**
* MARCA: * MODELO: * TIPO DECIBELIMETRO ------ ANALOGICO ------ DIGITAL	MARCA MODELO:	MARCA MODELO:

MEDIDAS DE SEGURIDAD:

TIPO DE CONSTRUCCION	**ILUMINACION** 1) NATURAL 2) ARTIFICIAL	**TIERRA DE SERVICIO**

INSTALACION ELECTRICA: (ANEXO I, SEC)	**EXTINTORES:** CANTIDAD: - VIGENTES VENCIDOS

ENLACE ESTUDIO-PLANTA TRANSMISORA:

TIPO:

*** TRANSMISOR DE ENLACE:**	*** ANTENA DE ENLACE TRANSMISORA:**
MARCA: MODELO: FRECUENCIA MHz POTENCIA: W. NIVEL 2a ARMONICA: - dBc NIVEL 3a ARMONICA: - dBc ANCHO DE BANDA: KHz DESVIACION DE FM: ± 75 KHz RADIACION NO ESENCIALES:	TIPO POLARIZACION: GANANCIA: dBd N° ELEMENTOS

OBSERVACIONES A LOS ESTUDIOS:

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES RADIODIFUSION SONORA	FRS-G 3/5

ACCESO PLANTA TRANSMISORA:

DIRECCION PLANTA TRANSMISORA:
COMUNA:
REGION:
FONO:
COORDENADAS GEOGRAFICAS:

ENLACE ESTUDIO-PLANTA TRANSMISORA

*** RECEPTOR DE ENLACE:**	*** ANTENA DE ENLACE RECEPTORA:**
MARCA:	TIPO:
MODELO:	POLARIZACION:
FRECUENCIA:	GANANCIA: dB
	N° ELEMENTOS:

ASPECTOS TECNICOS EQUIPO TRANSMISOR

MARCA:
MODELO:
MUESTRA RF:
FILTRO INTERNO:
FILTRO EXTERNO:
TIPO FILTRO:
BASTON DE DESCARGA:
TAPAS DE ACCESO :
TIERRA DE PROTECION:

POTENCIA OPERACION	KW
FRECUENCIA OPERACION	MHz
DESVIACION FRECUENCIA	KHz
ANCHO DE BANDA A - 3 dB	KHz
ANCHO DE BANDA A -25 dB	KHz
ANCHO DE BANDA A - 35 dB	KHz

INSTRUMENTOS PARA MEDIDAS DIRECTAS Y LECTURAS:

1.- .POTENCIA DIRECTA. ..... WATTS
2.- .POTENCIA REFLEJADA.... .. WATTS
3.- .VOLTAJE ETAPA FINAL. V .....
4.- .CORRIENTE ETAPA FINAL. A.....
5.- .....

NIVEL DE ARMONICOS:

FUNDAMENTAL:	dB
SEGUNDA:	dB
TERCERA:	dB
CUARTA:	dB
QUINTA	dB
SEXTA:	dB
SEPTIMA:	dB
OCTAVA:	dB
NOVENA:	dB
DECIMA	dB

RADIACIONES NO ESENCIALES:

NO PRESENTA

FRECUENCIA	**NIVEL (dB)** Respecto a Fundamental
1.-	
2.-	
3.-	
4.-	

.....	.....
	5.- .....
	.....
ATENUACION A CANAL ADYACENTE:	6.- .....
	.....
± 200 Khz: - dB	7.- .....
	.....
± 400 Khz: - dB	8.- .....
	.....
± 600 Khz: - dB	9.- .....
	.....
± 800 Khz: - dB	10. .....
	.....

