

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

ANALISIS DE COMPATIBILIDAD EN
F.M. Y T.V.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N
EMIGDIO FCO. CARRO DE LA FUENTE
BERNARDO MARTINEZ AVALOS

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Página
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
DESARROLLO DE LA RADIODIFUSION COMERCIAL	
1.1. El Telégrafo	3
1.2. El Teléfono	4
1.3. La Teoría de Maxwell	5
1.4. El transmisor de Hertz	6
1.5. El Radiotelégrafo de Marconi	7
1.6. Los Tubos de Vacío	8
1.7. El Radioteléfono	10
1.8. El Nacimiento de la Radiodifusión Comercial	11
1.9. La F. C. C.	12
1.10 Radiodifusión en Frecuencia Modulada	14
1.11 Radiodifusión en F.M. Estereo y la Compatibilidad	17
1.12 Las Primeras Transmisiones de Imágenes	19
1.13 La Televisión Monocromática	21
1.14 La Televisión Cromática y la Compatibilidad	24
1.15 Metodología a Seguir en el Estudio de la Compatibilidad	26
CAPITULO 2	
LA COMPATIBILIDAD EN EL SISTEMA DE F. M. ESTEREOFONICO	
2.1. Tipos de Ondas Emitidas	28
2.2. Modulación	28
2.3. Análisis Matemático de la Señal de F.M.	29

2.4. Índice de Modulación y Desviación de Frecuencia	32
2.5. Espectro de la Señal de F.M.	34
2.6. Ancho de Banda en F.M. Monofónica	41
2.7. Transmisor de F.M. Monofónico	47
2.8. Receptor de F.M. Monofónica	49
2.9. Principio de Estereofonía	52
2.10 Sistemas de F.M. Estereofónico	55
2.11 F.M. Estereofónico Comercial	58
2.12 Transmisor de F.M. Estereofónico	59
2.13 Receptor de F.M. Estereofónico	62
2.14 Reglamentación de F.M. Estereo	63
2.15 Análisis de la Señal F.M. Estereofónico	67
2.16 Espectro y Ancho de Banda en F.M. Estereofónico	73
2.17 Compatibilidad del Sistema F.M. Estereofónico	78

CAPITULO 3

LA COMPATIBILIDAD EN EL SISTEMA DE T.V. CROMATICA	
3.1. La reproducción de imágenes en la T.V.	83
3.2. Análisis de la Imagen en la T.V. MONOCROMATICA	84
3.3. Análisis y Síntesis con Tramas Entrelazadas	86
3.4. Forma de la Señal de Video	91
3.5. Ancho de Banda de la Señal de Video	93
3.6. Señales de Barrido	95
3.7. Señal de Video Compuesto	97
3.8. Normas de T.V.	100
3.9. Espectro de la Señal de Video Compuesto	101
3.10 Transmisor de T.V. Cromática	118
3.11 Receptor de T.V. Monocromática	122

	Página
3.12. Sistema N.T.S.C. de Televisión Cromática	123
3.13. Señales de Luminancia y Crominancia	124
3.14. Espectro y Ancho de Banda de la Señal de T.V. Cromática	127
3.15. Transmisor de T.V. Cromática	131
3.16. Receptor de T.V. Cromática	133
3.17. Compatibilidad de la T.V. Cromática	136
CONCLUSION	145
BIBLIOGRAFIA	148

I N T R O D U C C I O N

Los cambios que ha sufrido la sociedad durante este siglo, se han debido en gran parte a la influencia que han ejercido sobre ella los medios de comunicación masiva.-- Entre éstos la radio y la televisión representan una comunicación inmediata entre el público y las estaciones transmi-soras, haciendo posible que cualquier mensaje, ya sea publi-citario, político, noticioso, cultural o de esparcimiento, sea recibido al instante que es transmitido, por el audito-rio.

Según las estadísticas, cuando menos el 80% de la población en México, capta diariamente alguna transmisión hecha por medio de la radio o la televisión. Dicho porcenta-je abarca a hombres y mujeres de todas las edades y clases-sociales. Esto provoca que las costumbres y la forma de pensar de muchas personas se vean alteradas por la programa---ción transmitida por estos medios.

Del conocimiento que se tenga de dichos sistemas-de comunicación, desde el punto de vista técnico y social, depende-rá la utilidad que se les pueda dar en el futuro, para que la influencia que ejercen sobre la sociedad sea real

mente benéfica para todos.

En esta tesis se hará un estudio acerca de una de las propiedades que deben de tener algunos sistemas de comunicación con respecto a otros, llamada compatibilidad. Aunque hay más sistemas que deben ser compatibles con otros, - en este trabajo se profundizará en el análisis teórico de - la compatibilidad que posee el sistema de F.M. estereofónico con el F.M. monofónico y la que tiene el sistema de T.V. cromática con el de T.V. monocromática.

Para comprender con mayor claridad lo que es la - compatibilidad, en el primer capítulo se hará una breve exposición de como se fueron desarrollando los sistemas de comunicación desde la invención del telégrafo hasta cuando -- las compañías de radiodifusión comercial pudieron ofrecer - programas en F.M. estereofónico y T.V. cromática sujetándose a ciertas normas, entre las que se hallaba la compatibilidad. Se explicará también la metodología que se seguirá - en los capítulos segundo y tercero, en los cuales se estu--diará, utilizando la Teoría de las Comunicaciones, la compatibilidad de los sistemas de F.M. estereofónico y T.V. cromatica, respectivamente.

CAPITULO 1

DESARROLLO DE LA RADIODIFUSION COMERCIAL

1.1. EL TELEGRAFO

El desarrollo económico e industrial alcanzado por Europa y los Estados Unidos a raíz de la Revolución Industrial iniciada a finales del siglo XVIII, requería de sistemas de comunicación rápidos y eficientes. La comunicación entre poblaciones lejanas se hacía, hasta principios del siglo XIX, principalmente por medio del correo, que lógicamente era muy lento. La solución a este problema la dió la utilización de la energía eléctrica, para este fin.

La primera aplicación práctica que se hizo de la energía eléctrica dentro del campo de las comunicaciones fue con el descubrimiento del telégrafo electromagnético, hecho por el físico norteamericano Samuel F. B. Morse, quien en 1832 construyó un modelo experimental en el que, la acción mecánica de un electroimán hacía funcionar una palanca que sostenía un lápiz. El paso de impulsos eléctricos a través del electroimán hacía que el lápiz se moviera sobre la superficie de una cinta de papel; a medida que ésta avanzaba sobre un cilindro situado debajo del papel, se

iban trazando una serie de líneas y puntos. Cada combinación de estas líneas y puntos representaba una letra, número o signo, según un código llamado Clave Morse.

Bajo este principio se pudo construir un transmisor y receptor, a los cuales se les hicieron varias modificaciones hasta que en 1844, con la ayuda económica del gobierno de los Estados Unidos, se inauguró el primer servicio público telegráfico, mediante una línea de 64 k.m. tendida entre las ciudades de Washington D.C. y Baltimore. En ese mismo año se descubrió que era posible decifrar los mensajes en Clave Morse, por la diferencia de sonidos que producía la palanca al transmitirse una línea o un punto. Y se consideró que con alguna práctica, el telegrafista podría interpretar las señales oyéndolas.

1.2. EL TELEFONO.

El uso del telégrafo se extendió por todo el mundo, ya que hacía posible una comunicación rápida entre dos puntos distantes. Pero siempre se requería de la utilización de un código y de conductores entre transmisor y receptor.

Con la aparición del teléfono, fué posible la comunicación a grandes distancias, por medio de la transmi-

sión de la voz humana. El primer teléfono capacitado para un uso práctico fué inventado por Alexander Grahan Bell, nacido en los Estados Unidos.

El teléfono de Bell, patentado en 1876, consistía básicamente de una membrana que vibraba, al chocar sobre ella las ondas acústicas, producidas por la voz; esta membrana estaba frente a un electroimán, de tal forma que el movimiento causado por la voz provocaba la inducción de una corriente eléctrica que circulaba en el embobinado del electroimán. La corriente era conducida a otro dispositivo similar al anterior pero este reproducía el sonido original al vibrar su membrana, por la acción de su electroimán. De esta forma se podían transmitir y recibir mensajes hablados.

Al teléfono de Bell se le hicieron varios cambios, con el fin de hacerlo más eficiente, entre estos la utilización del micrófono de carbón inventado por el norteamericano Tomas A. Edison. Y en 1878 se puso en servicio la primera central telefónica.

1.3. LA TEORIA DE MAXWELL

El gran éxito comercial alcanzado por las compañías que vendían los servicios telegráficos y telefónicos,

animó a varios investigadores a buscar la forma de lograr una comunicación sin necesidad de conductores, ya que de esta forma se abatirían los costos de instalación y mantenimiento de las líneas. Además, por las frecuentes guerras que había en ese tiempo los postes y conductores eran atacados y los servicios se suspendían continuamente.

Ya desde 1856 el británico James Clerck Maxwell, había escrito su ahora famoso trabajo teórico sobre la propagación de ondas electromagnéticas. En esta publicación científica, propuso la posible existencia de ondas electromagnéticas y, al mismo tiempo afirmó que, si se producían alguna vez dichas ondas, se propagarían por el espacio libre a la velocidad de la luz.

Según Maxwell, la luz misma se propaga como una onda electromagnética, y las ondas producidas eléctricamente pueden diferir de la luz, sólo por su longitud de onda y su frecuencia. Pero Maxwell no indicó como se podrían generar o detectar tales ondas.

1.4. EL TRANSMISOR DE HERTZ.

La existencia real de las ondas electromagnéticas, no fue descubierta hasta 1888, cuando un joven científico alemán llamado Heinrich Hertz, empezó una serie de ex

perimentos en los cuales no sólo produjo y detectó ondas - electromagnéticas, sino que demostró prácticamente las propiedades ya mencionadas por Maxwell.

Hertz logró que un par de placas radiaran energía electromagnética, la cual era detectada por un anillo de alambre que estaba a cierta distancia de las placas. Este anillo no se cerraba, sino que entre sus extremos había una pequeña separación, en la cual se notaba la producción de chispas, las cuales podían ser vistas en la oscuridad. De esta forma se logró la primera transmisión de energía - electromagnética hecha por el hombre.

A pesar de éste y otros descubrimientos, que vinieron a demostrar prácticamente la teoría de Maxwell, - - Hertz no se interesó en buscarles una aplicación en el campo de las comunicaciones, pero numerosos hombres de ciencia se dedicaron a investigar para poderles encontrar algún uso a los resultados obtenidos por Hertz.

1.5. EL RADIOTELEGRAFO DE MARCONI

En 1895 el italiano Guglielmo Marconi, quien a diferencia de otros investigadores, no era un científico - de laboratorio, sino que siempre pensó en el gran negocio - que representaría el poder elaborar un sistema de transmi-

sión eléctrica sin cables, con un número casi ilimitado de receptores que podrían captar al mismo tiempo y en cualquier parte el mismo mensaje transmitido.

Marconi perfeccionó el sistema desarrollado por Hertz enviando una onda de alta frecuencia e interrumpiéndola de acuerdo con el código telegráfico de Morse. El receptor captaba la señal, por medio de un circuito sintonizado a la misma frecuencia de transmisión y reproducía el mensaje en términos de silencio y sonido. De esta forma se podían utilizar varios radiotelégrafos a la vez, ya que si cada uno transmitía a diferente frecuencia se evitaba que hubiera interferencias entre ellos.

Pero Marconi halló poco apoyo para comercializar su telégrafo inalámbrico en Italia. Entonces se trasladó a Inglaterra, donde obtuvo el éxito que había deseado. A finales del siglo XIX se establecieron los primeros servicios telegráficos por medio de la radiación de ondas electromagnéticas y en 1901 se transmitieron las primeras señales transatlánticas.

1.6. LOS TUBOS DE VACIO

El radiotelégrafo de Marconi, fué de gran utilidad, sobre todo en la navegación, pero no era apropiado pa

ra la radiodifusión de la voz o de la música, encontrándose limitado al uso de alguna clase de código como el Morse.

A partir de los sistemas introducidos por Marconi, el desarrollo de la radiodifusión, se debió básicamente a la utilización de los tubos de vacío.

En 1893, Edison demostró que entre un filamento calentado y una placa metálica, pasa una corriente cuando ambos se encuentran en el vacío y a una diferencia de potencial. En 1904 el físico inglés John Fleming encontró que este tubo de vacío, de dos electrodos (diodo) podía detectar radioseñales.

El científico norteamericano Lee de Forest agregó un tercer electrodo, que controlaría la magnitud de la corriente que pasa entre los otros dos. Este electrodo de control tomó al final la forma de una rejilla de alambre en zig-zag entre el filamento caliente y el electrodo metálico frío.

El tubo de vacío de tres electrodos (triado) fue patentado en 1906. Al año siguiente Forest patentó el uso del triado en un circuito amplificador y cinco años después, demostró que el triado puede también funcionar como un oscilador electrónico, capaz de producir corrientes al-

ternas de alta frecuencia.

1.7. EL RADIOTELEFONO.

A principios del siglo XIX muchos investigadores se preocuparon por encontrar la forma de transmitir, por me dio de la radiación de las ondas electromagnéticas, mensajes con la voz humana y musicales.

Era necesario acondicionar de alguna manera el -- mensaje para que pudiera ser transmitido sin interferir con otras señales y que fuera reproducida por los receptores -- con una buena calidad. La modulación es un proceso mediante el cual se logró esto.

Por medio de la modulación se translada cada mensaje a una diferente posición en el espectro de la frecuencia, utilizando una onda auxiliar, llamada portadora. En la modulación, la amplitud, la frecuencia o la fase de esta on da portadora, según el tipo de modulación que se realice, - varía en función de otra onda llamada moduladora, que está- relacionada con el mensaje.

Utilizando los tubos de vacío y otros dispositi-- vos se logró modular una portadora en su amplitud mediante- una señal de voz, proceso que se conoce con el nombre de am- plitud modulada o A.M. De esta forma se empezaron a desa-

rrollar los primeros radioteléfonos. Pero las señales eran muy vulnerables a todo tipo de interferencias.

Durante la primera guerra mundial (1914-1918), - los ingenieros de los países beligerantes diseñaron diferentes radios portátiles con baterías. Sin embargo, debido a la facilidad con la que el enemigo interfería en las comunicaciones, la necesidad de usar mensajes en clave y por la inherente desconfianza que creaba el uso de estos primeros radioteléfonos, los jefes del ejército los desecharon y fueron usados solo como equipo auxiliar. También se trató de usar la radio en la aviación militar, pero el servicio no era satisfactorio.

En 1919 Edwin H. Armstrong, militar de los Estados Unidos creó el primer receptor super heterodino de A.M con el cual se podían reproducir la voz humana y programas musicales con mayor selectividad y fidelidad. Además era - más portátil que los receptores usados durante la primera guerra mundial.

1.8. NACIMIENTO DE LA RADIODIFUSION COMERCIAL

En la primera guerra hubo muchas restricciones - para las estaciones experimentales de radio. Cuando terminó la guerra, estas emisoras volvieron a funcionar. La ma-

yoría de los operadores eran aficionados, con aparatos hechos en casa y no pensaban en la posibilidad de crear un medio de comunicación y entretenimiento masivo. Ellos generalmente transmitían la música producida por discos fonográficos o llamaban a sus vecinos y amigos a escuchar programas improvisados, realizados por otros radioaficionados. Pero en casos de emergencia, principalmente en inundaciones e incendios, los servicios prestados por los radioaficionados eran de gran utilidad.

La primera estación comercial fue la KDKA instalada en la fábrica de la Westinghouse de Pittsburgh, Pa., que inició la transmisión de programas rutinarios en Noviembre de 1920, operando a 833 kHz, con 50 watts de potencia en A.M.

De esta forma nació una nueva industria, que además de obtener ganancias por la venta de los aparatos receptores, recibía utilidades por el pago que hacían diferentes compañías para que se dieran a conocer sus productos, por medio de la radio. Así, la publicidad entraba directamente al hogar de los consumidores, logrando que los artículos que eran anunciados se vendieran más.

1.9. LA F.C.C.

En el año de 1923, tan solo en los Estados Uni--

dos había más de 500 estaciones de radio en A.M. Este rápido crecimiento trajo consigo varios problemas, ya que no había una legislación que regulara el uso de la radiodifusión.

En los Estados Unidos, en ese tiempo, la mayoría de las estaciones funcionaban al noreste de este país, ya que esa zona era la que poseía la mayor densidad de población.

En 1925 el Departamento de Comercio limitó el número de estaciones que debían funcionar en determinada zona y a cada una les asignó un lugar en la banda de A.M. (540 a 1600 k Hz) otorgándoles licencias para que pudieran llevar a cabo sus actividades y así evitar las interferencias entre ellas. Esta acción provocó las protestas de aquellos solicitantes a los que les era negada la licencia.

En la ciudad de Chicago el año de 1927 empezó a transmitir una estación de radio, a la cual se le había negado la licencia, en un canal asignado a una estación canadiense, ocasionando un conflicto internacional. Este problema con Canadá fué llevado a los tribunales, donde la corte dictaminó que el Departamento de Comercio no tenía la autoridad para negar licencias, ni para asignar canales.

La situación se volvió caótica, ya que a partir de este acontecimiento, cientos de estaciones escogieron --

sus propias frecuencias y operaban independientemente de cualquier regulación del gobierno. El problema se resolvió parcialmente con una ley, promulgada por el congreso de los Estados Unidos en 1927, en la cual se hacía recaer la responsabilidad de normar el uso de la radiodifusión, en la llamada Comisión Federal de Radio, la cual trabajó con muchas deficiencias.

En julio de 1934 el congreso de los Estados Unidos establece la Comisión Federal de Comunicaciones (F.C.C) formada por siete miembros, la cual, con carácter legal regula hasta ahora, todo lo relacionado con las comunicaciones eléctricas en ese país. Este hecho es importante, ya que para unificar los sistemas, varios países, entre ellos México, al crear sus propios reglamentos sobre radiodifusión, toman como base las normas establecidas por la F.C.C.

1.10. RADIODIFUSION EN FRECUENCIA MODULADA.

Desde la primera guerra mundial se trató de incorporar a la radio dentro del equipo utilizado por los ejércitos de diferentes países, para dar mayor eficiencia a las operaciones de combate. Pero a pesar de los múltiples experimentos, no se había logrado implementar un sistema confiable de comunicación para fines bélicos, hasta que en el año de 1936, Edwin H. Armstrong, mayor de la ar-

mada de los Estados Unidos, desarrolló un nuevo método de modulación, a partir de la variación de la frecuencia de la onda portadora, proceso que se conoce con el nombre de modulación en frecuencia o F.M.

Con este nuevo sistema se lograron varias ventajas sobre el uso de radioteléfonos con A.M., sobre todo la reducción del ruido que producían sobre la señal los fenómenos atmosféricos y el sistema eléctrico de los motores de combustión interna que movían a los diferentes vehículos de combate. El sistema de F.M. fue patentado en 1936 y antes de la segunda guerra mundial, la armada de los Estados Unidos contaba con radio transmisores - receptores F.M. portátiles para hombres y todo tipo de vehículos. También en ese tiempo se empezó a utilizar la modulación en frecuencia en telefonía.

La radiodifusión comercial en F.M. se inicia en 1940 cuando la F.C.C. localizó a este servicio en la banda comprendida entre los 42 y 50 M Hz. En 1943 había en los Estados Unidos cerca de 60 estaciones de F.M. Al final de la segunda guerra mundial, con el fin de aumentar el número de canales disponibles, la F.C.C. reubicó al sistema de F.M. comercial en el intervalo entre los 88 y 108 M Hz.

Las ventajas que representa la radiodifusión en F.M. sobre la de A.M. son las siguientes:

- 1.- Menos interferencia de algunas clases de ruido, como el producido por los fenómenos atmosféricos y el que originan ciertos sistemas eléctricos.
- 2.- Menos perturbación debida a la atenuación de la señal.
- 3.- Menos superposición de dos estaciones próximas en el cuadrante del radio.

En adición a estas ventajas, que son inherentes a los sistemas de F.M., existe otra diferencia debida a las frecuencias que se asignan a la radiodifusión en A.M. y F.M. La F.C.C. le asignó a las transmisiones en A.M. la banda de frecuencias entre los 0.54 y 1.6 M Hz, y a las de F.M. de los 88 a 108 M Hz. A causa de que en F.M. se transmite a una frecuencia más alta, las estaciones de F.M. tienen menos alcance que las de A.M., porque las altas frecuencias no siguen la curvatura de la tierra, sino que se propagan en línea recta. Las señales de F.M. rara vez pueden recibirse más allá de 150 kilómetros. En consecuencia, muchas más licencias pueden ser otorgadas a dichas estaciones, puesto que es poco probable que dos emisoras con igual frecuencia de portadora y separadas algunos cientos de kilómetros, puedan interferirse entre sí. Además la F.C.C. obliga a todas las estaciones de radiodifusión en A.M. a reducir radicalmente la amplitud de las notas mayores a los 5 K Hz., lo --

que significa que una reproducción genuina de alta fidelidad de la música o palabra es imposible en la banda de A.-M. En cambio, dichas limitaciones no se imponen a la radio difusión en F.M.

1.11. RADIODIFUSION EN F.M. ESTEREO Y LA COMPATIBILIDAD

Hasta 1955 los programas en F.M. tenían muy poco público sobre todo por la calidad de las grabaciones. Las estaciones de F.M. para poder competir realmente en calidad de sonido con las de A.M. tenían que contratar a orquestas en lugar de simplemente transmitir música grabada. Los radioescuchas no sintonizaban las estaciones de F.M. porque no encontraban ventajas suficientes de este nuevo servicio con respecto al de A.M. Por esto varias radiodifusoras de F.M. quebraron y dejaron de transmitir. Algunos de los dueños de estas estaciones exigían a la F.C.C. licencias para transmitir en la ya saturada banda de A.M.

Consciente de este problema la F.C.C. en 1955 autorizo la transmisión de programas especiales sin comerciales, transmitidos por medio de una subportadora, simultáneamente con los programas regulares de cada estación. Estos programas especiales conocidos como Música Subsidiada (S.C.A.) no eran dirigidos al público en general, sino a aquellos que pagaran una cuota determinada. Este sistema

fue utilizado en lugares públicos como centros comerciales, oficinas, restaurantes, etc.

Durante los años cincuenta, el transistor, inventado en 1947 dentro de los laboratorios de la compañía ---norteamericana Bell Telephone, empezaba a desplazar en varios usos a los tubos de vacío, trayendo esto consigo entre otras ventajas la reducción del tamaño de los receptores y transmisores. El transistor se utilizaba ya, en circuitos de los amplificadores, rectificadores, osciladores, etc. El uso del transistor le dió un gran impulso al desarrollo de las comunicaciones eléctricas.

A finales de los años cincuenta con el nacimiento de los aparatos de alta fidelidad y por la notable mejora de los sistemas de grabación, el auditorio se empieza a interesar más en las cualidades que ofrecía la F.M. Las ventajas de la transmisión en F.M. fueron grandemente realizadas cuando la F.C.C. en 1961 dió su aprobación al sistema de multiplexaje en F.M. que hizo posible la transmisión simultánea en un solo canal de F.M. de las señales requeridas para la transmisión estereofónica.