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES RADIODIFUSION SONORA	**FRS-G** **4/5**

SISTEMA RADIANTE

TIPO:
N° ELEMENTOS:
GANANCIA SISTEMA: dB
POLARIZACION:
RADIACION:

TIPO TORRE:
1.- AUTOSOPORTADA -----
2.- VENTADA
* VIENTOS BUENOS :
MALOS : ------
REGULARES : ------
* PROTECCION:
* TENSORES BUENOS
MALOS : ------
REGULARES : ------
ALTURA TORRE: m
ALT. CENTRO RADIACION: m
COTA TERRENO: m
TORRE COMPARTIDA:
N° SIST. COMPARTIDOS: ( )
1.-
2.-
3.-

BALIZAS OPERATIVAS:
CERCO PROTECCION:
PINTURA TORRE:

LETRERO PELIGRO:

EQUIPO TRANSMISOR DE RESPALDO:

SI	
NO	X

MARCA:				
MODELO:				
MUESTRA RF:	---	SI	---	NO
FILTRO INTERNO	---	SI	---	NO
FILTRO EXTERNO	---	SI	---	NO
TIPO FILTRO:				
BASTON DE DESCARGA	---	SI	---	NO
TAPAS DE ACCESO	---	SI	---	NO
TIERRA DE PROTECCION	---	SI	---	NO

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES RADIODIFUSION SONORA

FRS-G
5/5

CASETA DE TRANSMISION

TIPO DE CONSTRUCCION:

METALICA FORRADA CON PISO **BUENA**

INSTALACION ELECTRICA:

CUMPLE

ILUMINACION:

1) NATURAL 2) ARTIFICIAL SI

TIERRA DE SERVICIO:

TIENE

EXTINTORES:

CANTIDAD: 1
1 VIGENTES 0 VENCIDOS

VENTILACION:

TIPO: FORZADA
ESTADO BUENA : SI .
REGULAR : ------
MALA : ------

RESPALDO DE ENERGIA: NO --X----

EQUIPO ELECTROGENO: NO --X----

OBSERVACIONES:

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES SERVICIOS LIMITADOS	FSL-G 1/3

IDENTIFICACION DEL PERMISIONARIO:

PERMISIONARIO:	
DOMICILIO:	
RUT:	
COMUNA:	
REGION:	
FONO:	
FAX:	
REPRESENTANTE LEGAL:	
NUMERO RESOLUCION:	
N° RESOLUCION MODIFICACION 1	FECHA:
N° RESOLUCION MODIFICACION 2	FECHA:
N° RESOLUCION MODIFICACION 3	FECHA:

TECNICO RESPONSABLE:
COMUNA:
REGION:
FONO:

IDENTIFICACION DEL PERSONAL:

* PERSONA QUE ATIENDE EN LA ESTACION	:	
* EMPRESA QUE REALIZA LA TOMA DE DATOS	:	UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
* PERSONA QUE REALIZA LA TOMA DE DATOS	:	FRANKLIN CASTRO ROJAS

DATOS GENERALES:

FECHA DE LA TOMA DE DATOS:

HORA DE LA TOMA DE DATOS :

OBSERVACIONES:

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES ESTACION S.L.	**FSL-E 2/3**

BANDA DE OPERACION DEL SISTEMA:
VHF

CANTIDAD DE ESTACIONES OPERATIVOS:					
BASES:	1	MOVILES:	4	REPETIDORES:	CERO
FIJAS:	0	PORTATILES:	0	MOVIL OPERATIVO:	CERO

TIPO Y UBICACION DE ESTACIONES:

TIPO ESTACION	**MARCA**	**MODELO**	**CANTIDAD**
1.-	1.-	1-	1.-
2.-	2.-	2.-	2.-
3.-	3.-	3.-	3.-
4.-	4.-	4.-	4.-
5.-	5.-	5.-	5.-
6.-	6.-	6.-	6.-
7.-	7	7	7

DIRECCION:	**COMUNA**	**REGION**	FONO
1.-	1.-	1-	1.-
2.-	2.-	2.-	2.-
3.-	3.-	3.-	3.-
4.-	4.-	4.-	4.-
5.-	5.-	5.-	5.-
6.-	6.-	6.-	6.-
7.-	7	7	7

OBSERVACIONES:
1.-
2.- NO TIENE TONOS SUBAUDIBLES PROGRAMADOS.

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES ESTACION S.L.	FSL-E 3/3

MEDICIONES A ESTACIONES

ESTACION N°:	FRECUENCIAS:	POT. DIRECTA:	POT. REFLEJADA:	TIPO EMISION	TONO SUB-AUDIBLE:

SISTEMA RADIANTE:

TIPO ANTENA	N° ELEMENTOS
1 .-	1.-
2.-	2.-
3.-	3.-
4.-	4.-
5.-	5.-
6.-	6.-

7.-	7.-

OBSERVACIONES:

ANEXO 3

Fiscalización Radio UACh

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES RADIODIFUSION SONORA	FRS-G 1/5

IDENTIFICACION DEL CONCESIONARIO:

CONCESIONARIO: Universidad Austral de Chile
DOMICILIO: General Lagos 2086
RUT: 81.380.500-6
COMUNA: Valdivia
REGION: Décima
FONO: 221765
FAX: 221765
REPRESENTANTE LEGAL: Carlos Amtmann M.
SEÑAL DISTINTIVA: XQD 90.1
FRECUENCIA DE OPERACION: 90.1 MHz
NOMBRE DE RADIOEMISORA: Radio Universidad Austral
N° DECRETO CONCESION: FECHA:
N° DECRETO MODIFICACION 1: FECHA:
N° DECRETO MODIFICACION 2: FECHA:
N° DECRETO MODIFICACION 3: FECHA:

TECNICO RESPONSABLE:
DIRECCION:
REGION:
FONO:

IDENTIFICACION DEL PERSONAL:

* PERSONA QUE ATIENDE EN LA RADIOEMISORA :
* EMPRESA QUE REALIZA LA TOMA DE DATOS : Instituto Electrónica UACh
* PERSONA QUE REALIZA LA TOMA DE DATOS : Marco Antonio Ojeda Haro

DATOS GENERALES:

FECHA DE LA TOMA DE DATOS: 23 de junio de 2003
HORA DE LA TOMA DE DATOS : 17.30 hrs

OBSERVACIONES:

1.
2.

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES RADIODIFUSION SONORA	**FRS-G** **2/5**

DIRECCION ESTUDIOS:
COMUNA: Valdivia
REGION: Décima
FONO
COORDENADAS GEOGRAFICAS:

ASPECTOS TECNICOS:

CONSOLA:
* MARCA:
* MODELO:
* TIPO DECIBELIMETRO
  ------ ANALOGICO

  ------ DIGITAL

PROCESADOR DE AUDIO:

MARCA: Orban

MODELO: Optimod 2200

GENERADOR STEREO:

MARCA: Orban

MODELO: Optimod 2200

MEDIDAS DE SEGURIDAD:

TIPO DE CONSTRUCCION

ILUMINACION
1) NATURAL 2) ARTIFICIAL

TIERRA DE SERVICIO
Si

INSTALACION ELECTRICA: (ANEXO I, SEC)

EXTINTORES:
CANTIDAD:
- VIGENTES VENCIDOS

ENLACE ESTUDIO-PLANTA TRANSMISORA: NO TIENE

TIPO:

*** TRANSMISOR DE ENLACE:**
MARCA:
MODELO:
FRECUENCIA MHz
POTENCIA: W.
NIVEL 2a ARMONICA: - dBc
NIVEL 3a ARMONICA: - dBc
ANCHO DE BANDA: KHz
DESVIACION DE FM: ± 75 KHz
RADIACION NO ESENCIALES:

*** ANTENA DE ENLACE TRANSMISORA:**
TIPO
POLARIZACION:
GANANCIA: dBd
N° ELEMENTOS

OBSERVACIONES A LOS ESTUDIOS:

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES
RADIODIFUSION SONORA

FRS-G
3/5

ACCESO PLANTA TRANSMISORA:

DIRECCION PLANTA TRANSMISORA: General Lagos 2086
COMUNA: Valdivia
REGION: Décima
FONO:
COORDENADAS GEOGRAFICAS:

ENLACE ESTUDIO-PLANTA TRANSMISORA

*** RECEPTOR DE ENLACE: No Tiene**
MARCA:
MODELO:
FRECUENCIA:

*** ANTENA DE ENLACE RECEPTORA: No**
TIPO:
POLARIZACION:
GANANCIA: dB
N° ELEMENTOS:

ASPECTOS TECNICOS EQUIPO TRANSMISOR

MARCA: Elenos
MODELO:
MUESTRA RF: Si
FILTRO INTERNO: Si
FILTRO EXTERNO: No
TIPO FILTRO: No
BASTON DE DESCARGA: No
TAPAS DE ACCESO : No
TIERRA DE PROTECION: Si