Entre otras normas que impuso la F.C.C. a las --emisoras de F.M. estereofónico, estaba la de la compatibilidad con el de F.M. monofónico. La F.C.C. establece que un sistema de F.M. estereofónico es compatible con el de --

F.M. monofónico, si se cumplen las siguientes características:

- 1.- El ancho de banda requerido para la transmisión en F.M. estereofónico no debe ser mayor al utilizado en F.M. -- monofónico.
- 2.- La señal producida por un transmisor de F.M. estereofónico debe ser reproducida sin ningún problema por un receptor de F.M. monofónico y un receptor de F.M. estereofónico debe ser capaz de reproducir la señal emitida -- por un transmisor de F.M. monofónico.
- 3.- No debe haber ninguna reubicación de estaciones cuando se transmita o reciba en cualquiera de los dos sistemas de F.M. en un mismo canal.

El analizar teóricamente la compatibilidad , que debe existir entre los sistemas de F.M. estereofónico y monofónico, es uno de los objetivos de este trabajo, la metodología a seguir para lograrlo se señalará al final de este capítulo.

1.12. LAS PRIMERAS TRANSMISIONES DE IMAGENES.

Desde el siglo XIX se hicieron intentos por lo---
 rar transmitir imágenes. El inventor norteamericano G. R.-
 Carey diseñó en 1895 un sistema televisor rudimentario me--

diante la utilización de células fotoeléctricas.

Carey construyó un grupo de fotocélulas conectado por alambres a un grupo de lámparas eléctricas. Cuando mediante una lente se enfocaba una escena o la imagen de un objeto sobre el grupo de fotocélulas, cada una de estas regulaba el voltaje aplicado a la lámpara eléctrica correspondiente, produciéndose así, una imagen burda del objeto, formada por las diferentes intensidades de luz de cada lámpara.

El aparato de Carey vino a demostrar ciertos principios básicos de la televisión, pero era poco práctico, ya que demandaba una complicada instalación de alambres, fotocélulas, fuentes de voltaje y lámparas eléctricas. Por otra parte las posibilidades prácticas de obtener una imagen clara eran muy reducidas. Además la distancia entre receptor y transmisor quedaba limitada por la longitud de los alambres que conectaban a fotocélulas con lámparas.

En un esfuerzo por simplificar el aparato de Carey, Pablo Nipkow inventó en 1884 el disco analizador de imágenes. Este instrumento consistía en un disco metálico delgado, provisto de una serie de perforaciones dispuestas en espiral. O sea que, la primera perforación se hallaba en el centro y las otras se acercaban gradualmente a la periferia. El transmisor llevaba uno de estos discos, coloca

do entre el objeto que se iba a televisar y una fotocélula. Al hacer girar el disco mediante un motor, cada perforación producía una franja de luz que partía del objeto a la fotocélula, donde se transformaba en una señal eléctrica que se transmitía al receptor. En el receptor, la energía eléctrica era reconvertida en intensidades de luz por medio de una lámpara eléctrica y un segundo disco, sincronizado con el primero. La lámpara proyectaba franjas de luz, que en conjunto, y por la propiedad retentiva del ojo, reconstruían en la vista las imágenes.

El disco analizador de Nipkow, representaba una simplificación del sistema televisor, ya que requería únicamente la utilización de una fotocélula en el transmisor, -- una sola lámpara en el receptor y menor cantidad de conductores. Pero las imágenes producidas eran aún borrosas y la precisión con que se podían obtener se hallaba limitada por el número de perforaciones del disco, y la velocidad de rotación de éste. Además de que la transmisión requería de la instalación de conductores entre transmisor y receptor.

1.13. LA TELEVISION MONOCROMATICA.

Como ya se mencionó, en 1920 empezó a transmitir la primera radiodifusora comercial, alcanzando un gran éxito. Este hecho llevó a varios investigadores a pensar más en se

rio en la posibilidad de transmitir imágenes por medio de la radiación electromagnética. Una vez desarrollada la tecnología para la transmisión de señales de audio, el problema al que se enfrentaron los científicos era el de lograr producir una señal eléctrica de video, transmitir y recibir esta señal, utilizando más o menos los mismos procedimientos usados para las señales de audio y reproducir las imágenes mediante algún dispositivo.

En 1923 Vladimir K. Zowrykin inventó el iconoscopio, donde las células fotoeléctricas se hallaban representadas por infinidad de pequeños glóbulos fotosensibles; -- aislados unos de otros y colocados sobre una placa de mica denominada mosaico. Dicha placa se hallaba situada en el interior del iconoscopio. Cuando una imagen de luz era proyectada sobre el mosaico, cada uno de los glóbulos recibía una carga eléctrica, cuya intensidad variaba en función de la intensidad de luz que incidía sobre él. Después los glóbulos eran excitados por un haz de electrones que provenía del cuello del iconoscopio.

El haz del iconoscopio se movía de arriba a abajo y de izquierda a derecha y recorría todos los glóbulos liberando las cargas eléctricas almacenadas en ellos. Estas cargas eran amplificadas, pasando luego por un aparato

de radiotransmisión en A.M. La señal era reproducida por medio de un aparato llamado cinescopio, que contaba con una pantalla recubierta con una sustancia fluorescente que se iluminaba al incidir sobre ella un haz de electrones producido por el calentamiento de un filamento bajo el efecto Edison.

Entre el filamento y la pantalla se hallaban unas placas de control conectadas a la señal de video, recibida mediante un receptor A.M. y amplificadas. Las placas de control aceleraban o frenaban a los electrones del haz en función de la intensidad de la imagen. A su vez existían las llamadas placas de deflexión horizontal y vertical que movían al haz de izquierda a derecha y de arriba a abajo. Este movimiento del haz estaba sincronizado con el movimiento del haz del cinescopio.

En 1930 el norteamericano Philo T. Farnsworth desarrolló un nuevo sistema de exploración electrónica el cual simplificaba de tal manera el receptor de T.V. que hacía posible su comercialización.

En el año de 1940 se reunió el primer Comité Nacional de Sistemas de Televisión (N.T.S.C.) formado por expertos en televisión procedentes de diferentes compañías norteamericanas relacionadas con la radiodifusión. El N.T.-

S.C. recomendó a la F.C.C. varias especificaciones que debía reunir un sistema de televisión; entre éstas se propuso que cada cuadro se formara mediante 525 líneas horizontales y que se proyectaran 30 cuadros por segundo.

La F.C.C. adoptó las medidas propuestas por el N.T.S.C. en 1941 y en julio de ese mismo año comenzó a transmitir desde Nueva York la primera estación comercial de televisión.

1.14. LA TELEVISION CROMATICA Y LA COMPATIBILIDAD.

Al final de los años cuarenta ya se exhibían en diferentes salas de proyección películas a color, con gran aceptación por parte del público. También en la T.V. se trató de ofrecer programas a colores, pero los sistemas de televisión cromática utilizados, impedían a los usuarios de televisores en blanco y negro captar éstas imágenes.

Tan sólo en los Estados Unidos el número de televidentes era de aproximadamente diez millones, por lo tanto la F.C.C. exigía que cualquier sistema de T.V. cromática debía ser compatible con el ya existente de blanco y negro, para no afectar los intereses de usuarios y estaciones.

En el año 1953 se reunió el segundo N.T.S.C. y gracias a las aportaciones de varios científicos, entre los que se hallaba el mexicano Guillermo González Camarena, recomendó a la F.C.C. un sistema de televisión cromática com-

patible. La F.C.C. autorizó este servicio público en 1954, exigiendo a las estaciones, apegarse a las recomendaciones dadas por el segundo N.T.S.C.

Entre otras normas la F.C.C. exigió a las emisoras de T.V. cromática, que su sistema fuera compatible con el ya existente de T.V. monocromática. La F.C.C. establece que un sistema de T.V. cromática es compatible con el de T.V. monocromática, si se cumplen las siguientes características:

- 1.- El ancho de banda requerido para la transmisión en T.V. cromática no debe ser mayor al utilizado en T.V. monocromática.
- 2.- La señal producida por un transmisor de T.V. monocromática debe ser reproducida sin ningún problema por un televisor monocromático y un receptor de T.V. cromática debe ser capaz de reproducir la señal emitida por un transmisor de T.V. monocromática.
- 3.- No debe haber ninguna reubicación de estaciones cuando se transmita o reciba en cualquiera de los dos sistemas de T.V., en un mismo canal.

El segundo objetivo de esta tesis es el de analizar teóricamente la compatibilidad que debe existir entre los sistemas de T.V. cromática y monocromática, el proceso

que se seguirá para lograrlo se señalará en el tema que a continuación se describe.

1.15 METODOLOGIA A SEGUIR EN EL ANALISIS DE LA COMPATIBILIDAD.

El análisis de la compatibilidad en los sistemas de F.M. estereofónico y monofónico, y de T.V. cromática y monocromática nos llevará necesariamente a utilizar varios conceptos de la teoría de las comunicaciones eléctricas.

El procedimiento que se seguirá en esta tesis para hacer el estudio de la compatibilidad en estos sistemas de comunicación, es el siguiente:

- 1.- Todo lo referente a F.M. estereofónico y monofónico se tratará en el segundo capítulo de este trabajo. Lo concerniente a T.V. cromática y monocromática se tratará en el tercer capítulo.
- 2.- Para F.M. y T.V. se describirán los diferentes tipos de transmisores y la forma como producen las señales.
- 3.- A las señales que producen los transmisores será necesario conocerlas en el dominio del tiempo y la frecuencia.
- 4.- Se describirán los diferentes tipos de receptores y la forma como reproducen el mensaje.

5.- Con toda la información que se obtenga mediante la realización de los puntos 2, 3 y 4 para los sistemas de F.M.-estereofónico y monofónico por una parte, y por la otra para T.V. cromática y monocromática, se podrá al final de cada capítulo analizar si los sistemas cumplen con las características necesarias para que sean compatibles, las cua--les ya fueron mencionadas en el tema 1.11. para lo referente a F.M. y en el tema 1.14. para lo que corresponde a T.V.

Si al final de esta tesis se puede concluir que los sistemas de F.M. estereofónico y monofónico son compatibles entre sí, y que los de televisión cromática y monocromática también lo son, mediante el uso de la Teoría de las Comunicaciones Eléctricas, se habrá logrado el objetivo que se buscó al realizar este trabajo.

CAPITULO 2

LA COMPATIBILIDAD EN EL SISTEMA DE F.M. ESTEREOFONICO

2.1. TIPOS DE ONDAS EMITIDAS.

Un equipo de comunicaciones está destinado a algún servicio, el cual puede ser de transmisión de datos, - palabra o música. En las comunicaciones entre dos puntos, - donde el mensaje consiste simplemente en un texto escrito, se emplea en algunos casos, una portadora sin modular, pero interrumpida según algún código establecido.

Las comunicaciones de palabra directa y las transmisiones musicales, en el caso de la radiodifusión comercial, se hacen en ondas moduladas. Dicha modulación puede hacerse en la amplitud o en el ángulo de la portadora.

2.2. MODULACION.

Al modular se usa una señal de información (sonido, intensidad de luz, etc.) para controlar o modificar alguna característica de la onda portadora, a fin de que tenga las mismas variaciones que la señal de información. Esta portadora es generalmente una onda senoidal continua.

Cuando la señal de información controla la amplitud de la onda senoidal, se tiene la modulación de amplitud (A.M.), cuando la frecuencia (o la fase) de la onda portadora varían en función de la información, se tiene modulación de frecuencia (o de fase).

La transmisión de señales de altas frecuencias es más barata y más eficaz que la transmisión de señales de -- muy baja frecuencia. Se necesita mucha potencia para transmitir una señal de baja frecuencia y la señal no puede -- transmitirse muy lejos. Así pues, la información de baja -- frecuencia modula a una señal de alta frecuencia, llamada -- portadora.

2.3. ANALISIS MATEMATICO DE LA SEÑAL F.M.

Como ya se mencionó en F.M. varía la frecuencia -- de la portadora. Cuando la portadora está modulada en fre-- cuencia su amplitud no cambia, pero su frecuencia aumenta -- y disminuye de acuerdo con las variaciones de amplitud de -- la señal moduladora.

En sentido estricto, la señal portadora modulada -- en frecuencia, la cual será llamada $V(t)_{F.M.}$ no puede re-- presentarse mediante una expresión senoidal ordinaria, por-- contener una variación de frecuencia. Por esto se precisa --

definir una función senoidal generalizada.

$$v(t)_{F.M.} = A \cos \theta(t) \quad (2-1)$$

en donde $\theta(t)$ es el ángulo de la señal senoidal y A la amplitud máxima de $v(t)_{F.M.}$

La ecuación (2-1) puede visualizarse como un vector de magnitud A que gira con una velocidad angular ω , - donde:

$$\omega(t) = \frac{d \theta(t)}{d t} \quad (2-2)$$

a $\omega(t)$ le corresponde una frecuencia $f(t)$ ya que

$$f(t) = \frac{\omega(t)}{2\pi} \quad (2-2a)$$

Por lo tanto, si se modula en frecuencia, la $\omega(t)$ de la portadora modulada, varía en función de la onda moduladora $m(t)$ según la siguiente expresión

$$\omega(t) = \omega_c + \omega_c k m(t) \quad (2-3)$$

donde ω_c es la velocidad angular de $v(t)_{F.M.}$ cuando no hay modulación.

Por medio de las ecuaciones (2-2) y (2-3) se obtiene que

$$\theta(t) = \int \omega(t) dt = \int \left\{ \omega_c + k \omega_c m(t) \right\} dt \quad (2-4)$$

entonces la señal de F.M., por la expresión (2-1), es

$$v(t)_{F.M.} = A \cos \theta(t) = A \cos \left\{ \omega_c t + K \omega_c \int m(t) dt \right\} \quad (2-5)$$

Si se define a K_F como

$$K_F = K \omega_c$$

se obtiene que

$$\omega(t) = \omega_c + K_F m(t)$$

y según la expresión (2-5)

$$v(t)_{F.M.} = A \cos \left\{ \omega_c t + K_F \int m(t) dt \right\} \quad (2-5a)$$

Esto indica que en F.M., la frecuencia instantánea varía directamente con la señal moduladora.

Para simplificar el desarrollo matemático, se hará que la señal moduladora $m(t)$ sea igual a

$$m(t) = E_m \cos \omega_m t \quad (2-6)$$

donde E_m es la magnitud máxima de $m(t)$ y ω_m la frecuencia de modulación y por las razones ya mencionadas

$$\omega_m < \omega_c$$

$$\omega_c = \text{frecuencia de portadora}$$

si se modula con una onda senoidal de la forma señalada en la expresión (2-6), $v(t)_{F.M.}$ es igual a

$$v(t)_{F.M.} = A \cos \left\{ \omega_c t + K_F E_m \int \cos \omega_m t \, dt \right\}$$

integrando se obtiene la señal de F.M. en el dominio del -- tiempo cuando se modula con una onda senoidal.

$$v(t)_{F.M.} = A \cos \left\{ \omega_c t + \frac{K_F E_m}{\omega_m} \text{sen } \omega_m t \right\} \quad (2-7)$$

2.4. INDICE DE MODULACION Y DESVIACION DE FRECUENCIA

El índice de modulación (m_F) se define como sigue

$$m_F = \left[K_F \int m(t) \, dt \right] \text{máx.} \quad (2-8)$$

La máxima desviación de frecuencia Δf_c se obtiene de la forma siguiente:

$$\Delta f_c = \left[\frac{K_F}{2\pi} m(t) \right] \text{máx.} \quad (2-9)$$

Como ya se mencionó

$$K_F = K \omega_c$$

por la ecuación (2-3)

$$\omega(t) = \omega_c + K_F m(t)$$

sustituyendo el valor de $m(t)$ dado en la ecuación (2-6)

$$\omega(t) = \omega_c + K_F E_m \cos \omega_m t$$

Por ser $m(t)$ una función senoidal su valor máximo es E_m .

De la ecuación 2.9 se observa que

$$\Delta f_c = \frac{K_F E_m}{2\pi}$$

y de la relación 2.8

$$m_F = K_F \frac{E_m}{\omega_m} \quad (2-11)$$

por lo tanto

$$\Delta f_c = \frac{m_F \omega_m}{2\pi} = m_F f_m$$

$$y \quad m_F = \frac{2\pi \Delta f_c}{2\pi f_m} = \frac{\Delta f_c}{f_m} \quad (2-11a)$$

Otro parámetro importante es el llamado relación de desviación que está basado en los valores máximos, contrariamente a las características instantáneas del índice de modulación.

La relación de desviación es el cociente de que se obtiene al dividir la máxima desviación de frecuencia entre la frecuencia más alta de la señal moduladora.

Δf_c y m_F son válidos cuando $m(t)$ es senoidal pura.

2.5. ESPECTRO DE LA SEÑAL F.M.

Dado que no existe un teorema general sencillo -- que relacione el espectro de $\cos[\omega_c t + G(t)]$ con el espectro de $G(t)$, el análisis espectral de una señal modulada en la frecuencia es bastante complicado. Por lo tanto se -- considerará únicamente el caso especial de la modulación hecha por una señal senoidal como la representada en la ecuación (2-6).

Por medio de las expresiones (2-7) y (2-11) se observa que

$$v(t)_{F.M.} = A \cos \left\{ \omega_c t + m_F \text{ sen } \omega_m t \right\} \quad (2-12)$$

utilizando identidades trigonométricas $v(t)_{F.M.}$ es igual a

$$\begin{aligned} v(t)_{F.M.} &= A \cos \omega_c t \cos \left[m_F \text{ sen } \omega_m t \right] - \\ &- A \text{ sen } \omega_c t \text{ sen } \left[m_F \text{ sen } \omega_m t \right] \end{aligned} \quad (2-12-a)$$

Se debe observar que no hay una identidad trigonométrica que nos permita simplificar la ecuación (2-12a), por lo tanto, se utilizará otra herramienta matemática, -- con el fin de encontrar el espectro de la señal de F.M.

Se sabe que:

$$e^{j m_F \text{ sen } \omega_m t} = \cos \left[m_F \text{ sen } \omega_m t \right] + j \text{ sen } \left[m_F \text{ sen } \omega_m t \right] \quad (2-13)$$

considerése, por tanto la expansión en serie de Fourier de (2-13), es decir

$$e^{j m_F \text{ sen } \omega_m t} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{j n \omega_m t} \quad (2-14)$$

donde

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} e^{j m_F \text{ sen } \omega_m t} e^{-j n \omega_m t} dt \quad (2-15)$$

sabiendo que

$$T = \frac{2\pi}{\omega_m}$$

se obtiene

$$C_n = \frac{\omega_m}{2\pi} \int_{-T/2}^{T/2} e^{j \left[m_F \text{ sen } \omega_m t - n \omega_m t \right]} dt \quad (2-16)$$

Al hacer

$$\omega_m t = x$$

se obtiene

$$C_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{j \left(m_F \text{ sen } x - nx \right)} dx \quad (2-17)$$

Los coeficientes de Fourier dados por la ecuación (2-17) son las funciones Bessel de primera clase. De la función -

generadora de las funciones Bessel, se tiene

$$e^{z \left(x^2 - 1 \right) / 2 x} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n (z) x^n \quad (2-18)$$

donde $J_n (z)$ es la función de Bessel de primera clase, or den n y argumento z . Si se hace

$$x = e^{j \omega t}$$

en la expresión (2-18) se obtiene lo siguiente

$$\begin{aligned} \frac{z [x^2 - 1]}{2 x} &= \frac{1}{2} z \left(x - 1/x \right) = \\ &= \frac{j z}{2 j} \left(e^{j \omega t} - e^{-j \omega t} \right) = \\ &= j z \operatorname{sen} \omega t \end{aligned} \quad (2-19)$$

donde

$$e^{j z \operatorname{sen} \omega t} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n (z) e^{j n \omega t} \quad (2-20)$$

Comparando las ecuaciones (2-20) y (2-14)

$$\begin{aligned} e^{j m_F \operatorname{sen} \omega_m t} &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j n \omega_m t} = \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n (m_F) e^{j n \omega_m t} \end{aligned} \quad (2-21)$$

de esta manera por (2-17), se obtiene que

$$C_n = J_n(m_F) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{j(m_F \operatorname{sen} X - nX)} dX \quad (2-22)$$

Una propiedad de las funciones de Bessel es la siguiente

$$J_{-n}(m_F) = (-1)^n J_n(m_F) \quad (2-23)$$

Ahora bien, por la expresión (2-21)

$$\begin{aligned} e^{j m_F \operatorname{sen} \omega_m t} &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m_F) e^{jn\omega_m t} \\ &= J_0(m_F) + \\ &+ J_1(m_F) \cos \omega_m t + j \operatorname{sen} \omega_m t + \\ &+ J_{-1}(m_F) \cos \omega_m t - j \operatorname{sen} \omega_m t + \\ &+ J_2(m_F) \cos 2\omega_m t + j \operatorname{sen} 2\omega_m t + \\ &+ J_{-2}(m_F) \cos 2\omega_m t - j \operatorname{sen} 2\omega_m t + \\ &+ \dots \end{aligned} \quad (2-24)$$

Si se igualan las partes real e imaginaria y se utiliza la relación (2-23), se obtiene

$$\begin{aligned} \cos(m_F \operatorname{sen} \omega_m t) &= J_0(m_F) + \\ &+ 2 J_2(m_F) \cos 2\omega_m t + \\ &+ 2 J_4(m_F) \cos 4\omega_m t + \\ &+ \dots \end{aligned}$$

$$= J_0(m_F) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(m_F) \cos 2n\omega_m t \quad (2-25)$$

y

$$\begin{aligned} \text{sen} \left(m_F \text{sen} \omega_m t \right) &= 2 J_1(m_F) \text{sen} \omega_m t + \\ &+ 2 J_3(m_F) \text{sen} 3\omega_m t + \\ &+ \dots \\ &= 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n+1}(m_F) \text{sen} (2n + 1)\omega_m t \quad (2-26) \end{aligned}$$

Las expresiones (2-25) y (2-26) son las expansiones en serie de Fourier de los términos

$$\cos(m_F \text{sen} \omega_m t) \text{ y } \text{sen}(m_F \text{sen} \omega_m t)$$

La distribución espectral de la señal F.M. se puede obtener ahora, por la sustitución de (2-25) y (2-26) en la ecuación (2-12) de esta manera

$$\begin{aligned} \text{F.M. } u(t) &= A \cos(\omega_c t + m_F \text{sen} \omega_m t) \\ &= A \cos \omega_c t \left\{ J_0(m_F) + 2 \left(J_2(m_F) \cos 2\omega_m t \right. \right. \\ &+ \left. \left. J_4(m_F) \cos 4\omega_m t + \dots \right) \right\} - \\ &- 2 A \text{sen} \omega_c t \left\{ J_1(m_F) \text{sen} \omega_m t + \right. \\ &+ \left. J_3(m_F) \text{sen} 3\omega_m t + \dots \right\} \quad (2-27) \end{aligned}$$

Mediante las fórmulas trigonométricas de suma y diferencia:

$$\cos A \cos B = 1/2 [\cos (A - B) + \cos (A + B)]$$

$$\operatorname{sen} A \operatorname{sen} B = 1/2 [\cos (A - B) - \cos (A + B)]$$

se obtiene

$$\begin{aligned} v_{\text{F.M.}}(t) = A \left\{ J_0(m_F) \cos \omega_c t - J_1(m_F) \left(\cos (\omega_c - \omega_m) t \right. \right. \\ \left. \left. - \cos (\omega_c + \omega_m) t \right) + \right. \\ \left. + J_2(m_F) \left(\cos (\omega_c - 2\omega_m) t + \cos (\omega_c + 2\omega_m) t \right) \right. \\ \left. - J_3(m_F) \left(\cos (\omega_c - 3\omega_m) t - \cos (\omega_c + 3\omega_m) t \right) + \right. \\ \left. + \dots \right\} \quad (2-28) \end{aligned}$$

La ecuación (2-28) muestra que la señal de F.M., consta de una portadora y un número infinito de bandas laterales, separadas en las frecuencias $(\omega_c + \omega_m)$, $(\omega_c + 2\omega_m)$, $(\omega_c + 3\omega_m)$, etc., como se muestra en la Fig. (2-1). Las amplitudes de los términos de la portadora y de las bandas laterales dependen de el índice de modulación; esta dependencia está expresada por las funciones apropiadas de Bessel.

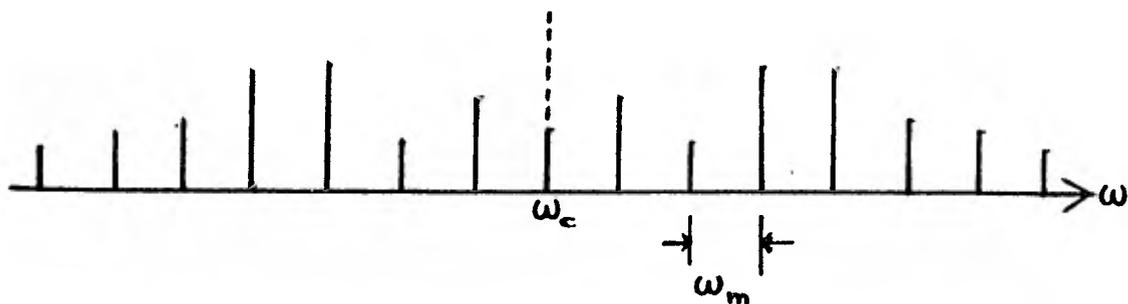


Fig. (2-1) Espectro de la señal de F.M.

La ecuación (2-28) se puede expresar en una forma más simple, como sigue:

$$V(t)_{F.M.} = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m_F) \cos(\omega_c + n\omega_m)t \quad (2-29)$$

Durante el proceso de modulación de frecuencia, se producen nuevas frecuencias arriba y abajo de la frecuencia de la portadora no modulada. Estas se llaman frecuencias de banda lateral y contienen la señal de información, sin embargo además del par básico se produce un número teóricamente infinito de frecuencias de banda lateral. Las frecuencias adicionales varían entre sí en múltiplos enteros de la frecuencia de la moduladora.

Las bandas laterales obtienen su potencia de la portadora no modulada, lo cual significa que, en una onda de F.M. la parte correspondiente a la portadora tiene menos potencia después de la modulación que antes. La cantidad de potencia que se elimina de la portadora y aplica a las bandas laterales, depende de las frecuencias moduladoras y de la máxima desviación de frecuencia. Incluso en ciertas condiciones se logra que la potencia de la portadora sea cero y que toda la potencia se encuentre en las bandas laterales, esto es muy conveniente, ya que la portadora misma no lleva información.

Utilizando la tabla (2-1) se pueden determinar los valores de las funciones Bessel para un índice de modulación dado.

TABLA (2-1) Funciones Bessel.

x (m)	n or order															
	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}	J_{15}
0.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.25	0.98	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	0.94	0.24	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.77	0.41	0.11	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.0	0.26	0.11	0.49	0.31	0.14	0.01	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	0.16	0.07	0.36	0.14	0.28	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—
5.0	0.18	0.33	0.05	0.36	0.19	0.26	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—
6.0	0.15	0.28	0.24	0.11	0.36	0.30	0.25	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—
7.0	0.30	0.08	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—
8.0	0.17	0.23	0.11	-0.29	0.16	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	—	—	—	—
9.0	0.09	0.21	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.36	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—
10.0	0.25	0.01	0.25	0.06	-0.22	0.23	-0.01	0.22	0.31	0.29	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01	—
12.0	0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03
15.0	0.01	0.21	0.04	0.19	0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.21	0.28	0.25	0.18

Interpolando se pueden obtener índices de modulación intermedios.

2.6. ANCHO DE BANDA EN F.M. MONOFONICO.

Teóricamente el ancho de banda de una señal de F.M. monofónico es infinito. En la práctica las amplitudes de los componentes espectrales de frecuencia superior son despreciables, ya que la mayor parte de la energía de la señal queda contenida en los componentes espectrales situa

dos dentro de un ancho de banda finito.

Uno de los criterios a seguir para determinar el ancho de banda práctico de una señal de F.M., es el de considerar un número finito de bandas laterales por medio de la llamada Regla de Carson, donde el ancho de banda B es igual a

$$B = 2 \left(f_m + \Delta f_c \right) \quad (2-30)$$

utilizando las definiciones de m_f y Δf_c estudiadas anteriormente se tiene que

$$B = 2 f_m (1 + m_f) = 2 \Delta f_c (1 + 1/m_f) \quad (2-31)$$

se puede observar que para valores de m_f pequeños según la Regla de Carson

$$B = 2 f_m \quad (2-32)$$

y para valores grandes de m_f

$$B = 2 \Delta f_c$$

siendo Δf_c la desviación de frecuencia máxima y f_m la frecuencia de modulación máxima.

En el estándar de radiodifusión de F.M. comercial según los estatutos de la F.C.C. la máxima desviación de frecuencia es de 75 K Hz. y la frecuencia de audio más alta, con fines de modulación es de 15 K Hz, o sea que

$$\Delta f_c \text{ máx.} = 75 \text{ K Hz.} \quad (2-33)$$

$$f_m \text{ máx.} = 15 \text{ K Hz.} \quad (2-34)$$

Utilizando la ecuación (2-11a) se puede calcular el índice de modulación para estos valores.

$$m_F = \frac{75 \text{ K Hz}}{15 \text{ K Hz}} = 5 \quad (2-35)$$

Como se explicó en el capítulo (2-4) este valor corresponde a la llamada relación de desviación que es una indicación de las máximas condiciones de modulación y puesto que tales magnitudes de cresta ocurren raramente en la radiodifusión ésta relación no presenta los valores normales de transmisión.

En radiodifusión de música la mayoría de las audiodfrecuencias fundamentales son más bajas que 5 K Hz. Las señales de frecuencia más altas son los sobretonos producidos por instrumentos musicales. Estos sobretonos (llamados también armónicos) tienen una amplitud mucho más baja que la correspondiente a la frecuencia fundamental y por consiguiente no producen una gran desviación. Además, como los sobretonos tienen frecuencias más altas, están más separados de la portadora y sus amplitudes son menores.

Con un índice de modulación de 5, según la Tabla (2-1), hay ocho bandas laterales importantes a cada lado de la portadora. Así un tono musical alto de 5 K Hz producirá

un total de 16 bandas laterales, separadas entre sí por 5 K Hz, con un ancho de banda total de 80 K Hz. Para tonos musicales de frecuencias más bajas la extensión de las bandas laterales importantes será naturalmente, mucho menor.- Los armónicos de los tonos musicales que tienen amplitudes mucho menores que las fundamentales, no serán causa de una gran desviación y por tanto tienen un índice de modulación menor que el máximo permitido. Por consiguiente habrá menos bandas laterales importantes y menos riesgo de que se exceda de la desviación permitida.

Entonces se puede observar que para bajas frecuencias de f_m se produce un m_F grande, de aquí que se requiera un ancho de banda, según la ecuación (2-32a), igual a $2\Delta f_c^{\text{máx}}$. Si f_m se incrementa con Δf_c fijo, m_F decrece y el ancho de su banda, según la relación (2-32), está especificado por $2 f_m$.

La separación entre las bandas laterales, significativas se incrementa con el aumento de f_m , pero con m_F decreciendo, el número de bandas significativas decrece.

En F.M. comercial se requiere mayor fidelidad, - por lo tanto la frecuencia de la señal moduladora tiene un valor que oscila entre 25 Hz y 15 K Hz. A la frecuencia máxima de 15 K Hz, con un $\Delta f_c^{\text{máx}} = 75$ K Hz, le corresponde se

gún la expresión (2-35) un $m_F = 5$.

En la Fig. (2-2) se ilustra gráficamente la relación que guarda $B/\Delta f_c$ en función del índice de modulación.- A partir de esta Figura es evidente, que para $m_F \gg 1$ el ancho de banda B es aproximadamente el doble de la desviación.

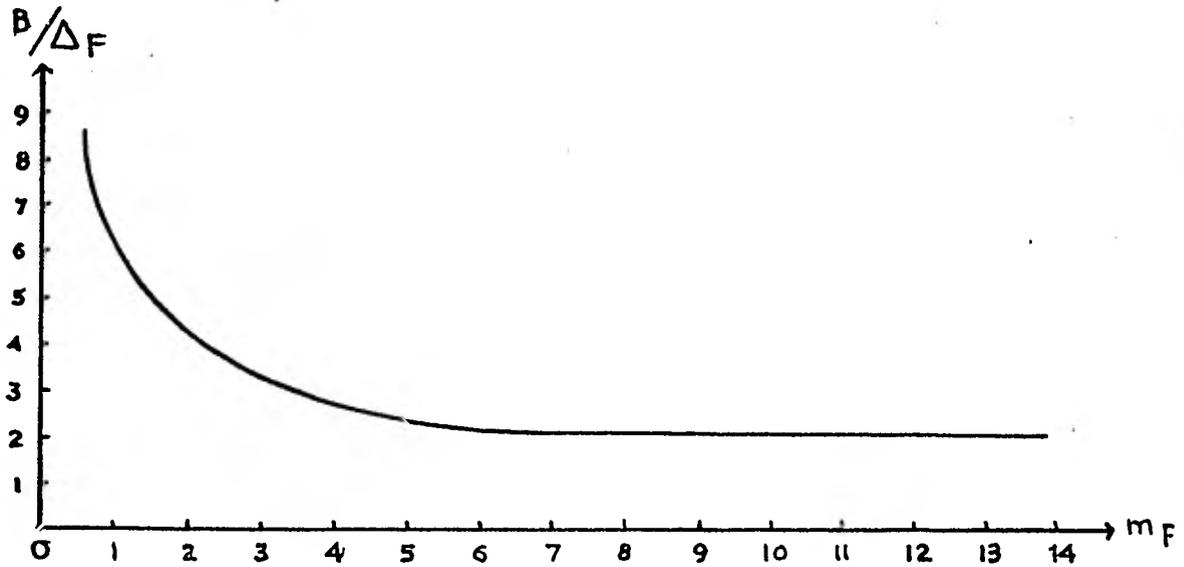


Fig. (2-2) Ancho de banda de una señal de F.M. en función del índice de modulación.

Como ya se mencionó, la Comisión Federal de Comunicaciones (F.C.C.) ha fijado en 75 K Hz. el máximo valor de Δf_c para estaciones de radiodifusión comercial en F.M. Por tanto, el ancho de banda requerido para F.M. monofónico es aproximadamente de

$$B = 150 \text{ K Hz.}$$

Sin embargo, como medida de seguridad a cada canal de las estaciones de F.M. comercial se le asignan, --- 50 K Hz. adicionales (25 K Hz. de cada lado). Estos 25 K Hz asignados a cada lado de la máxima desviación constituyen las que se denominan bandas de guarda y hacen que el ancho de banda total, requerido para estas transmisiones, sea de 200 K Hz.

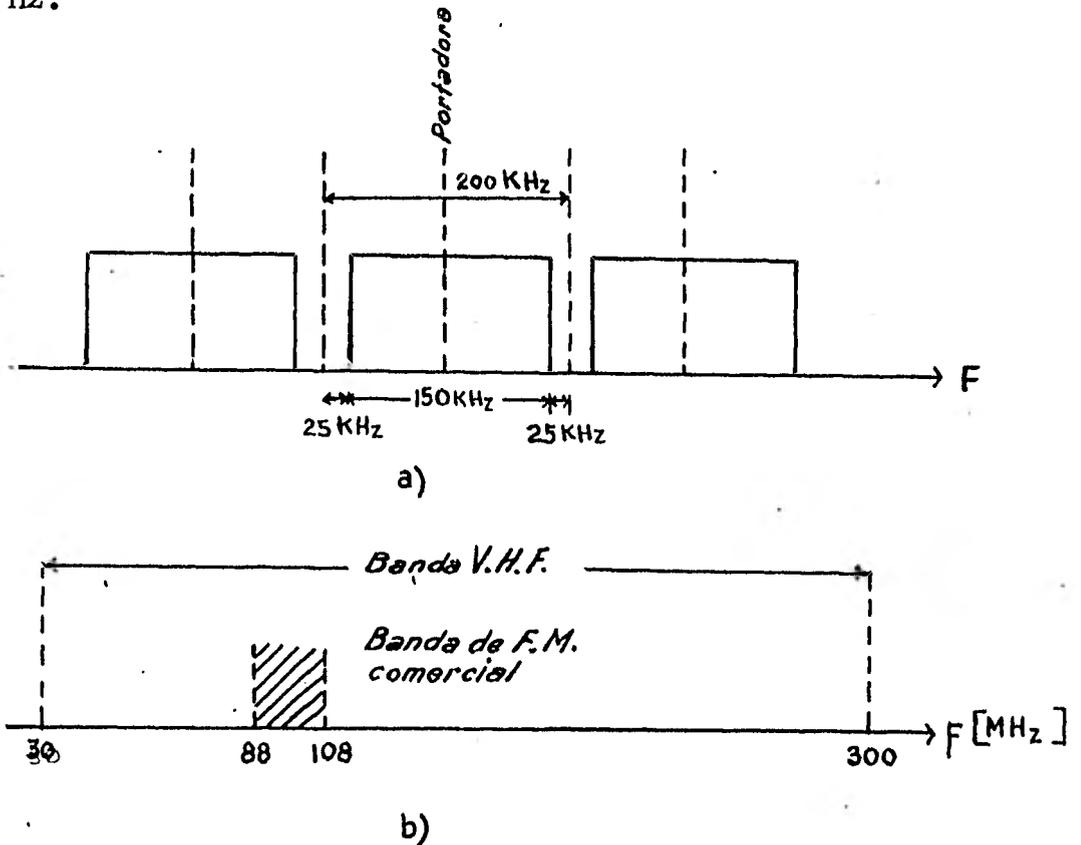


Fig. (2-3) Ancho de banda en F.M. a) Asignación de frecuencias para F.M. b) El servicio de F.M. comercial dentro de la banda V. H. F.

Para la radiodifusión en F.M. comercial las frecuencias de cada estación están dentro del intervalo de --

frecuencias denominado V.H.F. en la banda que está entre los 88 y 108 M Hz., como se puede observar en la Fig.(2-3).

2.7. TRANSMISOR DE F.M. MONOFONICO.

Entre los servicios que puede prestar una estación emisora de F.M. están los que se muestran en la Fig.-(2-4).

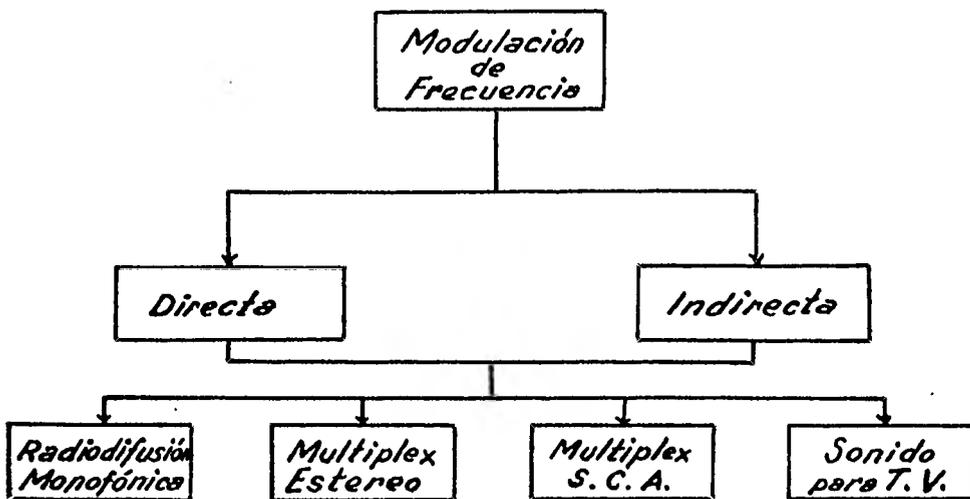


Fig. (2-4) Sistemas de transmisión F.M.

Como se puede ver en la Fig. (2-4), existen dos tipos de modulación en F.M. la directa e indirecta.

En el caso de modulación directa la señal de audio actúa directamente sobre el generador de portadora, este método dispone de varios sistemas, uno de ellos se ilustra en la Fig. (2-5).

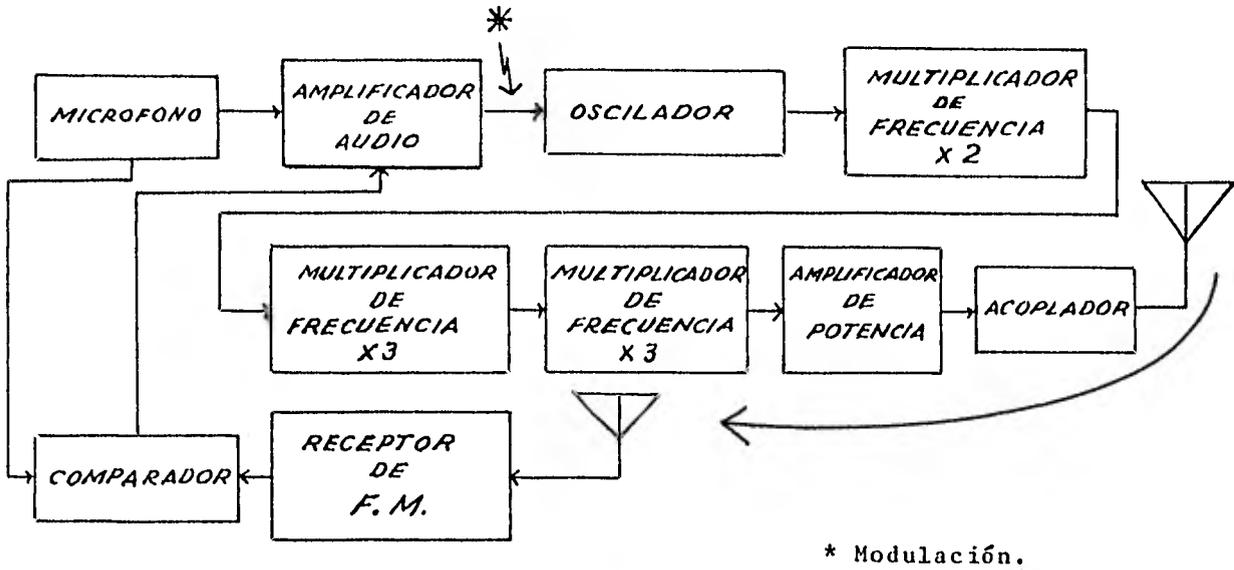


Fig. (2-5) Transmisor de F.M. método directo.

Existen dos tipos de modulación angular, la frecuencia modulada (F.M.) y la modulación de fase (P.M.) La modulación de fase consiste en hacer variar el ángulo $\theta(t)$ de la portadora proporcionalmente con la señal moduladora $m(t)$ como se indica en la siguiente ecuación

$$\theta(t) = \omega_c t + K' m(t) \quad (2-37)$$

si la señal del P.M. es igual a

$$v_{P.M.}(t) = A \cos \theta(t) \quad (2-38)$$

sustituyendo el valor de $\theta(t)$ dado en la expresión (2-37) se tiene que

$$v_{P.M.}(t) = A \cos \left\{ \omega_c t + K' m(t) \right\} \quad (2-39)$$

Comparando esta señal de P.M. con la señal producida al modular en F.M. dada por la ecuación (2-5)

$$v_{F.M.}(t) = A \cos \left\{ \omega_c t + K \omega_c \int m(t) dt \right\} \quad (2-40)$$

se puede observar que, si la moduladora $m(t)$ se integra con cierta ganancia y se usa para modular una portadora dentro de un modulador de fase, la señal resultante, equivale a - introducir directamente la portadora a un modulador de F.M.

Al proceso mediante el cual se utiliza P.M. para lograr una señal en F.M. se le conoce como método indirecto. En la Fig.(2-6) está representado este sistema de - - - transmisión

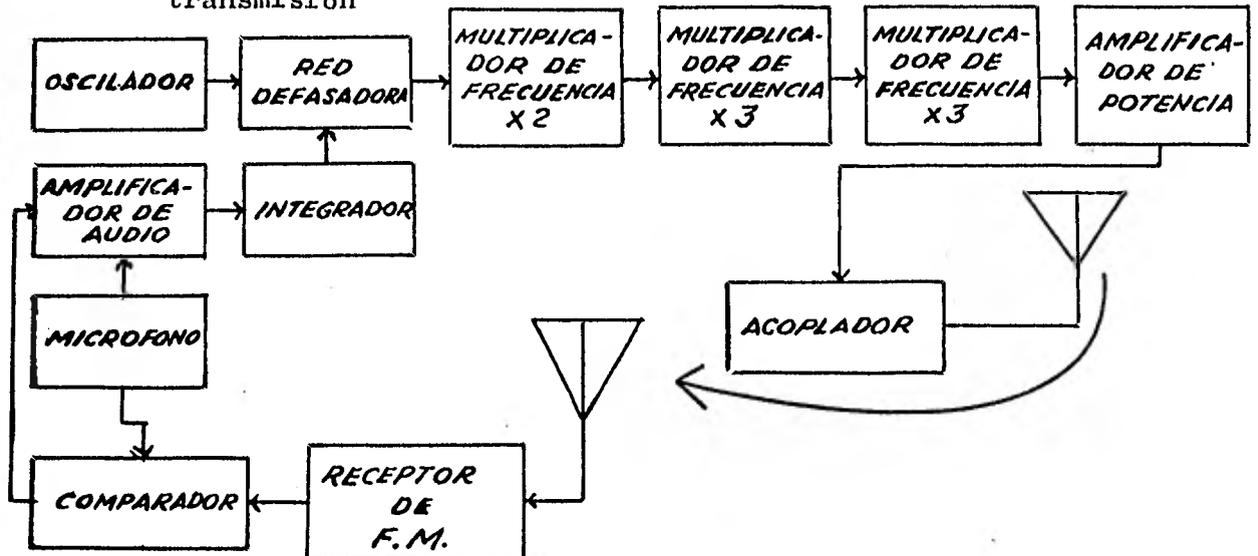


Fig. (2-6) Transmisor de F.M. método indirecto.

2.8. RECEPTOR DE F.M. MONOFONICO

En la Fig. (2-7) se puede observar el receptor -

de F.M. monofónico, mediante un diagrama de bloques

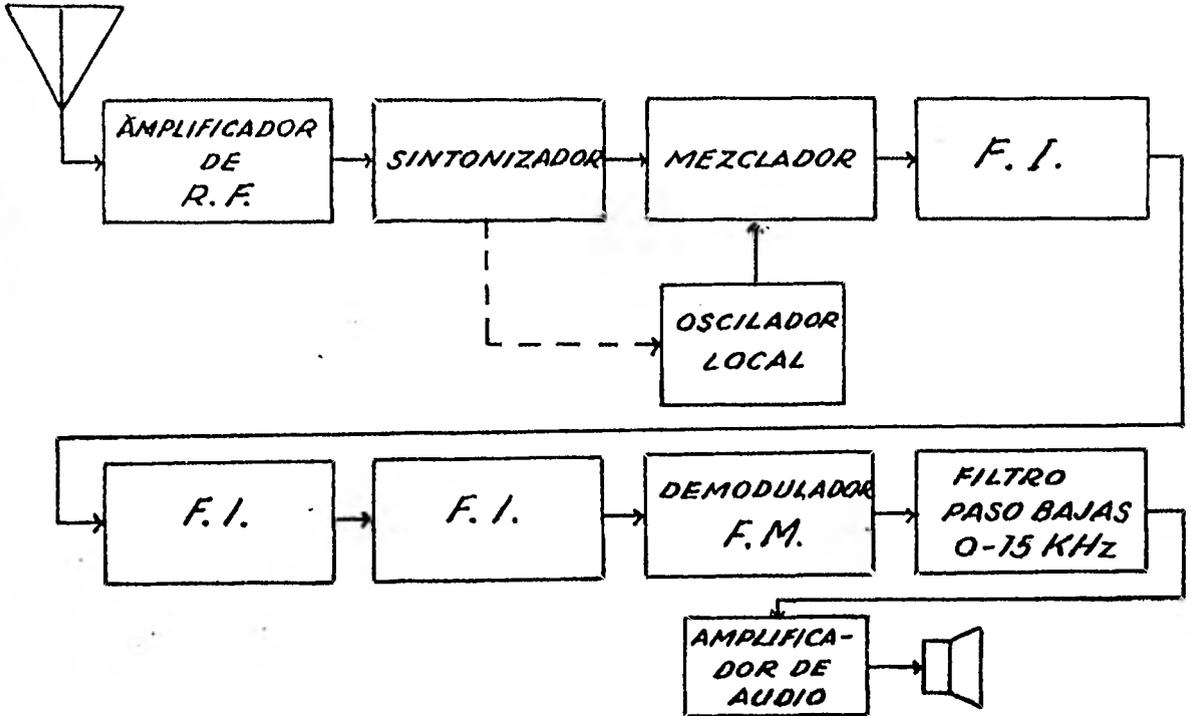


Fig. (2-7) Receptor de F.M. monofónico.

El demodulador de F.M. está formado por tres partes:

- 1.- Limitador o recortador de onda
- 2.- Convertidor de F.M. en A.M.
- 3.- Demodulador A.M.



Fig. (2-8) Demodulador de F.M.

1 - El limitador o recortador, como su nombre lo sugiere, recorta la señal en amplitud, ya que esta amplitud se puede ver afectada por los fenómenos atmosféricos u -- otras interferencias, no así la frecuencia que tiende a permanecer constante.

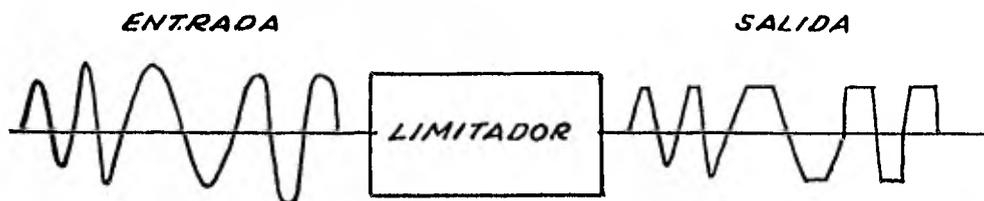


Fig. (2-9) Limitador.

2 - El convertidor de F.M. a A.M. está formado -- por circuitos cuya curva $V_o - f$ se describe en la Fig.(2-10) a este dispositivo se le hace trabajar dentro de la zona -- donde la curva es aproximadamente una línea recta para evi- tar distorsiones.

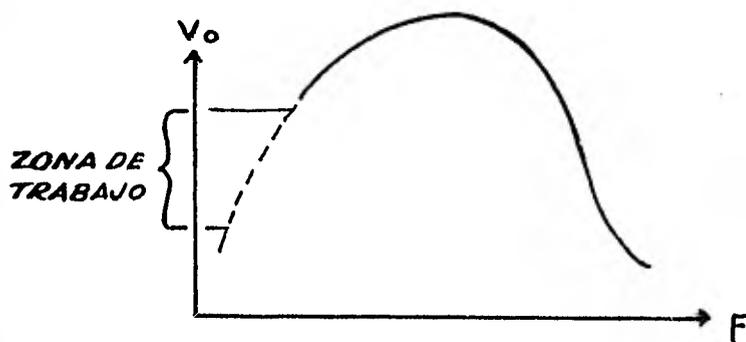


Fig. (2-10) Curva de un convertidor de F.M. en A.M.

3 - El demodulador de A.M. se encarga de recuperar la señal moduladora $m(t)$, la cual es amplificada y llevada a una bocina.

2.9. PRINCIPIO DE ESTEREOFONIA.

Se sabe que el oído humano es capaz de determinar la dirección en la que llega un cierto sonido. La precisión con la que se puede efectuar esta determinación es mayor de lo que generalmente se piensa.

A continuación se hará un breve análisis del proceso auditivo, considerando el caso de una persona que está escuchando con ambos oídos, el sonido que proviene de una fuente que se supondrá puntual. La situación se presenta en la Fig. (2-11).

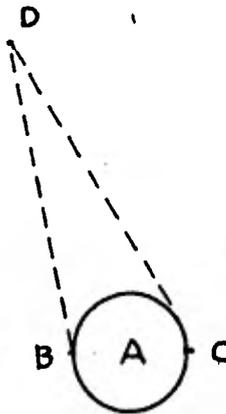


Fig. (2-11) Audición de una fuente puntual de sonido.

Dicha persona situada en A escucha por su oído izquierdo B y su oído derecho C, el sonido que proviene de una fuente D, que está situada en frente y ligeramente a su izquierda.

Como la velocidad del sonido es la misma en las dos trayectorias DB y DC, una onda sonora que comience en D, llegará antes al oído B que al C. También por la diferencia de distancia, las ondas sonoras que van de D a B se atenuarán menos que las que van de D a C; en otras palabras la intensidad del sonido es mayor en el oído B que en el C.

Los primeros ensayos en este campo se efectuaron con una cabeza artificial. Se utilizó una maqueta a escala natural de una cabeza en la que se colocaron micrófonos en las posiciones correspondientes a cada oído. Estos micrófonos se conectaban a unos auriculares que tenía puestos una persona situada en una habitación adyacente.

Era lógico suponer que dicha persona recibía a través de los auriculares la misma impresión sonora que la que percibiría si estuviese en la posición de la maqueta. Sin embargo, había una diferencia considerable. Si la persona giraba arrastrando en su giro los auriculares, toda la imagen sonora captada giraba igualmente, dando la impresión de que la fuente sonora, se encontraba en el interior

de la cabeza. Esto daba lugar a una sensación muy molesta.

Para obtener una fiel reproducción, la imagen de sonido que se recibió por medio de la cabeza artificial y se transmitió a otra parte, debe estar determinada por el espacio. Un procedimiento para conseguir esto, consiste en reproducir las dos señales transmitidas por la cabeza artificial por medio de dos altavoces A y B separados a una cierta distancia, como lo indica la Fig. (2-12). Como se puede apreciar las distancias a los altavoces son iguales para cualquier observador que se encuentra en la línea PQ.

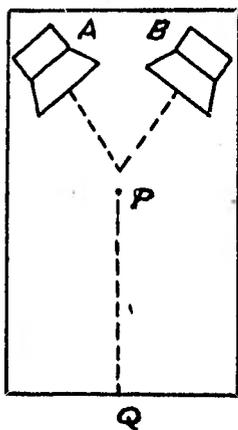


Fig. (2-12) Situación de los altavoces para la reproducción de estereofonía.

Otro método sería colocar una pantalla que tiene varios micrófonos en frente de la orquesta. Cada micrófono se conecta a un altavoz que ocupa una posición similar en otra pantalla para audiciones, Fig. (2-13)

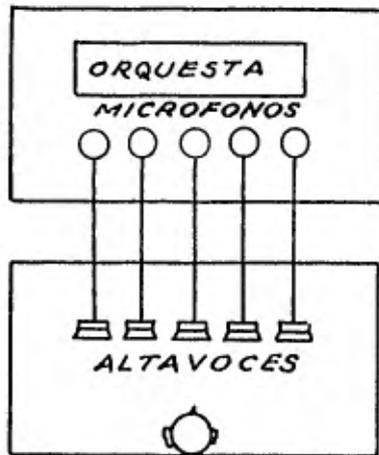


Fig. (2-13) Transmisión estereofónica por medio de "n" micrófonos y altavoces.

Una persona en esta habitación obtendrá una buena imagen espacial de la orquesta; en ella todos los instrumentos se oirán en su posición correcta.

En base a pruebas, se ha reducido esta disposición a dos micrófonos, separados una cierta distancia y, en la habitación para audiciones, dos altavoces conectados a dichos micrófonos.

2.10 SISTEMAS DE F.M. ESTEREOFONICO.

Como resultado de una búsqueda de técnicas compatibles, que permitieran la emisión estereofónica desde un solo transmisor, se implementarán varios sistemas; los más importantes fueron los siguientes:

I.- Sistemas sin subportadora. Se puede imaginar un transmisor que emite una onda portadora que se modula simultáneamente de dos formas distintas. Se obtiene una aplicación práctica de este sistema si la onda portadora se modula en amplitud con la señal izquierda y en frecuencia con la señal derecha. El receptor debe incorporar, entonces, un detector para señales moduladas en amplitud y otro para señales moduladas en frecuencia. El espectro de frecuencias es tan amplio que solo se emplearía la banda de F.M.

Un receptor F.M. monofónico en el que no existe demodulador de amplitud, detecta solo la modulación en frecuencia y, por tanto, detectaría únicamente la señal del canal derecho; por lo tanto el sistema no es compatible.

Para que el sistema fuera compatible, la onda portadora tendría que ser modulada en el transmisor, por la señal resultante de la suma de las señales del canal izquierdo y del canal derecho, y el receptor monofónico reproduciría, en este caso la suma de las dos señales.

La información estereofónica, por otra parte, existe solamente si hay una diferenciación entre las señales izquierda y derecha. Cuando ambas se suman es obvio que dicha distinción desaparece. Con objeto de recuperar

en el receptor estereofónico las dos señales originales, - la señal suma y la señal diferencia se convierten, por medio de un circuito especial, en la señal izquierda y la se ñal derecha.

II.- Sistemas con subportadora. En estos siste-- mas las señales suma y diferencia se emplean para hacer -- compatibles dichos sistemas.

Tanto en la señal suma como en la señal diferen- cia aparecen frecuencias que varían desde 0 a 15 K Hz. Am- bas señales deben transmitirse simultáneamente. Con objeto de mantenerlas separadas, la señal diferencia se convierte a una gama de frecuencias más altas mediante la modulación con una subportadora que tiene una frecuencia lo suficien- te alta como para que el intervalo completo de la señal di ferencia transformada esté siempre por encima de la fre--- cuencia más alta presente en la señal suma.

La portadora principal se modula en frecuencia - mediante ambas señales. En el receptor monofónico solo se- rá audible la señal suma y las frecuencias que aparecen en la señal diferencia transformada caen fuera del intervalo- audible.

En un receptor estereofónico se detectan la se-- ñal suma y la señal diferencia y partiendo de ellas se ob-

tienen las señales originales.

La modulación de frecuencia y amplitud son los -- dos procedimientos empleados usualmente para modular la se-- ñal diferencia con la onda de subportadora. El sistema lla-- mado Crosby emplea la modulación de frecuencia de la subpor-- tadora. Un receptor que emplee este sistema tiene un segun-- do detector de F.M., que va colocado detrás del detector -- normal de F.M. Cuando se utiliza la modulación de amplitud-- de la subportadora, el receptor resulta semejante al utili-- zado en el sistema Crosby, con la excepción de que el segun-- do detector debe constar de un demodulador A.M.

III.- Sistemas con señal piloto. El sistema -- utilizado para la radiodifusión comercial de F.M. estereofó-- nico, el cual será explicado a continuación, utiliza una se-- ñal piloto.

2.11. F.M. ESTEREOFONICO COMERCIAL.

Ahora se darán algunos detalles del sistema desa-- rrollado simultáneamente por las firmas americanas General-- Electric y Zenith, el cual ha sido seleccionado por la F.C. C. para este tipo de transmisiones como norma para los Esta-- dos Unidos.

Una vez más se usan la señal suma y la señal dife

rencia, esta última modula a una subportadora, esta modulación se hace en amplitud y se suprime la portadora. De manera que quedan únicamente las bandas laterales.

La señal suma y estas bandas laterales, junto -- con una señal piloto, modulan en frecuencia a la portadora principal. La señal piloto contiene la información completa sobre la subportadora suprimida y se utiliza en el receptor para su regeneración, permitiendo así detectar la -- diferencia.

Existen varios procedimientos para recuperar las señales originales partiendo de la señal transmitida, en -- uno de estos sistemas la señal piloto se filtra después de una detección de F.M. normal y se transforma a la subporta-- dorá deseada. La señal suma y las bandas laterales de la -- señal diferencia modulada se separan por medio de filtros. La onda subportadora se usa para demodular las bandas la-- terales y la propia señal diferencia se obtiene mediante -- esta detección. Las señales suma y diferencia se convier-- ten por medio de un circuito especial, en las señales iz-- quierda y derecha originales.

2.12. TRANSMISOR DE F.M. ESTEREOFONICO.

En la transmisión estereofónica comercial, la se

ñal con la que se modula la portadora principal, está formada por:

1.- La suma de las señales izquierda y derecha - que se denomina señal M. La letra M indica que esta señal contiene toda la información que se necesita para una -- transmisión monofónica.

$$M = L + R$$

2.- Las dos bandas laterales que resultan de modular en amplitud por medio de la señal diferencia y suprimir la onda subportadora, señal que se denota como S_M .

La señal diferencia se denomina con la letra S y contiene la información relativa a la estereofonía.

$$S = L - R$$

3.- La señal piloto, que tiene una amplitud relativamente baja y se representa como P. Su frecuencia es -- exactamente igual a la mitad de la frecuencia de la onda - subportadora. Según las normas la frecuencia de la señal - piloto es de 19 K.Mz.

4.- La señal de S.C.A.

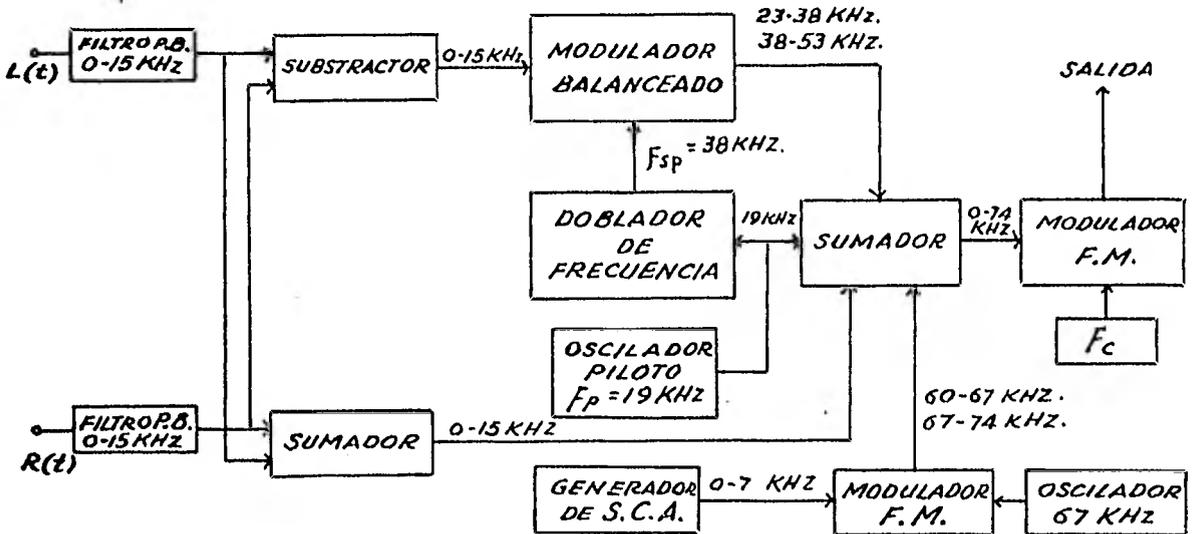


Fig. (2-14) Transmisor de F.M. estereofónico.

La duplicación de frecuencia proporciona una relación fija entre las señales piloto y la onda subportadora.- Esto es esencial para la correcta operación del sistema y así se especifica en las normas F.C.C.

Las señales M , S_M y P se introducen en el circuito sumador junto con la señal producida por el generador de S.C.A. y se envían como una señal compuesta al modulador, como se ve en la Fig. (2-14).

Para que el sistema sea compatible, la estación transmite la señal monofónica M , esta adición es alimentada a la sección moduladora del transmisor F.M. y forma lo que

se denomina generalmente como canal principal.

La señal S_M , que no puede ser reproducida por un receptor monofónico, se forma al alimentar ambas señales (R y L) a un modulador balanceado, con R defasada 180° con respecto a L, la subportadora tiene una frecuencia de 38 K Hz o sea que la señal piloto es igual a 19 K Hz, ya que la subportadora se obtiene duplicando la frecuencia de la señal piloto. La señal piloto es transmitida para la sincronización del receptor con el transmisor.

2.13. RECEPTOR DE F.M. ESTEREOFONICO.

El sistema requerido para la reproducción estereofónica se ilustra en la Fig. (2-15), los circuitos iniciales hasta el demodulador F.M., incluyendo éste, son los mismos que en un receptor F.M. convencional.

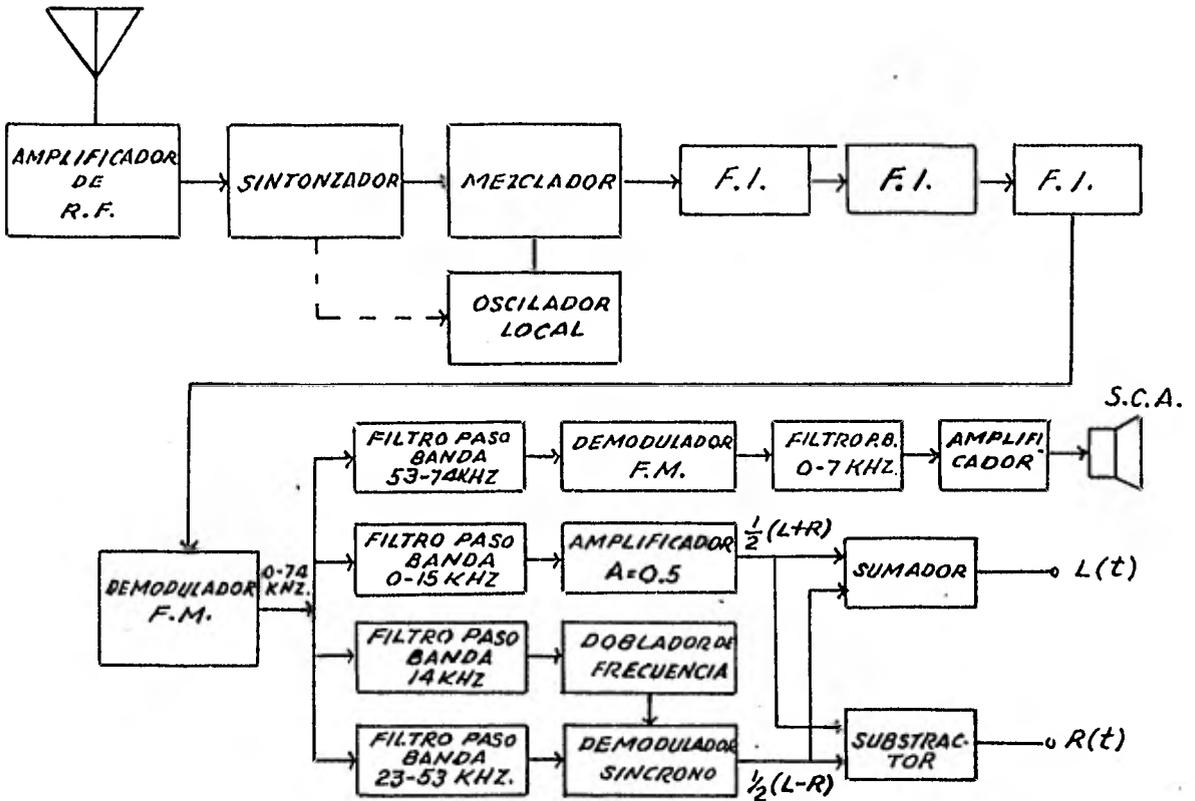


Fig. (2-15) Receptor de F.M. estereofónico.

A la salida del demodulador F.M. se obtienen todas las señales moduladoras originales, o sea: la señal M , de 0 a 15 K Hz, la señal piloto P de 19 K Hz, la señal su persónica S_M de 23 a 53 K Hz. y la S.C.A.

2.14. REGLAMENTACION DE F.M. ESTEREO.

Antes de analizar la señal de F.M. estereofónico, es necesario describir algunas exigencias impuestas a este sistema por la F.C.C.

a)- La señal M se obtiene como suma de las señales L y R. La variación de frecuencia de la onda portadora de F.M. debida a la modulación con la señal M exclusivamente no debe exceder del 90% del máximo permisible de 75 K Hz o sea que la señal M no debe modular la onda portadora más allá de 67.5 K Hz.

b)- La señal S se obtiene sumando la L y la R defasada 180°. Una onda subportadora de 38 K Hz se modula en amplitud mediante la señal S y, simultáneamente se suprime la subportadora. La portadora de F.M. se modula con las bandas laterales de la señal S_M . La variación de frecuencia de la onda portadora, resultado de la modulación con la señal S_M exclusivamente, no debe exceder tampoco el 90% del máximo permisible.

c)- La frecuencia de la subportadora no debe desviarse de 38 K Hz en más de 4 Hz. Después de la supresión, la subportadora resultante no debe originar más de 1% de la máxima variación de frecuencia permisible en la onda portadora principal. Esto es, considerando 75 K Hz como la máxima variación, debe ser menor que 0.75 K Hz.

d)- La señal piloto no debe separarse de 19 K Hz en más de 2 Hz. La variación en frecuencia de la onda portadora de F.M. producida por la señal piloto debe estar com--

prendida entre el 8 y el 10% de la variación máxima permitida. Considerando nuevamente 75 K Hz como la variación máxima, esto significa que la variación correspondiente a la señal piloto debe estar comprendida entre 6 y 7.5 K Hz.

e)- La relación de fase entre la señal piloto y la subportadora se especifica de la forma siguiente:

El instante en que la subportadora pasa por cero en sentido positivo debe corresponder con el instante en que la señal piloto pasa también por cero en sentido positivo o negativo. Las dos señales se representan, con la relación correcta de fases en la Fig. (2-16). Los instantes especificados de paso por cero se indican en esta figura mediante círculos.

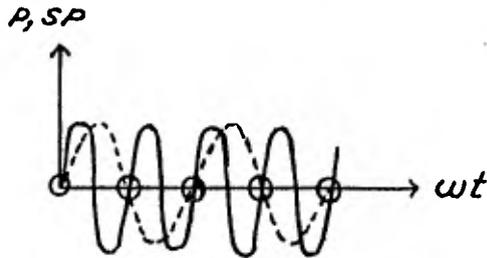


Fig. (2-16) Relación de fase entre la subportadora y la señal piloto.

f)- Si la modulación se efectúa únicamente mediante la señal L o la R, la amplitud de la señal M no debe desviarse en más del 3.5% de la amplitud de las envolventes de

la señal S_M .

Las señales M y S_M se indican en la Fig. (2-17) - para el caso en el que se utilice únicamente una señal L de tipo senoidal. La amplitud de la señal M está dada por "a" y la amplitud de la envolvente de la señal S_M por "b".

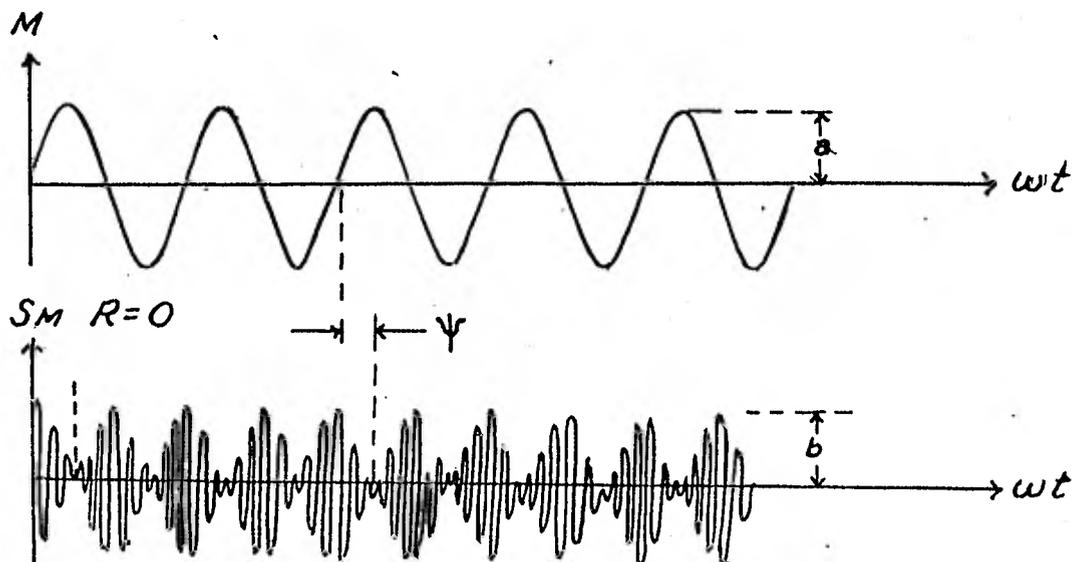


Fig. (2-17). Relación de fases y amplitudes de M y S_M .

El defase entre la señal M y la envolvente de la señal S_M no debe exceder de 30° en la modulación de un solo canal. La diferencia angular ψ entre los puntos de paso por cero de las señales M y S_M de la Fig. (2-17) no debe entonces exceder de 30° , de acuerdo con el requisito anterior.

g)- Para la modulación en frecuencia de la onda-
portadora principal se especifica que si la señal L cambia
en sentido positivo, tanto la señal M como la señal S_M de-
ben producir un cambio de frecuencia en sentido positivo.

h)- Otras exigencias relativas al espectro de --
frecuencias, distorsión y relación señal-ruido de las seña-
les, son idénticas a las impuestas en transmisiones monofó-
nicas.

i)- Las exigencias generales del sistema F.C.C.-
cubren también un segundo canal de información. Este consta de una subportadora de 67 K Hz modulada en frecuencia -
con un segundo programa. Esta subportadora modulada, junto
con las señales de estereofonía, modula a la portadora -
principal. Este programa, puede reproducirse mediante re-
ceptores especiales.

2.15. ANALISIS DE LA SEÑAL F.M. ESTEREOFONICO.

Para éste análisis se toman como base de partida
las señales izquierda y derecha. Por conveniencia en la --
descripción se supone que ambas señales son senoidales, --
aunque con diferentes velocidades angulares de valor ω_L y
 ω_R respectivamente.

$$L = V_L \cos \omega_L t \quad (2-43)$$

y

$$R = V_R \cos \omega_R t \quad (2-44)$$

donde V_L y V_R son valores pico de L y R

Las señales L y R, son valores instantáneos de tensión y se suman para obtener la señal M en la forma siguiente.

$$M = V_L \cos \omega_L t + V_R \cos \omega_R t \quad (2-45)$$

Las especificaciones del sistema F.C.C. establecen que la variación de frecuencia de la onda portadora -- principal, como resultado de la modulación con la señal M no debe exceder del 90% del valor máximo permisible. Si denominamos M_{MAX} al valor máximo de M, la señal M lo alcanzará cuando R y L sean máximos e iguales en magnitud. Esto sucede si

$$V_L MAX. = V_R MAX.$$

y

$$\cos \omega_L t = \cos \omega_R t = 1$$

en este instante:

$$M = V_L MAX. + V_R MAX. = M_{MAX.}$$

de la que lógicamente se deduce que

$$V_L MAX. = V_R MAX. = 1/2 M_{MAX} \quad (2-46)$$

Como resultado de la dinámica (variación de la intensidad del sonido) las señales R y L no tendrán siempre su valor máximo; en emisiones radiofónicas. Generalmente estas señales tomarán valores que serán una fracción de $1/2M_{MAX}$. La señal M de acuerdo con (2-46) puede escribirse

$$M = 1/2 m_L M_{max.} \cos \omega_L t + 1/2 m_R M_{max.} \cos \omega_R t \quad (2-47)$$

en la que

$$0 \leq m_L \leq 1 \quad \text{y} \quad 0 \leq m_R \leq 1 \quad (2-48)$$

La señal S se obtiene restando la señal R de la señal L lo que conduce a

$$S = L - R = V_L \cos \omega_L t - V_R \cos \omega_R t \quad (2-49)$$

La señal S se modula en amplitud con la subportadora y en este proceso se suprime la propia subportadora y se obtiene la señal S_M .

$$S_M = (V_L \cos \omega_L t - V_R \cos \omega_R t) \cos \omega_{SP} t \quad (2-50)$$

La señal S_M alcanzará su valor máximo cuando L y R sean máximas de igual magnitud y con signo opuesto. Este máximo se alcanzará en el instante en que

$$V_L \max. = V_R \max.$$

$$\cos \omega_L t = - \cos \omega_R t = 1$$

y

$$\cos \omega_p t = 1$$

En este instante se cumple lo siguiente:

$$S_M = S_{M \text{ max.}} = V_{L \text{ max.}} + V_{R \text{ MAX.}} = M_{\text{MAX.}}$$

de donde resulta evidente que son iguales los valores máximos de la señal S_M y M .

Utilizando el mismo procedimiento usado para la expresión (2-42)

$$S_M = 1/2 M_{\text{MAX.}} (m_L \cos \omega_L t - m_R \cos \omega_R t) \cos \omega_{SP} t \quad (2-51)$$

donde

$$0 \leq m_L \leq 1 \quad \text{y} \quad 0 \leq m_R \leq 1$$

El desarrollo de la relación (2-51) muestra que la señal S_M consta de cuatro componentes que son bandas laterales de frecuencia $(\omega_p + \omega_R)$, $(\omega_p - \omega_R)$, $(\omega_p + \omega_L)$ y $(\omega_p - \omega_L)$

Parte de la señal moduladora de la portadora --- principal consta de la suma de $M + S_M$

$$M + S_M = 1/2 M_{\text{MAX.}} (m_L \cos \omega_L t + m_R \cos \omega_R t) + \\ + 1/2 M_{\text{MAX.}} (m_L \cos \omega_L t + m_R \cos \omega_R t) \cos \omega_{SP} t$$

Otra de las componentes de la señal moduladora - es la señal piloto P

$$P = D \cos \omega_p t$$

Entonces la moduladora total V_T es igual a

$$\begin{aligned}
 V_T = & 1/2 M_{\max.} (m_L \cos \omega_L t + m_R \cos \omega_R t) + \\
 & + 1/2 M_{\max.} (m_L \cos \omega_L t + m_R \cos \omega_R t) \cos \omega_{SP} t + \\
 & + D \cos \omega_P t
 \end{aligned} \tag{2-52}$$

De forma completamente análoga a la empleada para introducir los coeficientes m_L y m_R en las ecuaciones (2-47) y (2-51) se puede demostrar también que

$$D = m_P M_{\max.} \tag{2-53}$$

El coeficiente m_P se diferencia de m_L y m_R en -- que su magnitud es constante y está determinada por los requerimientos impuestos por la F.C.C.

Como M_{\max} corresponde al 90% de la variación -- máxima y D del 8% al 10%, m_P tendrá un valor mínimo de --- 8/90 y un máximo de 10/90. Introduciendo el factor m_P en - la expresión (2-52) la señal de modulación total V_T se puede escribir como

$$\begin{aligned}
 V_T = & 1/2 M_{\max} (m_L \cos \omega_L t + m_R \cos \omega_R t) + \\
 & + 1/2 M_{\max} (m_L \cos \omega_L t - m_R \cos \omega_R t) \cos \omega_{SP} t + \\
 & + m_P M_{\max} \cos \omega_P t
 \end{aligned} \tag{2-54}$$

Es evidente que solo se puede alcanzar el valor-máximo de pico V_T si las señales L y R son idénticas, esto

es si $\omega_R = \omega_L$ y $m_R = m_L$. En este caso la ecuación (2-54) se transforma en

$$V_T = m_L M_{MAX.} \cos \omega_L t + m_P M_{MAX.} \cos \omega_{SP} t \quad (2-55)$$

el máximo se obtiene si

$$\cos \omega_L t = \cos \omega_{SP} t = 1$$

además, m_L debe ser máximo o sea igual a la unidad por lo tanto el valor máximo de pico resulta ser entonces

$$V_{T MAX.} = M_{MAX.} (1 + m_P) \quad (2-56)$$

Según la ecuación (2-9) la variación de frecuencia es proporcional al valor máximo de $m(t)$ o sea

$$\Delta f_C = C \cdot V_{T MAX.}$$

Dado que $M_{MAX.}$ corresponde a una variación igual al 90% del valor máximo permisible y utilizando la ecuación (2-9).

$$0.9 \Delta f_{m\acute{a}x.} = C M_{MAX.}$$

de aquí se obtiene el valor para la constante C

$$C = 0.9 \frac{\Delta f_{C \acute{m}a\acute{x}.}}{M_{\acute{m}a\acute{x}.}}$$

y por lo tanto (2-57) se transforma en

$$\Delta f_C = \frac{0.9 \Delta f_{C \acute{m}a\acute{x}.}}{M_{\acute{m}a\acute{x}.}} V_T$$

introduciendo aquí la relación (2-56) se obtiene que

$$\Delta f_C = \frac{0.9 \Delta f_{C \acute{m}a\acute{x}.}}{M_{\acute{m}a\acute{x}.}} \cdot M_{\acute{m}a\acute{x}.} (1 + m_P)$$

simplificando

$$\Delta f_c = 0.9 \Delta f_{c \text{ máx.}} (1 + m_p)$$

La variación de frecuencia para el valor máximo de m_p igual a $1/9$, según lo anterior, resulta ser

$$\Delta f_c = \Delta f_{c \text{ máx.}}$$

Lo que demuestra que no se sobrepasa la variación de frecuencia máxima permisible.

2.16. ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA EN F.M. ESTEREOFONICO.

Utilizando la ecuación (2-5a) se puede encontrar la expresión matemática que representa a la señal U_{FMS} producida por un transmisor de F.M. estereo.

$$U(t)_{FMS} = A \cos \left\{ \omega_c t + K_F \int V_T(t) dt \right\} \quad (2-58)$$

V_T está formada por los siguientes términos

$$V_T(t) = (L + R) + (L - R) \cos \omega_{SP} t + D \cos \omega_P t \quad (2-59)$$

El espectro de esta señal se muestra en la Fig.-
(2-18)

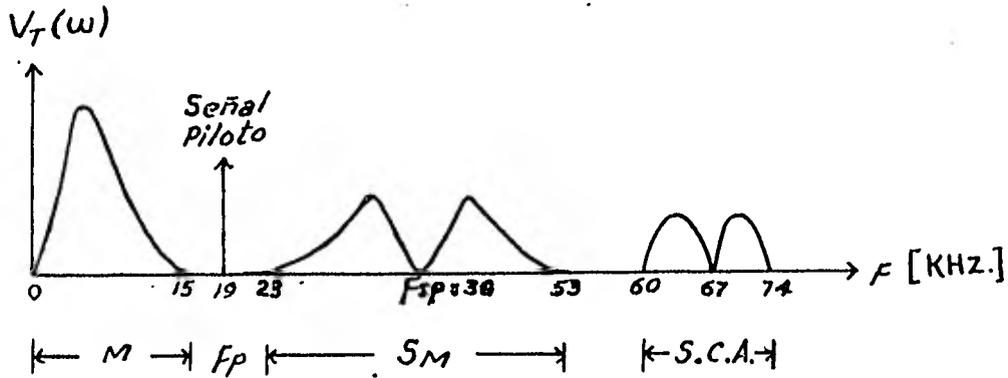


Fig. (2-18) Espectro de la señal moduladora de la portadora principal en un transmisor de F.M. este reofónico.

La suma $(L + R)$ ocupa el rango de frecuencias entre 0 y 15 K Hz. A la salida del modulador balanceado con portadora suprimida se obtiene la señal $(L - R) \cos \omega_{SP} t$ que se extiende desde 23 a 53 K Hz.

También aparece en el espectro la señal piloto de 19 K Hz y la S.C.A. que está entre 60 y 74 K Hz que no se considera en la expresión (2-59).

Según la ecuación (2-58)

$$v(t)_{FMS} = A \cos \left\{ \omega_c t + \kappa_F \int V_T(t) dt \right\}$$

esta expresión también se puede representar de la forma siguiente:

$$v(t)_{FMS} = A \operatorname{Re} e^{j(\omega_c t + \kappa_F \int V_T(t) dt)}$$

$$= A \operatorname{Re} \left(e^{j \omega_c t} \cdot e^{j K_F \int V_T(t) dt} \right) \quad (2-60)$$

haciendo una expansión por medio de la serie trigonométrica de Taylor se obtiene que

$$e^{j K_F \int V_T(t) dt} = 1 + j K_F \int V_T(t) dt + \frac{(j K_F \int V_T(t) dt)^2}{2!} + \frac{(j K_F \int V_T(t) dt)^3}{3!} + \dots \quad (2-61)$$

Se dice que hay una modulación en banda angosta si:

$$m_F \ll 1$$

o sea que según la ecuación (2-9)

$$(K_F \int m(t) dt)_{\max} \ll 1$$

en el caso de F.M. estereo la señal moduladora es igual a $V_T(t)$, entonces si la modulación en F.M. estereo se hace en banda angosta se debe cumplir que

$$(K_F \int V_T(t) dt)_{\max} \ll 1$$

en este caso los términos, de la serie (2-61), elevados a una potencia mayor a la unidad se hacen despreciables

$$e^{j K_F \int V_T(t) dt} = 1 + j K_F \int V_T(t) dt \quad (2-62)$$

por lo tanto, según la relación (2-60)

$$\begin{aligned}
 \underset{\text{F.M.S.}}{v(t)} &= A \operatorname{Re} \left(e^{j\omega_c t} \left(1 + j K_F \int v_T(t) dt \right) \right) \\
 &= A \operatorname{Re} \left(e^{j\omega_c t} + j K_F e^{j\omega_c t} \int v_T(t) dt \right) \\
 &= A \operatorname{Re} \left(\cos \omega_c t + j \operatorname{sen} \omega_c t + j K_F \cos \omega_c t \int v_T(t) dt - \right. \\
 &\quad \left. - K_F \operatorname{sen} \omega_c t \int v_T(t) dt \right) \\
 &= A \left(\cos \omega_c t - K_F \operatorname{sen} \omega_c t \int v_T(t) dt \right)
 \end{aligned}$$

Con esta expresión es mucho más fácil encontrar el espectro de una señal de F.M. donde $m_F \ll 1$

Por medio del análisis de Fourier se llega a

$$\underset{\text{F.M.S.}}{v(\omega)} = A \mathcal{F}(\cos \omega_c t) - \frac{A K_F}{2\pi} \mathcal{F} \left[\int v_T(t) dt \right] + \left[j\pi (\delta(\omega - \omega_c) - \delta(\omega + \omega_c)) \right]$$

La transformada de Fourier de la integral es igual a

$$\mathcal{F} \left(\int v_T(t) dt \right) = \frac{1}{j\omega} v_T(\omega)$$

entonces desarrollando la convolución

$$\underset{\text{F.M.S.}}{v(\omega)} = A \mathcal{F}(\cos \omega_c t) - \frac{A K_F}{2} \left[\frac{1}{j(\omega - \omega_c)} v_T(\omega - \omega_c) - \frac{1}{j(\omega + \omega_c)} v_T(\omega + \omega_c) \right] =$$

$$V_{F.M.S.}(\omega) = \pi \delta(\omega + \omega_c) + \frac{A K_F V_T(\omega + \omega_c)}{2(\omega + \omega_c)} + \pi \delta(\omega - \omega_c)$$

$$- \frac{A K_F V_T(\omega - \omega_c)}{2(\omega - \omega_c)} \quad (2-64)$$

En la Fig. (2-19) se puede apreciar gráficamente este resultado

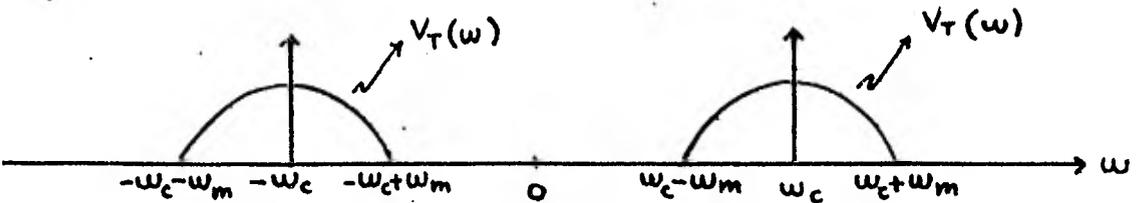


Fig. (2-19) Espectro de una señal de F.M. banda angosta.

Según la ecuación (2-59) y la Fig. (2-18) donde se representa $V_T(\omega)$, se puede obtener el espectro de una señal de F.M. estereo, gráficamente de acuerdo con la Fig. (2-20)

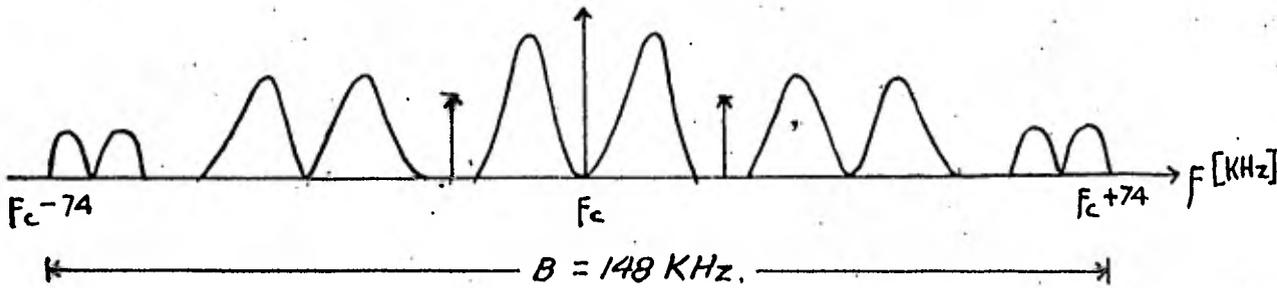


Fig. (2-20) Espectro de una señal F.M. estereo.

Como se puede observar el ancho de banda requerido es igual a 148 K Hz y el espectro solo contiene dos bandas.

Para otros valores de m_f es muy complicado el cálculo del espectro, pero en estos casos se puede aplicar la regla de Carson, con la cual, utilizando $\Delta f_{\text{máx.}} = 75 \text{ KHz}$ como lo exige la F.C.C., $B = 150 \text{ K Hz}$.

2.17. COMPATIBILIDAD DEL SISTEMA F.M. ESTEREOFONICO

Como se explicó en el tema 1.11 una de las características más importantes que debe de poseer el sistema de F.M. estereofónico es que debe ser compatible con el siste-

ma de F.M. monofónico.

Según la F.C.C. para que el sistema de F.M. estereofónico sea compatible con el de F.M. monofónico, se deben de cumplir las siguientes características:

- 1.- Que el ancho de la banda de F.M. estereo no sea mayor que el de F.M. monofónico.
- 2.- Que no haya necesidad de reubicar las estaciones en los siguientes casos:
 - a) Cuando se transmita en F.M. estereofónico y se reciba con un receptor F.M. monofónico.
 - b) Cuando se transmita en F.M. monofónico y se reciba con un receptor F.M. estereofónico.
- 3.- Que los programas transmitidos sean reproducidos sin distorsión en los siguientes casos:
 - a) Se transmita en F.M. estereofónico y se reciba con un receptor F.M. monofónico.
 - b) Se transmita en F.M. monofónico y se reciba con un receptor estereofónico.

Con el análisis hecho de los receptores, transmisores y de las señales de F.M. monofónico y estereofónico, durante este capítulo, es ahora posible demostrar que todas las características mencionadas se cumplen.

1- En el tema 2.16. se vió cómo con un ancho de banda de 150 K Hz es posible realizar transmisiones en estereofonía con una buena recepción, y el ancho de banda total asignado a las transmisiones de F.M. monofónico es de 200 K Hz, según el estudio realizado en el capítulo 2.6. - Por lo tanto la primera condición de la compatibilidad se cumple.

2- Como se explicó en los temas 2.11 y 2.12, la señal monofónica (L + R) modula a la portadora principal - en uno de los procesos para la transmisión de F.M. estereofónico, por lo tanto, el usuario de un receptor monofónico sintoniza una estación estereo como si lo hiciera con una emisora monofónica. No hay ninguna reubicación de estaciones en el caso que se transmitan, ya sean programas en estereofonía o en monofonía. Lo mismo ocurre si el radioescucha cuenta con un receptor estereofónico y la emisora - - transmite programas en los dos sistemas, porque como se verá a continuación este receptor es capaz de reproducir programas monofónicos sin ningún problema.

3- Para facilitar el estudio de la tercera característica se utilizará nuevamente el diagrama de bloques - del receptor de F.M. monofónico.

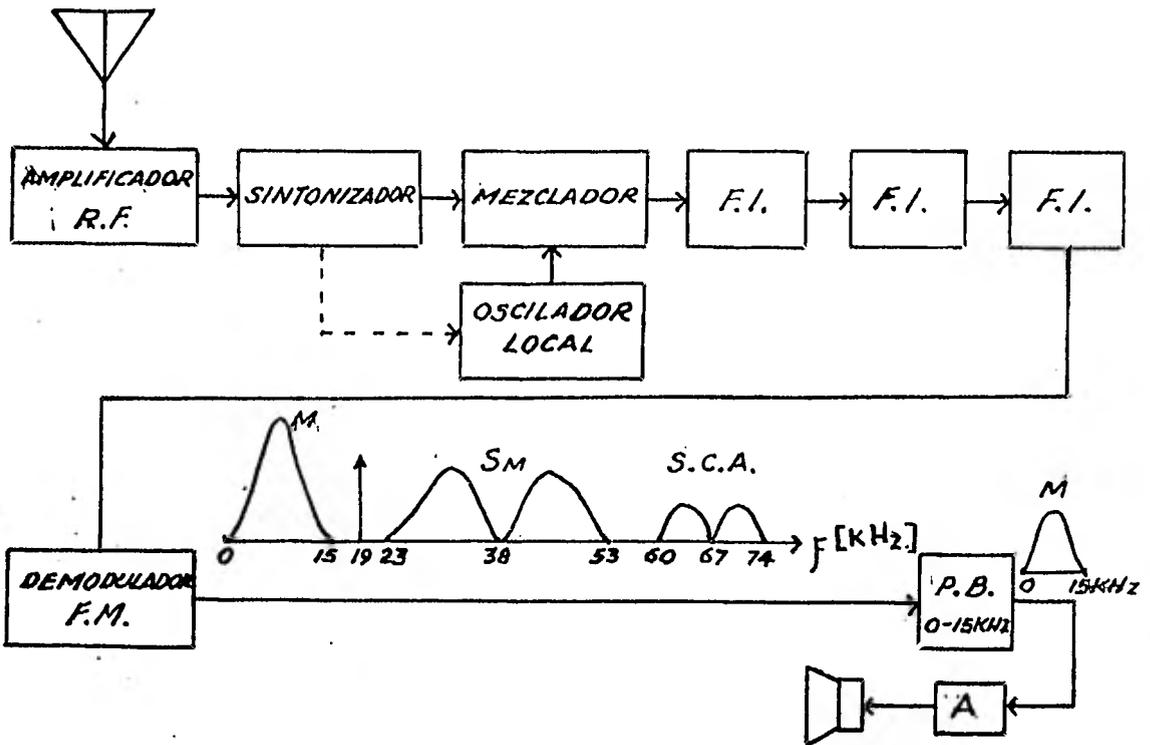


Fig. (2-21) Receptor de F.M. monofónico que recibe una señal en F.M. estereofónica.

Si se sintoniza una estación F.M. estereo con un receptor monofónico, la señal estereofónica llegará completa hasta la salida del demodulador F.M. Pero una vez que pa se por el filtro P.B. de 0 a 15 K Hz, como se observa en la Fig. (2-21), únicamente la señal monofónica $M = L + R$ pasará a la siguiente etapa del receptor, por lo tanto el radioescucha podrá tener una buena recepción, ya que la señal M -- contiene toda la información requerida para la reproducción monofónica.

En la Fig. (2-22) se ilustra el caso contrario, o sea cuando se transmite en F.M. monofónico y se recibe en un receptor F.M. estereofónico.

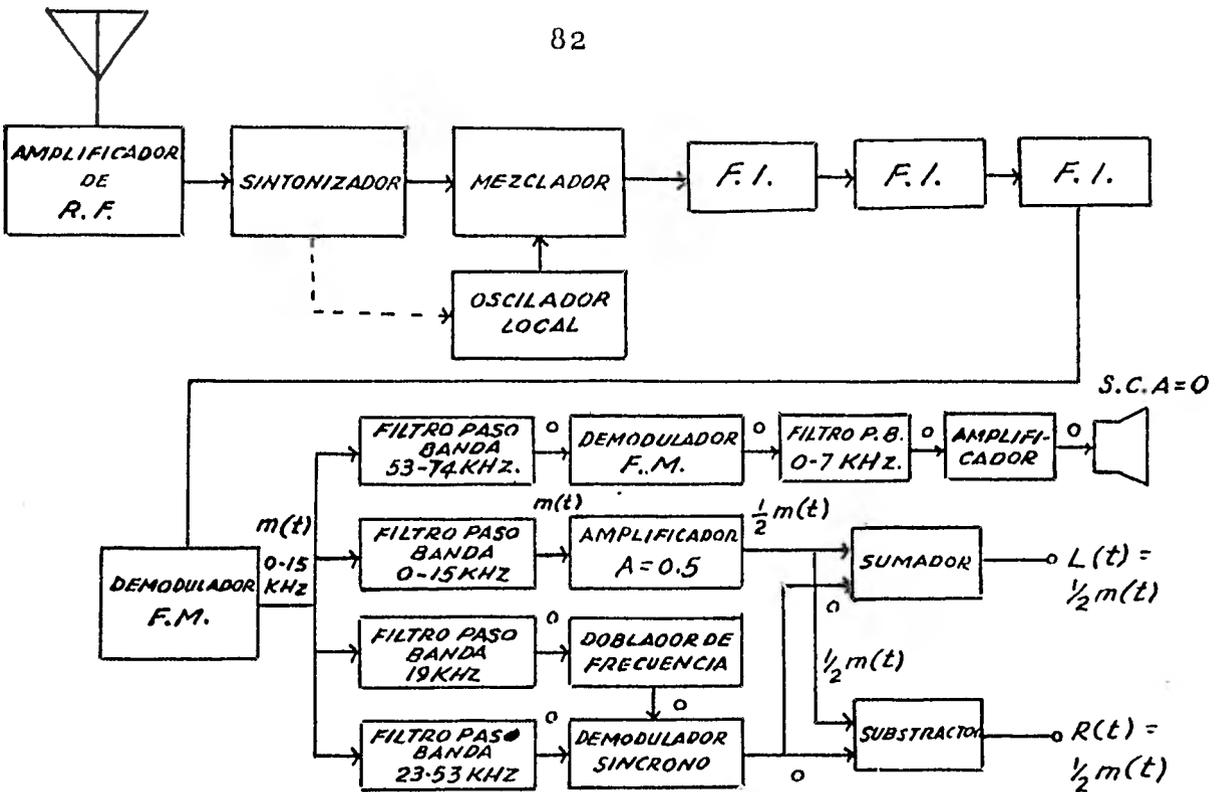


Fig.(2-22) Receptor de F.M. estereofónico que recibe una señal en F.M. monofónico.

En este caso la señal $m(t)$ será reproducida por el demodulador, después pasará solo por el filtro de 0 a 15 K Hz, pero al salir del amplificador de ganancia igual a 0.5, la señal $m(t)$ habrá perdido la mitad de su amplitud. Ya que no se envía la señal piloto, la subportadora es igual a cero, por lo tanto la señal que sale del demodulador síncrono es igual a cero.

Entonces al entrar al sumador una señal igual a cero y otra igual a $\frac{1}{2}m(t)$ a la salida la señal L será igual a $\frac{1}{2}m(t)$. Análogamente en el restador se obtendrá a la salida $R = \frac{1}{2}m(t)$. Por lo tanto en la bocina izquierda y derecha estará contenido el mensaje completo.

CAPITULO 3LA COMPATIBILIDAD EN EL SISTEMA DE T.V. CROMATICA

3.1. LA REPRODUCCION DE IMAGENES EN LA T.V.

La reproducción de las imágenes en movimiento, estáticas, en gris o en colores, sólo es posible gracias al aprovechamiento de ciertas propiedades y tolerancias de la visión humana.

Cualquiera que sea el procedimiento de reproducción usado, el proceso se describe como sigue: se descompone en "Factores Primos" la imagen o secuencia de imágenes correspondientes a éste análisis y recibidas en la forma que sea (química en la fotografía, eléctrica en la televisión) se aprovechan a continuación (bien sea directamente o tras haber sido memorizadas o transmitidas a distancia) para ser reconstruídas de forma incompleta, pero suficientemente fiel para el ojo humano. Esta segunda fase se llama síntesis.

Todos éstos datos son importantes para conocer las características de las señales de televisión que serán

utilizadas para el estudio de la compatibilidad.

3.2. ANALISIS DE LA IMAGEN EN LA T.V. MONOCROMATICA.

La imagen que se quiere transmitir se debe descomponer en una cantidad lo mayor posible de puntos (llamados elementos de imagen) y medir el brillo de cada uno de ellos o sea su valor en la gama que va del negro absoluto al blanco brillante, pasando por todos los tonos de grises.

Esto impone dos condiciones: las dimensiones de las pantallas en que se reconstruirá la imagen, deberán estar en la misma relación que la adoptada en la cámara tomavistas; por otra parte se habrá de localizar inequívocamente la posición de cada punto de la imagen en el transmisor para enviarla al receptor junto con la información de luminancia que le corresponde.

Se presentan inmensas dificultades en la transmisión simultánea de todos los puntos elementales para permitir la reproducción satisfactoria de una imagen. Una solución sencilla es la transmisión sucesiva de las señales proporcionadas por un análisis secuencial punto por punto, --- aprovechando la remanencia de la sensación luminosa del ojo.

Cada imagen se explora siguiendo líneas horizontales sucesivas de arriba a abajo, pudiendo considerarse cada línea como analizada punto por punto, sucesivamente, de izquierda a derecha. Las dimensiones mínimas de estos puntos elementales están determinados evidentemente por el medio de análisis utilizado, es decir, por el diámetro del haz electrónico o "trazo".

El haz explorador, recorre la imagen partiendo de el centro y llegando hasta el borde derecho de una línea, ligeramente descendente, a continuación vuelve muy rápido y sin función alguna de análisis, al extremo izquierdo de la segunda línea, donde comienza de nuevo la exploración hacia la derecha. De este modo recorre todas las líneas hasta la última, en el centro de la parte inferior de la imagen. Al llegar a este punto, el haz sube rápidamente en líneas zigzagueantes, sin cumplir funciones de análisis hasta el punto central superior de la imagen donde comienza con un nuevo ciclo.

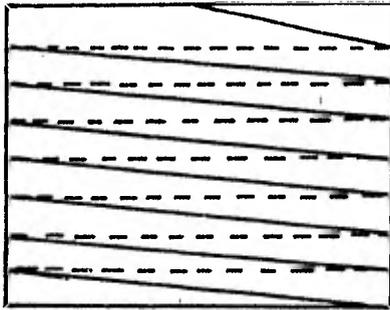


Fig. (3-1) Recorrido del haz explorador en análisis de una imagen.

El sistema de análisis debe estar en perfecto sin cronismo con el de reproducción; por esto, cada vez que el haz analizador llega al final de una línea y vuelve a la -- izquierda para empezar la siguiente, se emite un pulso de sincronismo que gobierna el sistema de reproducción haciéndole efectuar el mismo cambio de línea.

Cuando el haz analizador llega al final de la última línea, en la parte inferior de la imagen y sube en líneas en forma de zig-zag, hasta el principio de la imagen siguiente, se emite también otro pulso diferente de los de línea para permitir su identificación.

3.3. ANALISIS Y SINTESIS CON TRAMAS ENTRALAZADAS.

En el cine basta con proyectar 24 imágenes por se gundo para dar al espectador la ilusión de movimiento sin - fatiga alguna para el ojo. En realidad a causa de ciertas - características de la persistencia de la sensación luminosa podríamos sentirnos molestos por un efecto de parpadeo. Por eso cada imagen se obtura una vez durante su proyección, la que proporciona una cadencia doble, es decir, 48 imágenes - subjetivas por segundo.

El efecto de parpadeo será más notable en televi- sión, ya que cada imagen está formada por la iluminación de

puntos sucesivos. Para evitar esto en lugar de analizar y restituir todas las líneas de cada imagen sucesivamente, se procede en dos fases: durante $1/60$ de segundo se exploran y reproducen las líneas de orden impar y durante el si siguiente $1/60$ de segundo se tratan las líneas de orden par. Como cada línea impar está muy cerca de la par siguiente, el ojo no percibirá el ligero desplazamiento existente entre dos cuadros sucesivos, esto da como resultado un total de 30 cuadros/seg. La exploración entrelazada tiene dos fines determinados, a saber: mantener el número de cuadros por segundo suficientemente elevado para evitar el parpadeo de la imagen y reducir el ancho de banda que requeriría el sistema si se usara una exploración progresiva.

La duración del ciclo de análisis vertical se ha elegido en función de la persistencia de la sensación luminosa en la retina, por un lado y de la frecuencia de la red de energía eléctrica, por otra. Como el umbral de la remanencia retiniana es de $1/15$ de segundo y la frecuencia de las diferentes redes nacionales es de 50 Hz (Europa y Asia) o de 60 Hz (América), se ha escogido $1/25$ o $1/30$ de segundo como tiempo de duración del análisis de una imagen. Como este valor está tan cerca de la tolerancia del ojo, que podría molestar con un efecto de parpadeo de la imagen, se analiza esta última dos veces durante el mismo-

lapso.

La determinación de la cantidad de líneas horizontales depende de dos factores: la distancia normal de observación de la imagen y el poder resolutivo del ojo.

La distancia normal de observación es la que permite al ojo englobar toda la imagen, sin tener que efectuar constantes movimientos de vaivén laterales y sin distinguir con tanta nitidez como es la imagen realmente. En resumen - esta distancia está determinada por el ángulo máximo de percepción de la fovea, zona de finura máxima, y por las dimensiones de la imagen. Hay una regla empírica, llamada "regla de los pintores", que nos indica que una persona que examine un cuadro se coloca por lo general a una distancia de el equivalente a tres veces la diagonal de dicho cuadro. El cálculo efectuado basándose en los datos anteriores habría dado un valor de esta distancia igual a cinco veces la mayor dimensión del objeto deseado. Tomando un término medio o sea, cuatro veces la diagonal de la imagen. Como las dimensiones de toda pantalla de un televisor tienen la relación

$$\frac{\text{altura}}{\text{anchura}} = \frac{H}{L} = \frac{3}{4}$$

(3-1)

la diagonal vale

$$D = \sqrt{H^2 + L^2} = \frac{5}{3} H$$

la distancia ideal de observación, d , sería, en función de la altura de la imagen H

$$d = 4 \times \frac{5}{3} H = \frac{20}{3} H$$

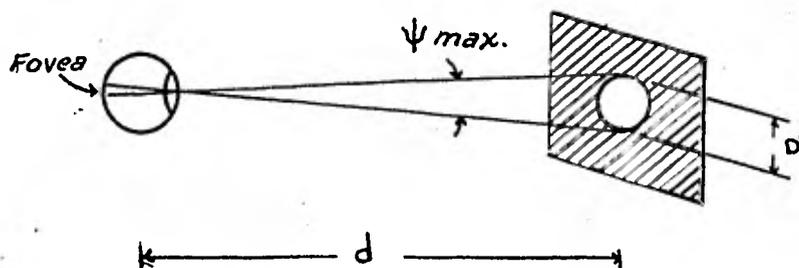


Fig. (3-2) Distancia óptima de observación.

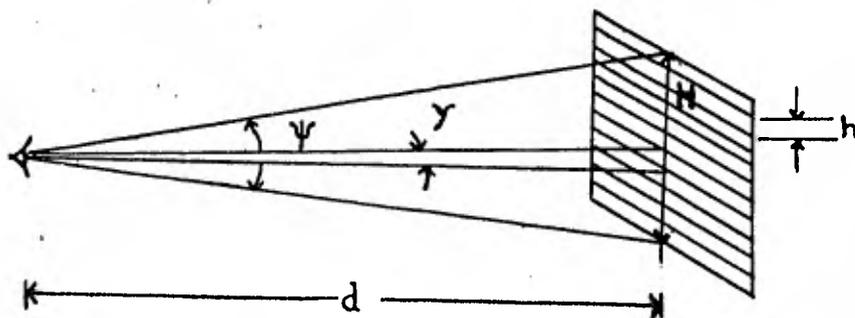


Fig. (3-3) Número de líneas óptimo.

Dado que el ángulo de resolución del ojo, γ , con el que se ve el menor objeto discernible, h , y conocido el ángulo ψ con que se ve la imagen en su totalidad, en altura. El problema es determinar el límite máximo del número de elementos h que el ojo podrá distinguir en esa altura. Se comprende que ese límite será igual a la relación ψ/γ .

La cantidad mínima de líneas de análisis por imagen habrá de ser superior a este valor, para que la estructura lineal de la imagen de T.V. no constituya una molestia para la vista.

Si se calcula el ángulo ψ

$$\tan \frac{\psi}{2} = \frac{H/2}{d} = 0.075$$

donde

$$\psi = 8^{\circ} 40'$$

Se tiene como dato el ángulo de resolución del ojo que es de $1'$. La cantidad de líneas horizontales de análisis de una imagen debe ser superior a

$$\# \text{ líneas/cuadro} = \frac{8^{\circ} 40'}{1'} = 520 \quad (3-2)$$

para asegurar una observación cómoda.

Las normas actuales de televisión han adoptado -- cantidad de líneas superiores a las 520 (EXCEPTO en el caso de Inglaterra donde son 405), valores tales como 525, 625, 819, impares. Como la frecuencia de línea y la de cuadro deben gobernarse rigurosamente entre sí, para asegurar un barrido entrelazado se emplea el mismo oscilador, en lugar de hacerlo con dos separados. La frecuencia de ese oscilador es el mínimo común múltiplo de ambas. Después, partiendo de esa frecuencia se procede por divisiones sucesivas, hasta llegar a la frecuencia de línea (barrido horizontal) y más tarde a la de cuadro (barrido vertical).

$$525 \frac{\text{Líneas}}{\text{Cuadro}} \times 30 \frac{\text{Cuadros}}{\text{Seg.}} = 15,750 \frac{\text{Líneas}}{\text{Seg.}} = B_H$$

$$B_V = 60 \frac{\text{Cuadros}}{\text{Seg.}} ; B_H \times B_V = 15,750 \times 60 = 945,000$$

$945,000/30 = 31,500$. Es múltiplo de 15,750 y de 60

3.4. FORMA DE LA SEÑAL DE VIDEO.

La señal proporcionada por el tubo de cámara durante cada línea de análisis de la imagen se denominará señal de video o de imagen. Esta señal tras modular una portadora, será transmitida, captada por un receptor y demodulada para controlar la intensidad del haz electrónico del tubo de imagen.

Es evidente que la forma de onda de la señal de video de una imagen que tenga blancos, negros y grises de diferentes intensidades no tiene variaciones sinusoidales, ni siquiera periódicas (salvo raras excepciones) ya que los diferentes tonos de gris están distribuidos a lo largo de la imagen de una forma completamente irregular y arbitraria (Fig. (3-4)).

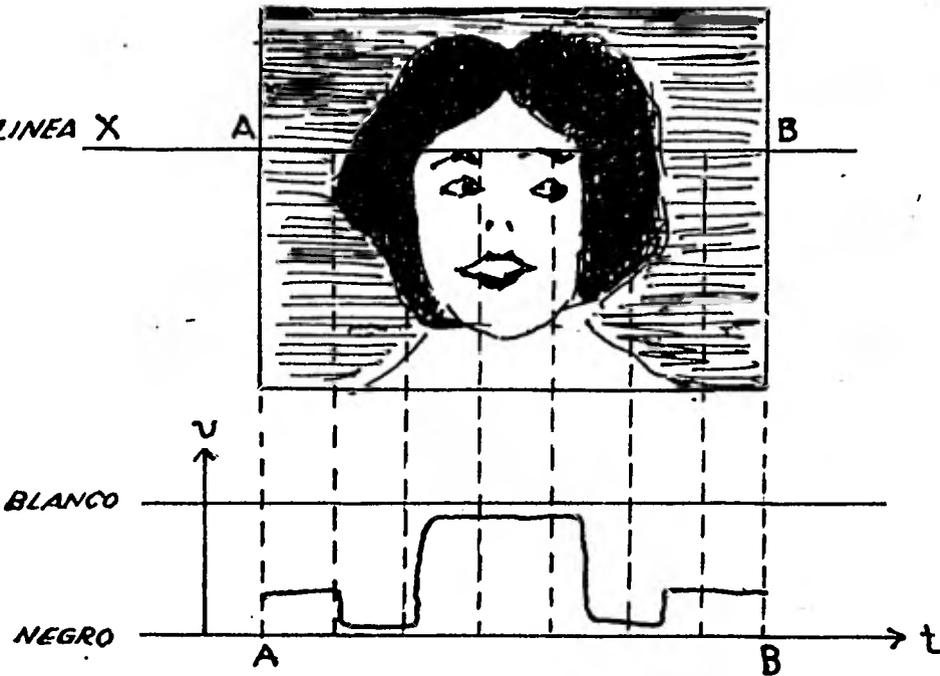


Fig. (3-4) Forma de la onda de la señal de video entregada por el tubo de la cámara durante el análisis de la línea X.

3.5. ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL DE VIDEO.

Se puede observar, en la Fig. (3-4), que una imagen puede presentar una transición brusca del negro al -- blanco, caso en el cual la señal correspondiente, llamada transitoria, contiene según la ley de descomposición en serie de Fourier, una gama de frecuencias que llegan hasta -- el infinito.

Afortunadamente gracias a la tolerancia del ojo humano en cuanto a transiciones bruscas de luminosidad, -- no hace falta transmitir la información con toda preci---- sión, bastando para la señal de video con una banda de va rios megahertz. De igual modo, la frecuencia cero no se -- transmite, sino que se restituye en la recepción cuando se necesita.

Para calcular la banda mínima de frecuencias ad misibles en una transmisión correcta de la información de video, se estudiará el caso más desfavorable: el de una -- imagen formada por una serie de barras verticales alterna tivamente negras y blancas como en la Fig. (3-5), y se su pondrá a la vez que la "definición", o sea, la finura hori zontal (cantidad de puntos elementales distintos por uni-- dad de longitud, en una misma línea), es igual a la defini ción vertical (número de líneas por unidad de longitud) y que

los tiempos de retorno tienen un valor despreciable.

El número de puntos elementales por línea horizontal es igual a

$$\# \text{ de puntos elementales por línea} = 525 \times \frac{4}{3} = 700$$

Si estos puntos elementales son alternativamente negros y blancos, la señal de video correspondiente tendrá teóricamente la forma de una señal cuadrada con una frecuencia de

$$\frac{700}{2} \times 525 \times 30 = 5.51 \text{ M Hz}$$

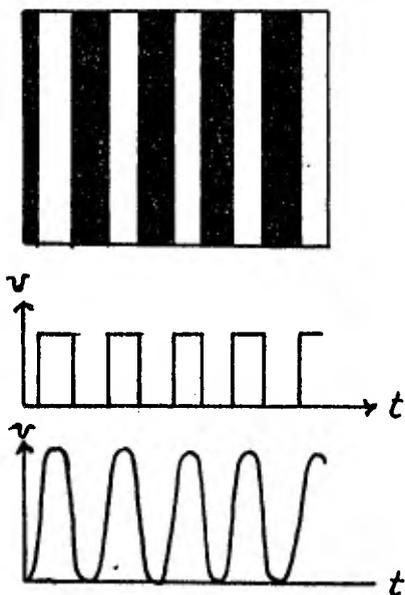


Fig. (3-5) Imagen y señal correspondiente de video de una serie de barras blancas y negras.

Teóricamente habría que transmitir una decena de armónicas de esta frecuencia para reconstruir con fide--

dad de la imagen de 700 barras alternadas blancas y negras.- Pero además de que en tal caso se llegaría a un tamaño excesivo de ancho de banda, resultaría completamente vano por la imperfección del ojo, que sólo vería en esa imagen un campo-gris continuo.

En la práctica basta con admitir como límite normal de la banda de video la frecuencia fundamental de la señal correspondiente a la imagen que se acaba de definir.

La norma americana ha admitido una definición horizontal ligeramente inferior a la vertical, reduciendo en consecuencia al ancho de banda del video. En el caso de una imagen dejan de usarse ciertas líneas (durante el retorno de cuadro y al principio de cada cuadro). La definición vertical real queda reducida, con ello en un 10%, aproximadamente, con respecto al valor nominal del número de líneas. Por tanto se toma un ancho de banda aproximado de 4.2 M Hz.

3.6. SEÑALES DE BARRIDO.

Para desviar, haz electrónico, tanto al hacer el análisis como su síntesis, hay que aplicar a los órganos desviadores, señales que crezcan proporcionalmente al tiempo -- desde el principio de un ciclo de línea o de cuadro y vuelvan al final de éstos ciclos a su valor inicial con la mayor rapidez posible.

En el caso del barrido horizontal el ritmo de exploración es 525 líneas horizontales (un cuadro) repetido 30 veces por segundo. Esto produce 15,750 líneas horizontales por segundo. Para que el haz se mueva en la forma requerida horizontalmente, la forma de onda de la señal que produzca este movimiento debe ser teóricamente la indicada en la Fig. (3-6) (en la práctica las bobinas deflectoras no son lineales y cambia ligeramente la forma.). Ya que para lograr una buena imagen primero se forman las líneas nones y después las pares, para formar un cuadro completo cada $1/30$ seg., la frecuencia del barrido horizontal será de 60 Hz. y su forma de onda la señalada en la Fig. (3-6).

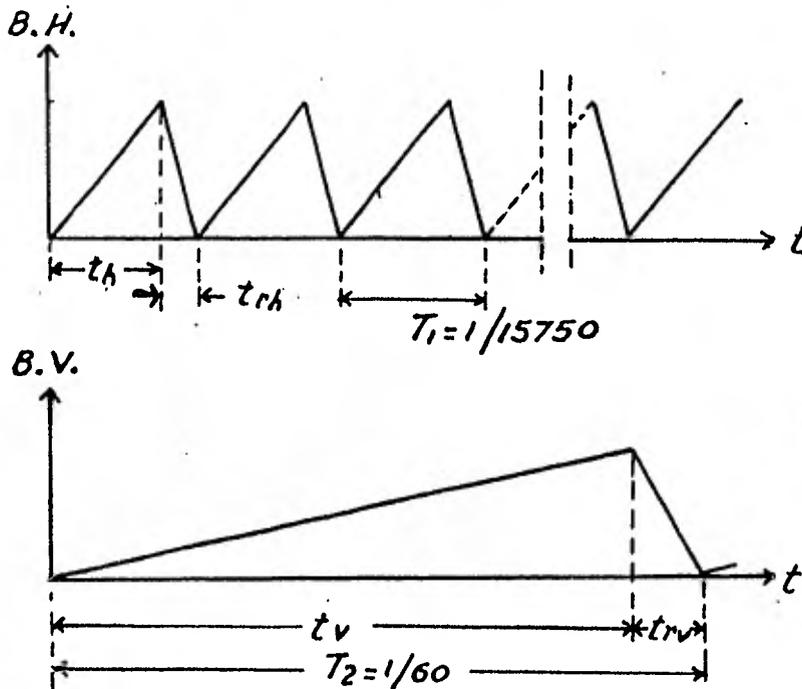


Fig. (3-6) Barrido Horizontal y Vertical.

Cuando la pantalla es explorada una vez (262.5 líneas) se produce un campo, estando compuesto el cuadro completo de dos campos (525 líneas).

En los ciclos de barrido horizontal y vertical -- hay que distinguir una duración útil o de exploración, t_h , durante la cual el trazo cumple su función de análisis o reproducción de la imagen y otra duración improductiva, correspondiente al retorno del trazo t_{rh} , en la que éste no realiza función alguna.

3.7. SEÑAL DE VIDEO COMPUESTO

En la señal de video compuesto está contenida toda la información requerida para la reproducción de las imágenes en el receptor. Las distintas componentes de la señal de video compuesto son las siguientes:

a) Señal de video, de la cual ya se mencionaron sus propiedades anteriormente.

b) Señales de borrado o supresión. Al final de cada línea y de cada cuadro el trazo explorador (ya sea el de análisis o el de síntesis) no realiza función alguna, aprovechándose este intervalo de tiempo para proceder al retorno del haz electrónico al principio de la exploración horizontal o vertical. Esto es una señal de video nula a la sa-

lida del analizador (cámara) durante el mismo tiempo. En el lado de la reproducción hay que asegurar simultáneamente un bloqueo del tubo de imagen para que no se hagan visibles en la pantalla los trazos de retorno. Esto se logra mandando una serie de pulsos emitidos entre cada ciclo de línea y de cuadro, su amplitud es ligeramente igual al nivel negro, o sea 75% de la amplitud total. La señal de supresión de línea dura de 10.16 a 11.4 microsegundos. La supresión de cuadro dura de 833 a 1300 microsegundos para cada campo.

c) Señales de sincronismo. La señal de sincronismo horizontal está superpuesta a la señal de borrado, o sea que se emite durante una parte de la señal de borrado y es de una amplitud superior a esta, quedando la cresta de estos pulsos al 100% de la amplitud total. También la señal de video compuesto cuenta con pulsos de sincronía vertical. Estos pulsos sirven como base para generar en el receptor las señales de voltaje que moverán al haz horizontal y verticalmente.

Durante el intervalo de sincronismo vertical es también necesario borrar el retroceso, aunque ahora en un período más largo que el de borrado horizontal. Para evitar la pérdida del sincronismo horizontal se introduce una serie de pulsos de corta duración en el borrado vertical.

Para formar la señal de video compuesto, después de la exploración, se le insertan a la señal de video los pulsos de borrado durante los intervalos de retroceso, para suprimir las líneas en el tubo de imagen del receptor y se agregan los pulsos de sincronismo en la parte superior de los pulsos de borrado, para sincronizar a los circuitos de barrido horizontal y vertical del receptor. En la Fig. (3-7) se puede apreciar la señal de video compuesto para la formación de un cuadro completo. En las figuras (3-8a) y (3-8b) se observa en detalle la forma de los pulsos de sincronía vertical y horizontal.

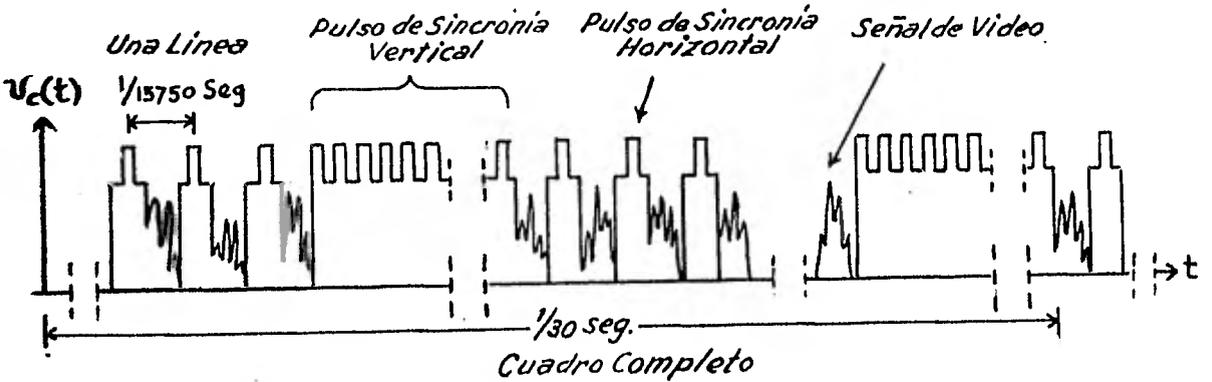


Fig. (3-7) Señal de video compuesto.

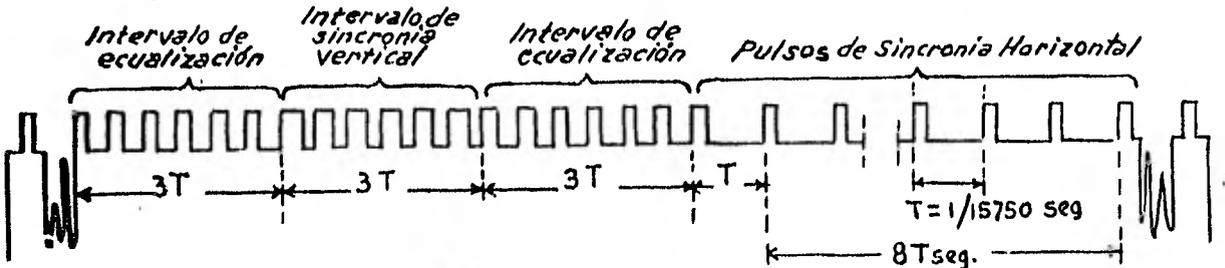


Fig. (3-8a) Pulso de sincronía vertical.

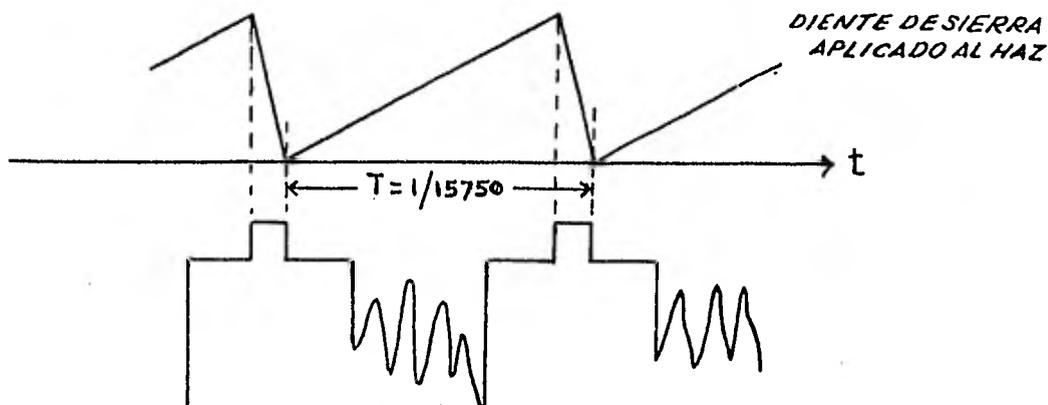


Fig. (2-8b) Pulso de sincronía horizontal.

3.8. NORMAS DE TELEVISIÓN.

En la Tabla (3-1) se describen las normas de televisión existentes en los Estados Unidos.

Tabla (3-1) Normas de Televisión

DENOMINACION	T.V. B. y N.	T.V. Color	Unidades
Número de líneas	525	525	Líneas
Frecuencia de campo (V)	60	59.94	Hz
Frecuencia de cuadro	30	29.97	Hz
Frecuencia de línea (H)	15750	15734.264	Hz
Ancho de banda de video	4.2	4.2	MHz
Ancho de banda total	6	6	MHz
Banda lateral principal	4.75	4.75	MHz
Banda lateral vestigial	1.25	1.25	MHz
Modulación de sonido	F.M.	F.M.	
Desviación máxima	± 25	± 25	K Hz
Separación entre portadora de sonido e imagen	4.5	4.5	MHz

* En los siguientes capítulos también se mencionarán otras normas im-

1.- Se suprimen los pulsos de borrado y sincronía vertical.

2.- Se eliminan los pulsos de sincronía horizontal.

Entonces la señal de video compuesto simplificada, se forma matemáticamente de la siguiente manera:

1.- La señal de video $v(t)$ será multiplicada por un tren de pulsos $B(t)$ como se indica en la Fig. (3-10)

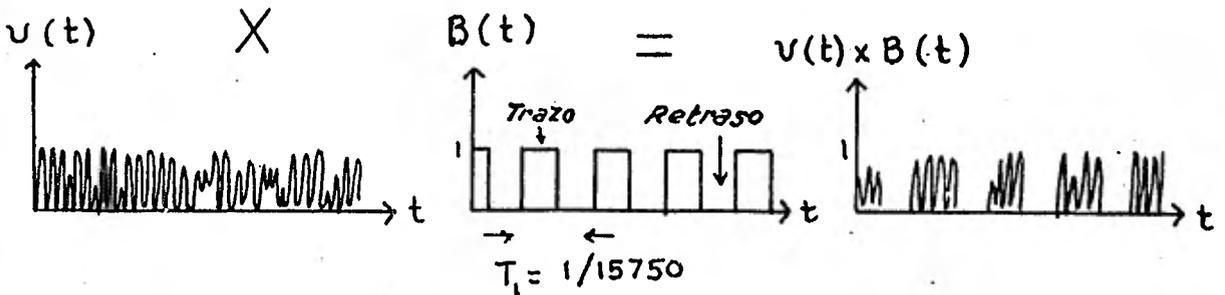


Fig. (3-10) Señal de video $v(t)$ multiplicada por un tren de pulsos $B(t)$.

El tiempo de duración de cada pulso de $B(t)$ es igual al tiempo de trazado horizontal y su amplitud igual a la unidad. La duración de los huecos es el tiempo de borrado.

2.- A este producto se le sumarán los pulsos de borrado horizontal $C(t)$, como se muestra en la Fig.(3-11)

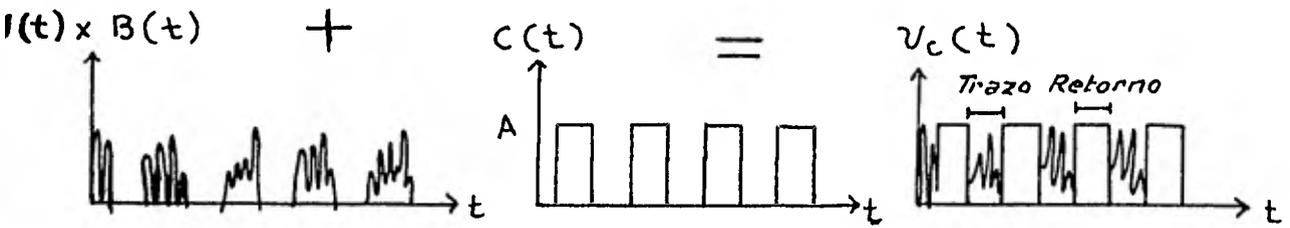


Fig. (3-11) Formación de la señal de video compuesto $v_c(t)$.

Por lo tanto la señal de video compuesto $v_c(t)$ es igual a

$$v_c(t) = v(t) \cdot B(t) + C(t) \quad (3-3)$$

Para encontrar el espectro de la señal de video-compuesto $v_c(t)$, primero es necesario determinar $B(\omega)$ y $C(\omega)$.

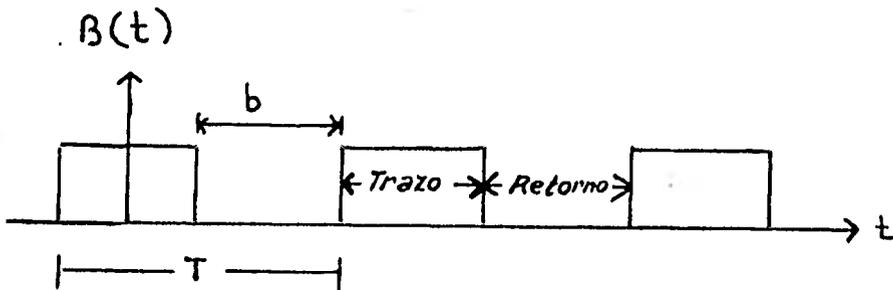


Fig. (3-12) Señal $B(t)$.

La señal $B(t)$ mostrada en la Fig. (3-12) se puede representar mediante una serie exponencial de Fourier, como sigue:

$$B(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{j n \omega_h t} \quad (3-4)$$

donde

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} B(t) e^{-j n \omega_h t} dt \quad (3-5)$$

y

$$\omega_h = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{1/15750} = 31500 \pi \text{ rad/seg.}$$

$$B(t) = \begin{cases} 1 & \text{si : } -\frac{T+b}{2} < t < \frac{T-b}{2} \\ 0 & \text{si : } \frac{T-b}{2} < t < \frac{T+b}{2} \end{cases}$$

Por lo tanto

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T-b}{2}}^{\frac{T-b}{2}} (1) e^{-j n \omega_h t} dt$$

integrando

$$C_n = \frac{1}{T(-jn\omega_h)} \left(e^{-jn\omega_h(T-b)/2} - e^{jn\omega_h(T-b)/2} \right) \quad (3-6)$$

Sabiendo que

$$\text{sen } \theta = \frac{e^{j\theta} - e^{-j\theta}}{2j}$$

la ecuación (3-6) se transforma en

$$C_n = \frac{2}{T n \omega_h} \text{sen } n \omega_h \left(\frac{T-b}{2} \right) \quad (3-7)$$

Si

$$\omega_h = \frac{2\pi}{T}$$

entonces

$$C_n = \frac{1}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n 2\pi}{T} \left(\frac{T-b}{2} \right)$$

si se multiplica y divide por $\left(\frac{T-b}{T} \right)$

$$C_n = \frac{T-b}{T} \operatorname{sinc} n\pi \left(\frac{T-b}{T} \right) \quad (3-8)$$

Ya conociendo C_n se puede obtener el espectro de $B(\omega)$ a partir de la ecuación (3-4) de la forma siguiente:

$$B(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{j n \omega_h t} \quad (3-4)$$

tomando la transformada de Fourier de ambos lados de esta última expresión

$$\begin{aligned} \mathcal{F}\{B(t)\} &= B(\omega) = \mathcal{F}\left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{j n \omega_h t} \right\} = \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \mathcal{F}\left\{ e^{j n \omega_h t} \right\}. \end{aligned}$$

sabiendo que

$$\mathcal{F}\left\{ e^{j n \omega_h t} \right\} = 2\pi \delta(\omega - n\omega_h)$$

se puede obtener $B(\omega)$ como sigue.

$$B(\omega) = 2\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \delta(\omega - n\omega_h) \quad (3-9)$$

Por lo tanto utilizando la ecuación (3-8) se obtiene el espectro de $B(t)$

$$B(\omega) = 2\pi \left(\frac{T-b}{T} \right) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc } n\pi \left(\frac{T-b}{T} \right) \delta(\omega - n\omega_h) \quad (3-10)$$

donde ω_h es la frecuencia de la sincronía horizontal

La señal $C(t)$ tiene la forma descrita en la Fig.

(3-13)

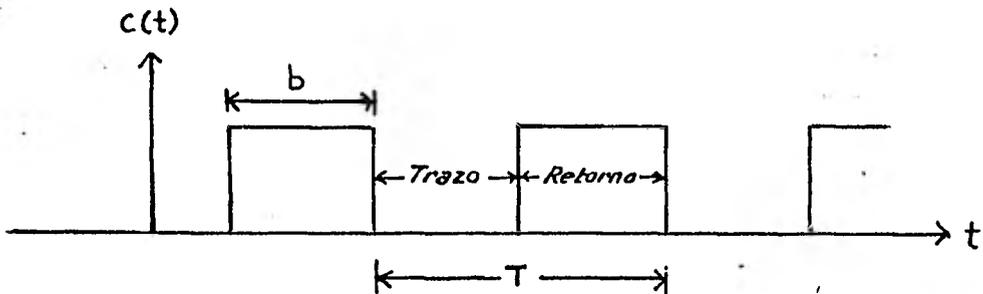


Fig. (3-13) Señal $C(t)$

$C(t)$ se puede obtener a partir de $B(t)$ de la forma siguiente

$$C(t) = A (1 - B(t)) \quad (3-12)$$

Gráficamente se puede visualizar mejor la obtención de $C(t)$ a partir de $B(t)$:

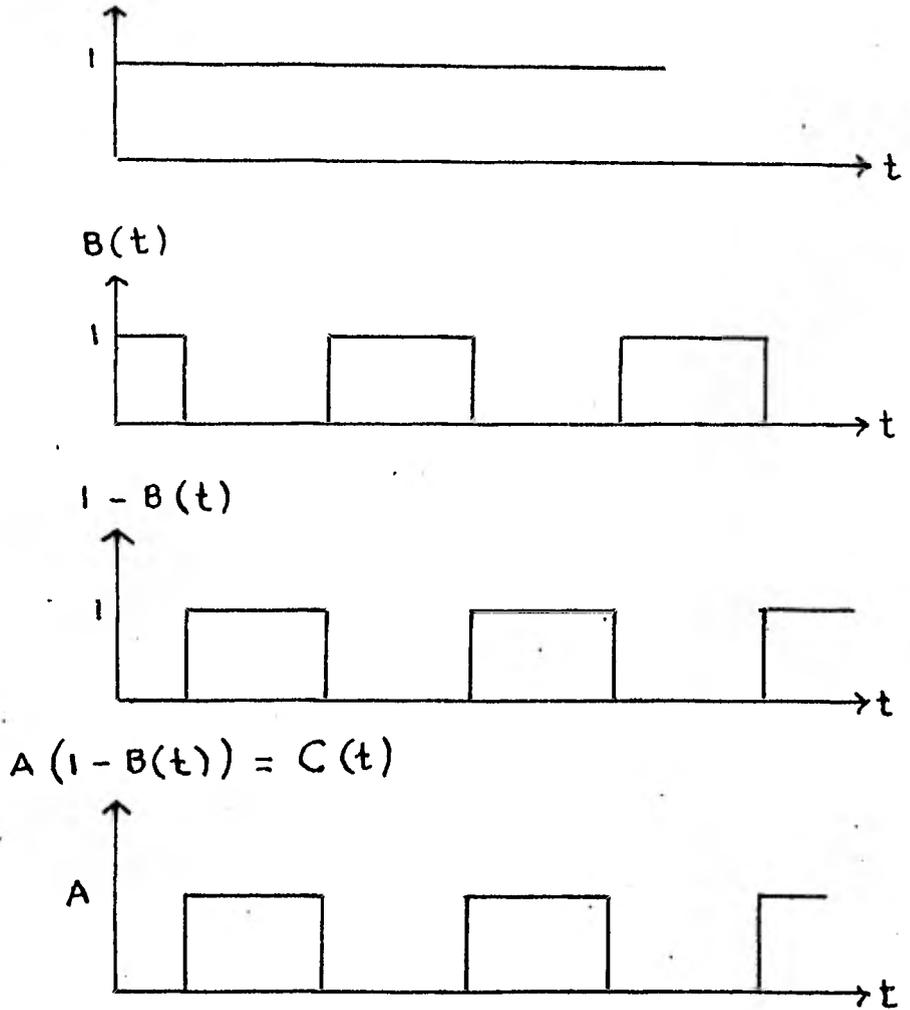


Fig. (3-14) Obtención de $C(t)$ a partir de $B(t)$.

Todo esto facilita la obtención del espectro - $C(\omega)$, según la ecuación (3-12)

$$C(t) = A (1 - B(t))$$

Por lo tanto

$$C(\omega) = 2\pi A \delta(\omega) - A \cdot B(\omega)$$

utilizando la ecuación (3-10) se obtiene que

$$C(\omega) = 2\pi A \delta(\omega) - 2A\pi \left(\frac{T-b}{T}\right) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc } n\pi \left(\frac{T-b}{T}\right) \delta(\omega - n\omega_h)$$

Para obtener el espectro de la señal de video compuesto se tendrá que utilizar la ecuación (3-3)

$$v_c(t) = v(t) \cdot B(t) + C(t) \quad (3-3)$$

El espectro de $v_c(t)$ es igual a

$$v_c(\omega) = \frac{1}{2\pi} v(\omega) * B(\omega) + C(\omega) \quad (3-13)$$

O sea que solo falta determinar que tipo de señal es $v(t)$, para encontrar su espectro y después aplicar la ecuación (3-13) para conocer el comportamiento de la señal de video compuesto en el dominio de la frecuencia.

El espectro de la señal de video compuesto se determinará para dos casos representativos:

1.- Cuando la imagen es de una sola intensidad de gris a lo largo de toda la pantalla.

2.- Cuando la imagen es una línea recta, blanca, vertical y situada al centro de la pantalla.

1.- En el primer caso la señal $v(t)$ será igual a una constante, ya que la intensidad de gris permanece constante en toda la pantalla.

$$v(t) = \text{cte.} \quad (3-14)$$

Para facilitar los cálculos se supondrá que

$$v(t) = 1$$

entonces según la expresión (3-3)

$$v_c(t) = B(t) + C(t)$$

sustituyendo $C(t)$ por su valor en función de $B(t)$ dado en la ecuación (3-12)

$$v_c(t) = B(t) + A(1 - B(t)) \quad (3-16)$$

si se hace que la magnitud A de $C(t)$ sea igual a 0.5 , entonces

$$\begin{aligned} v_c(t) &= B(t) + 0.5 - 0.5 B(t) \\ &= 0.5 B(t) + 0.5 \end{aligned} \quad (3-17)$$

y el espectro de $v_c(t)$ será igual a

$$v_c(\omega) = 0.5 B(\omega) + \pi \delta(\omega) \quad (3-18)$$

sustituyendo el valor de $B(\omega)$ dado en la ecuación (3-10) se obtiene el espectro de la señal de video compuesto, cuando la imagen es de una sola intensidad de gris, a lo largo de toda la pantalla

$$v_c(\omega) = \pi \left(\frac{T-b}{T} \right) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc } n \pi \left(\frac{T-b}{T} \right) \delta(\omega - n\omega_H) + \pi \delta(\omega) \quad (3-19)$$

en la Fig. (3-15) se observa gráficamente este espectro

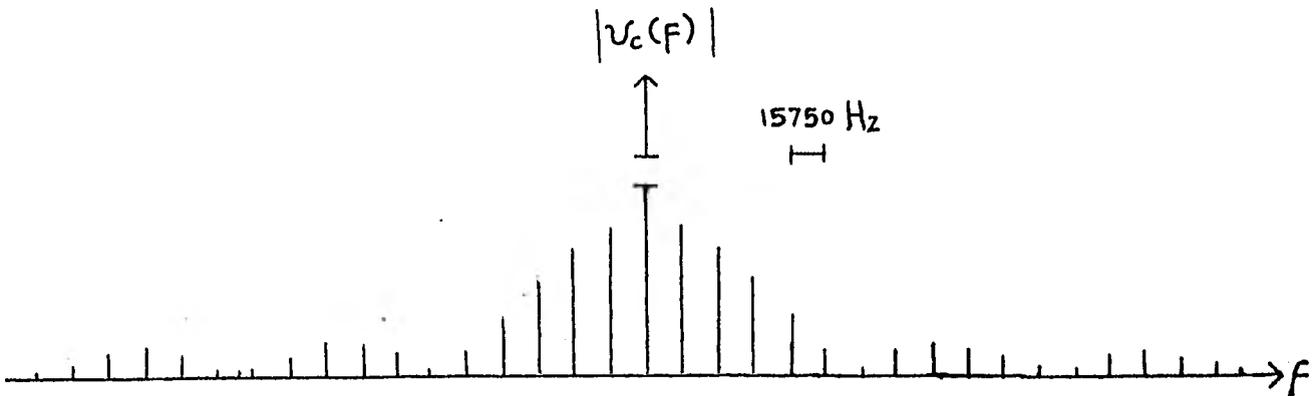


Fig. (3-15) Espectro de la señal de video compuesto cuando la señal de video conserva una misma intensidad de gris a lo largo de toda la pantalla.

Como se ve, el espectro está formado por una serie de impulsos separados entre sí, una frecuencia igual a 15750 Hz.

2.- En el segundo caso o sea cuando la imagen es una línea blanca vertical situada al centro de la pantalla, la línea se forma mediante una serie de puntos colineales centrados en la pantalla.

Para poder generar un punto blanco se requiere que el haz de electrones que lo forma al chocar sobre la pantalla, lo haga con mayor impulso al centro de donde estará situado el punto y que disminuya el impulso en la periferia. Una forma de onda que al aplicarse al cinescopio produce este efecto, es la de un sinc. O sea que la señal-

de video $v_p(t)$ requerida para formar un punto blanco sobre la pantalla es

$$v_p(t) = 2Af_0 \text{sinc } 2\pi f_0 t \quad (3-20)$$

f_0 no tiene relación con la frecuencia de barrido f_h .

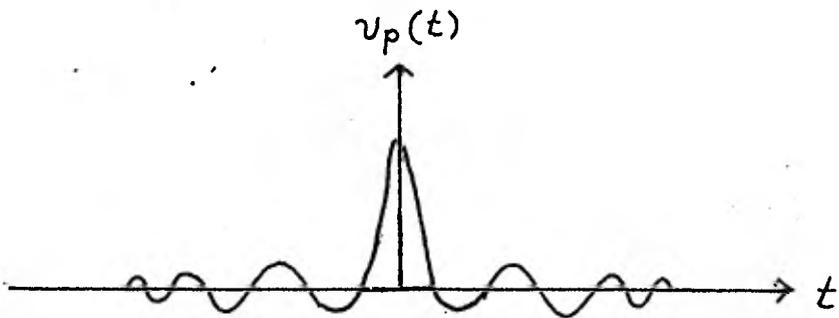


Fig. (3-16) Señal de video $v_p(t)$ requerida para formar un punto sobre la pantalla.

La línea vertical estará formada por una serie de puntos centrados en la pantalla y uno sobre cada una de las 525 líneas, o sea que la señal de video $v(t)$ que forma esta recta deberá ser de la forma indicada en la Fig. (3-17)

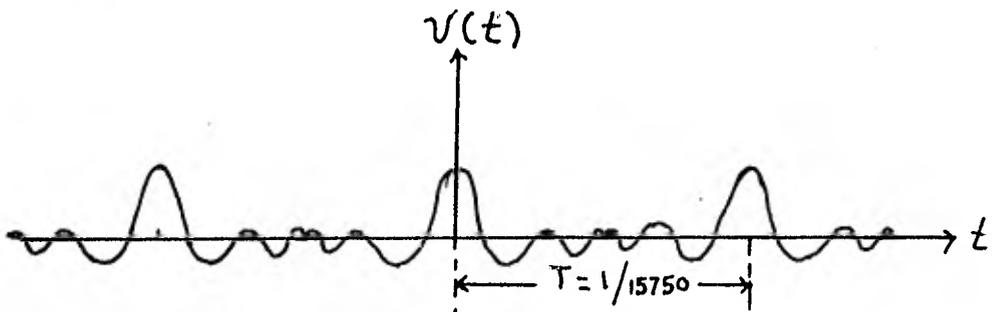


Fig. (3-17) Señal de video $v(t)$ requerida para generar sobre la pantalla de un televisor una línea recta vertical.

Entonces

$$v(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} 2 A f_0 \operatorname{sinc} 2\pi f_0 (t - nT) \quad (3-21)$$

donde

$$T = 1/15750 \text{ seg.}$$

o sea que cada 1/15750 se generará un punto.

Matemáticamente la expresión (3-21) se puede obtener de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} v(t) &= v_p(t) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} 2 A f_0 \operatorname{sinc} 2\pi f_0 (t - nT) \end{aligned} \quad (3-22)$$

Para encontrar el espectro de $v(t)$ se utiliza el teorema de la convolución aplicado a la ecuación (3-22) como sigue:

$$\begin{aligned} v(\omega) &= \mathcal{F} \left\{ v_p(t) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \right\} = \\ &= v_p(\omega) \cdot \mathcal{F} \left(\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \right) \end{aligned} \quad (3-23)$$

Por la ecuación (3-20) $v_p(t)$ es igual a

$$v_p(t) = 2 A f_0 \operatorname{sinc} 2\pi f_0 t$$

y su espectro será igual a

$$v_p(\omega) = A G_{4\pi f_0}(\omega) \quad (3-24)$$

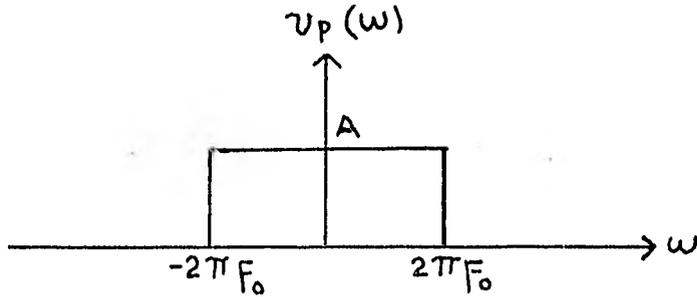


Fig. (3-18) Espectro de la señal $v_p(t)$

El espectro del tren de impulsos es igual a

$$\mathcal{F} \left(\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \right) = \frac{2\pi}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n2\pi f_h) \quad (3-25)$$

Sustituyendo, los valores de $v_p(\omega)$ y del tren de impulsos dados por las expresiones (3-24) y (3-25) respectivamente, en la ecuación (3-23) se obtiene que $v(\omega)$ es igual a

$$v(\omega) = A G_{\pi f_0}(\omega) \cdot \frac{2\pi}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n2\pi f_h) \quad (3-26)$$

gráficamente este producto se ilustra en la Fig. (13-19)

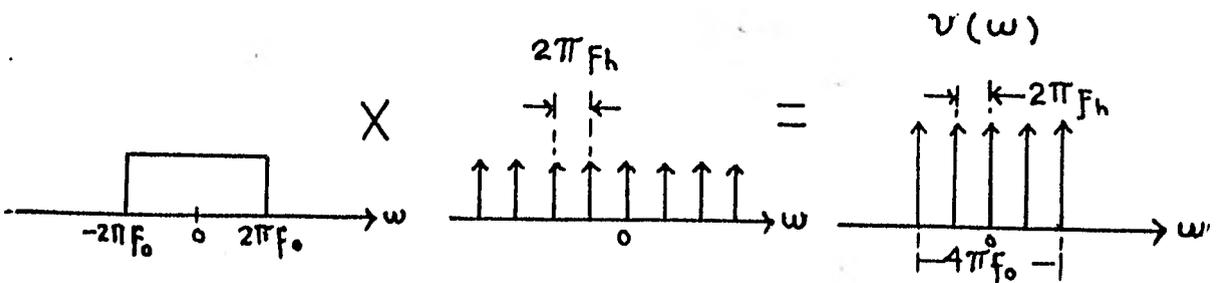


Fig. (3-19) La ecuación (3-26) que da como resultado el espectro de la señal de video requerida para reproducir una recta vertical, vista gráficamente.

O sea que como se puede apreciar en la Fig.(3-19):

$$v(\omega) = 0 \quad \text{SI} :$$

$$- 2\pi f_0 \leq n < 2\pi f_h \leq 2\pi f_0$$

Entonces el espectro de la señal de video $v(t)$ - requerida para generar una línea recta vertical de color -- blanco es

$$v(\omega) = \frac{2\pi A}{T} \sum_{n=-f_0 T}^{f_h T} \delta(\omega - n 2\pi f_h) \quad (3-27)$$

* Si $f_0 T$ es un número fraccionario se toma el número entero inmediato inferior como valor de n .

Para obtener el espectro de la señal de video com puesto se utiliza la ecuación (3-3)

$$v_c(t) = v(t) \cdot B(t) + C(t) \quad (3-3)$$

sustituyendo el valor de $C(t)$ dado en la ecuación (3-12) se obtiene

$$v_c(t) = v(t) \cdot B(t) + A (1 - B(t))$$

si $A = 1$ entonces

$$v_c(t) = v(t) \cdot B(t) - B(t) + 1 \quad (3-28)$$

el espectro de la señal $v_c(t)$ es igual a

$$v_c(\omega) = \frac{1}{2\pi} v(\omega) * B(\omega) - B(\omega) + 2\pi \delta(\omega) \quad (3-29)$$

Sustituyendo los valores de $B(\omega)$ y $V(\omega)$, dados en las ecuaciones (3-10) y (3-27) respectivamente, en la ecuación (3-29) se obtiene el espectro de la señal de video compuesto cuando se transmite la imagen de una recta vertical

$$\begin{aligned}
 v_c(\omega) &= \frac{A}{T} \sum_{n=-f\frac{T}{2}}^{f\frac{T}{2}} \delta(\omega - n 2\pi f) * 2\pi \left(\frac{T-b}{T}\right) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc } n\pi \left(\frac{T-b}{T}\right) \delta(\omega - n 2\pi f) \\
 &- 2\pi \left(\frac{T-b}{T}\right) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc } n\pi \left(\frac{T-b}{T}\right) \delta(\omega - n\omega_h) + \\
 &+ 2\pi \delta(\omega)
 \end{aligned} \tag{3-30}$$

efectuando las operaciones indicadas se obtiene el espectro buscado

$$\begin{aligned}
 v_c(\omega) &= \frac{2\pi A}{T} \left(\frac{T-b}{T}\right) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc } n\pi \left(\frac{T-b}{T}\right) \sum_{m=-f\frac{T}{2}}^{f\frac{T}{2}} \delta(\omega - n 2\pi f - m 2\pi f) - \\
 &- 2\pi \left(\frac{T-b}{T}\right) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc } n\pi \left(\frac{T-b}{T}\right) \delta(\omega - n\omega_h) + 2\pi \delta(\omega)
 \end{aligned} \tag{3-31}$$

Gráficamente el espectro de la señal de video compuesto para este caso se representa en la Fig. (3-20)

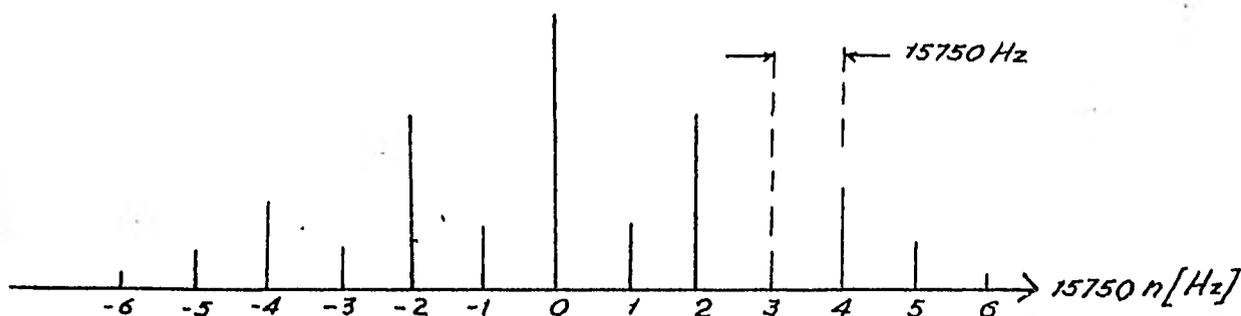


Fig. (3-20) Espectro de la señal de video compuesto cuando se transmite la imagen de una línea recta.

Como se puede ver, los espectros de los dos casos analizados, el primero cuando la señal de video contenía la información para reproducir un cuadro formado por una sola tonalidad de gris y el segundo en el que se transmite la imagen de una línea recta, están formados por una serie de impulsos, separados entre sí una frecuencia igual a 15750 Hz, cuya magnitud disminuye considerablemente entre mayor es la frecuencia, hasta hacerse despreciables.

A pesar de las modificaciones hechas al video compuesto real, el espectro de este es muy parecido al encontrado en los dos casos tratados durante este tema.

En el espectro real representado en la Fig. (3-21) los impulsos de mayor magnitud también están separados en intervalos de 15750 Hz. al lado de estos aparecen otros impulsos de menor magnitud separados entre sí por una frecuencia de 60 Hz que son producidos por los pulsos de sincronía vertical que no fueron tomados en cuenta en los dos casos que se analizaron.

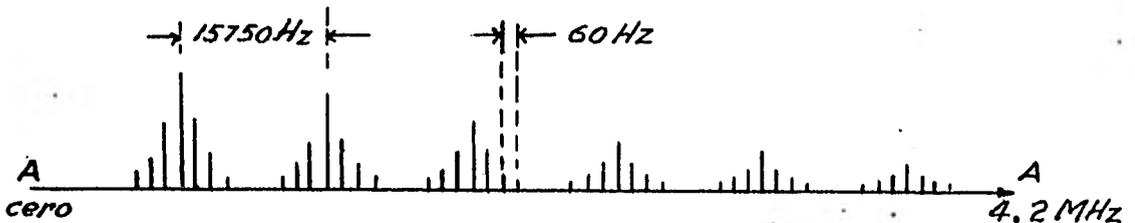


Fig. (3-21) Espectro real de una señal de video compuesto.

Como se puede observar también la magnitud de los impulsos decrece rápidamente con el aumento de la frecuencia y prácticamente entre los impulsos de mayor magnitud que aparecen cada 15750 Hz hay espacios libres que, como se verá más adelante, serán ocupados por la señal de crominancia de la T.V. cromática

3.10. TRANSMISOR DE T.V. MONOCROMATICA

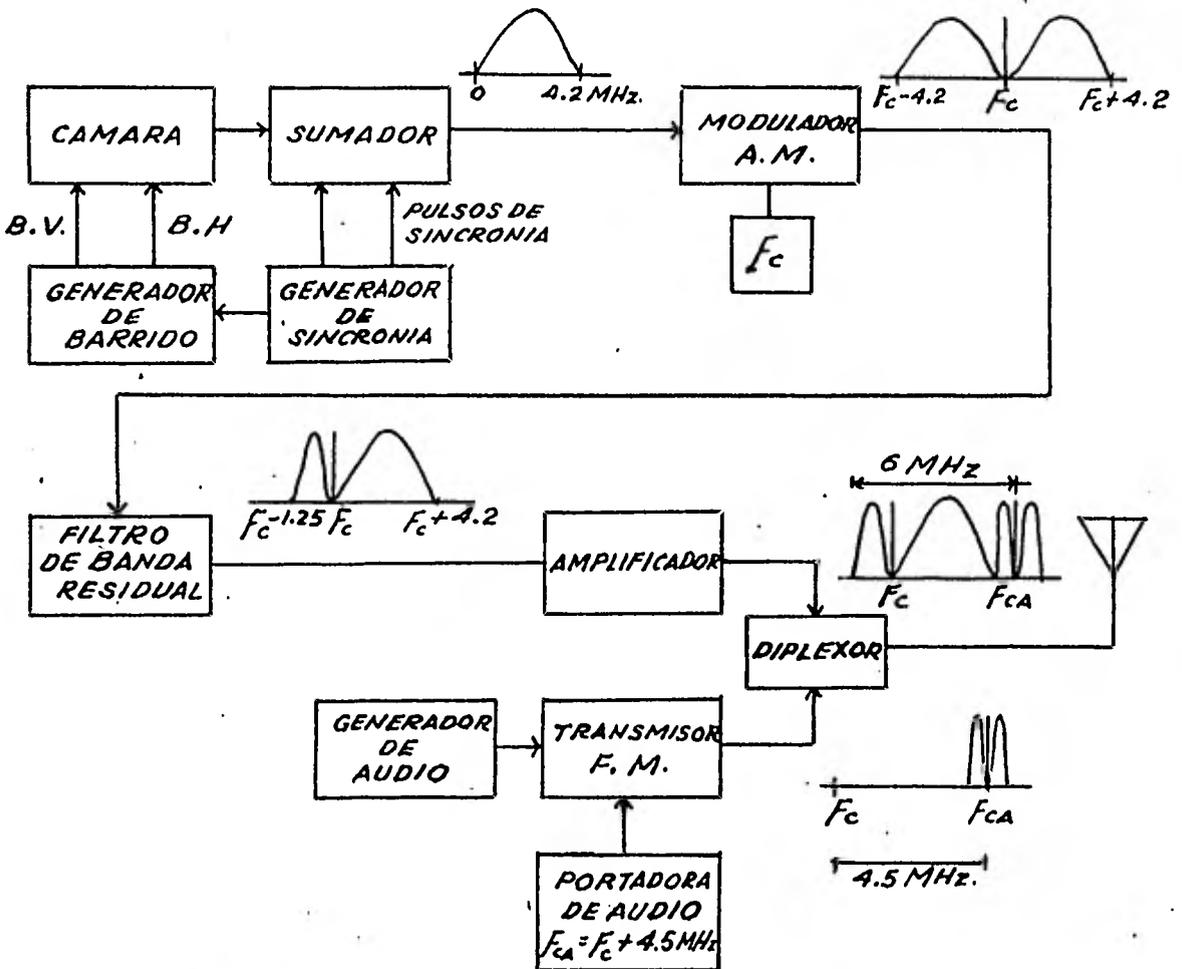


Fig. (3-22) Transmisor de T.V. monocromática.

El transmisor de T.V. monocromática representado en la Fig. (3-22) está formado por las siguientes partes:

- Cámara. Se encarga de convertir las señales luminosas en eléctricas y, junto con el generador de barrido, forma la señal de video compuesto, que tiene frecuencias de --

0 a 4.2 M Hz.

- Generador de Barrido. Está formado por diferentes circuitos sincronizados que producen las señales de diente de sierra que requiere la cámara para mover el haz explorador verticalmente y horizontalmente. También aquí se generan los pulsos de sincronía y borrado de línea y cuadro para que junto con la señal de video se forme el video compuesto.
- Modulador A.M. La frecuencia de la portadora que va a ser modulada por el video compuesto, varía según el canal de televisión que se esté usando. En la Tabla (3-2) aparecen los canales y su respectiva frecuencia de portadora según las normas de la F.C.C.
- Tabla (3-2) Frecuencias de Portadora.

Canal	Frecuencia
2	55.25 M Hz
3	61.25 M Hz
4	67.25 M Hz
5	77.25 M Hz
6	83.25 M Hz
7	175.25 M Hz
8	181.25 M Hz
9	187.25 M Hz

Canal	Frecuencia
10	193.25 M Hz
11	199.25 M Hz
12	205.25 M Hz
13	211.25 M Hz
14 al 83	de 471.25 a 885.75 M Hz

El ancho de banda de la portadora modulada antes del filtro de banda residual es de 8.4 M Hz. Como se puede apreciar este ancho de banda es mayor al especificado en las normas de la Tabla (3-1).

- Filtro de Banda residual. Como ya se mencionó en el capítulo 3.5. para que la reproducción de las imágenes sea buena es conveniente un ancho de banda de 4.2 M Hz en el video. Sin embargo, cuando se realiza la modulación de amplitud, el ancho de banda se extiende hasta los 8.4 M Hz, como esto resulta prohibitivo según las normas de televisión, se elimina por medio de este filtro de banda residual alguna información de banda lateral, puesto que toda la información de la señal está presente en las bandas laterales superior e inferior. Por comodidad en los circuitos supresores, en los que es difícil obtener un corte agudo, se adopta una supresión parcial, de la cual resulta que una parte de la banda lateral inferior subsiste y forma la llamada banda lateral residual.

La región del espectro que ocupa una sola estación de televisión está representada en la fig. (3-23). En la banda lateral inferior, las señales que están alejadas más de 1.25 MHz de la portadora quedan completamente eliminadas.

- Amplificador. La función del amplificador es aumentar la potencia de la señal.
- Transmisor de audio en F.M. El audio se envía en F.M. y se acomoda en la parte superior del espectro de video, disponiendo de un ancho de banda de 50 KHz.
- Diplexor. Está formado por una red pasiva que permite conectar a una sola antena los transmisores de audio y video.

En la Fig. (3-23) se aprecia el espectro de la señal transmitida por una estación de T.V. monocromática a una frecuencia de portadora igual a f_c .

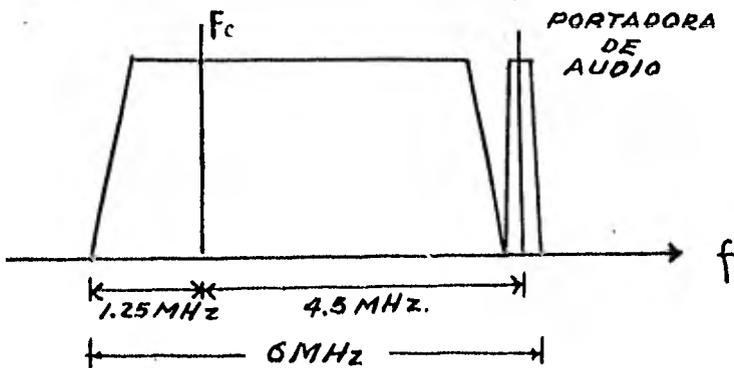


Fig. (3-23) Forma general del espectro de una señal de televisión monocromática.

3.11. RECEPTOR DE T.V. MONOCROMATICA.

El receptor de T.V. monocromática está representado en la Fig. (3-24).