POTENCIA OPERACION	0.350	KW
FRECUENCIA OPERACION	90.1	MHz
DESVIACION FRECUENCIA	±52	KHz
ANCHO DE BANDA A - 3 dB	42	KHz
ANCHO DE BANDA A -25 dB	74	KHz
ANCHO DE BANDA A - 35 dB	100	KHz

INSTRUMENTOS PARA MEDIDAS DIRECTAS Y LECTURAS:

1.- .POTENCIA DIRECTA.	350	WATTS
2.- .POTENCIA REFLEJADA	2	WATTS
3.- .VOLTAJE ETAPA FINAL.	40	V
4.- .CORRIENTE ETAPA FINAL.	14	A
5.-		
.....		

NIVEL DE ARMONICOS:

FUNDAMENTAL:	0	dB
SEGUNDA:	-62	dB
TERCERA:	-40	dB
CUARTA:	-62	dB
QUINTA	mejor que -70	dB
SEXTA:	mejor que –70	dB
SEPTIMA:	mejor que –70	dB
OCTAVA:	mejor que –70	dB
NOVENA:	mejor que –70	dB
DECIMA	mejor que –70	dB

RADIACIONES NO ESENCIALES:
NO PRESENTA

FRECUENCIA	**NIVEL (dB)** Respecto a Fundamental
1.- 90.1	0
2.- 180.2	-62
3.- 270.3	-40
4.- 360.4	-62

ATENUACION A CANAL ADYACENTE:		
± 200 Khz:	- 62.7	dBc
± 400 Khz:	- 62.8	dBc
± 600 Khz:	- 64.8	dBc
± 800 Khz:	- 64.1	dBc

5.-	450.5	mejor que -70
6.-	540.6	mejor que -70
7.-	630.7	mejor que -70
8.-	720.8	mejor que -70
9.-	810.9	mejor que –70
10.	900.1	mejor que –70

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES RADIODIFUSION SONORA

FRS-G
4/5

SISTEMA RADIANTE

TIPO:	Anillo	
N° ELEMENTOS:	4	
GANANCIA SISTEMA:	3	dB
POLARIZACION:	Circular	
RADIACION:	Omnidireccional	

TIPO TORRE:

1.- AUTOSOPORTADA -----
2.- VENTADA
* VIENTOS BUENOS :
MALOS : ------
REGULARES : ------
* PROTECCION:
* TENSORES BUENOS
MALOS : ------
REGULARES : ------

ALTURA TORRE: m
ALT. CENTRO RADIACION: m
COTA TERRENO: m
TORRE COMPARTIDA:
N° SIST. COMPARTIDOS: ( )
1.-
2.-
3.-

BALIZAS OPERATIVAS:
CERCO PROTECCION:
PINTURA TORRE:

LETRERO PELIGRO:

EQUIPO TRANSMISOR DE RESPALDO:

SI	
NO	X

MARCA:				
MODELO:				
MUESTRA RF:	---	SI	---	NO
FILTRO INTERNO	---	SI	---	NO
FILTRO EXTERNO	---	SI	---	NO
TIPO FILTRO:				

BASTON DE DESCARGA	---	SI	---	NO
TAPAS DE ACCESO	---	SI	---	NO
TIERRA DE PROTECCION	---	SI	---	NO

FORMULARIO ANTECEDENTES GENERALES RADIODIFUSION SONORA	**FRS-G** **1/5**

CASETA DE TRANSMISION

TIPO DE CONSTRUCCION:

METALICA FORRADA CON PISO **BUENA**

INSTALACION ELECTRICA:

CUMPLE

ILUMINACION:

1) NATURAL 2) ARTIFICIAL SI

TIERRA DE SERVICIO:

TIENE

EXTINTORES:

CANTIDAD: 1
1 VIGENTES 0 VENCIDOS

VENTILACION:

TIPO: FORZADA
ESTADO BUENA : SI .
REGULAR : ------
MALA : ------

RESPALDO DE ENERGIA: NO --X----

EQUIPO ELECTROGENO: NO --X----

OBSERVACIONES: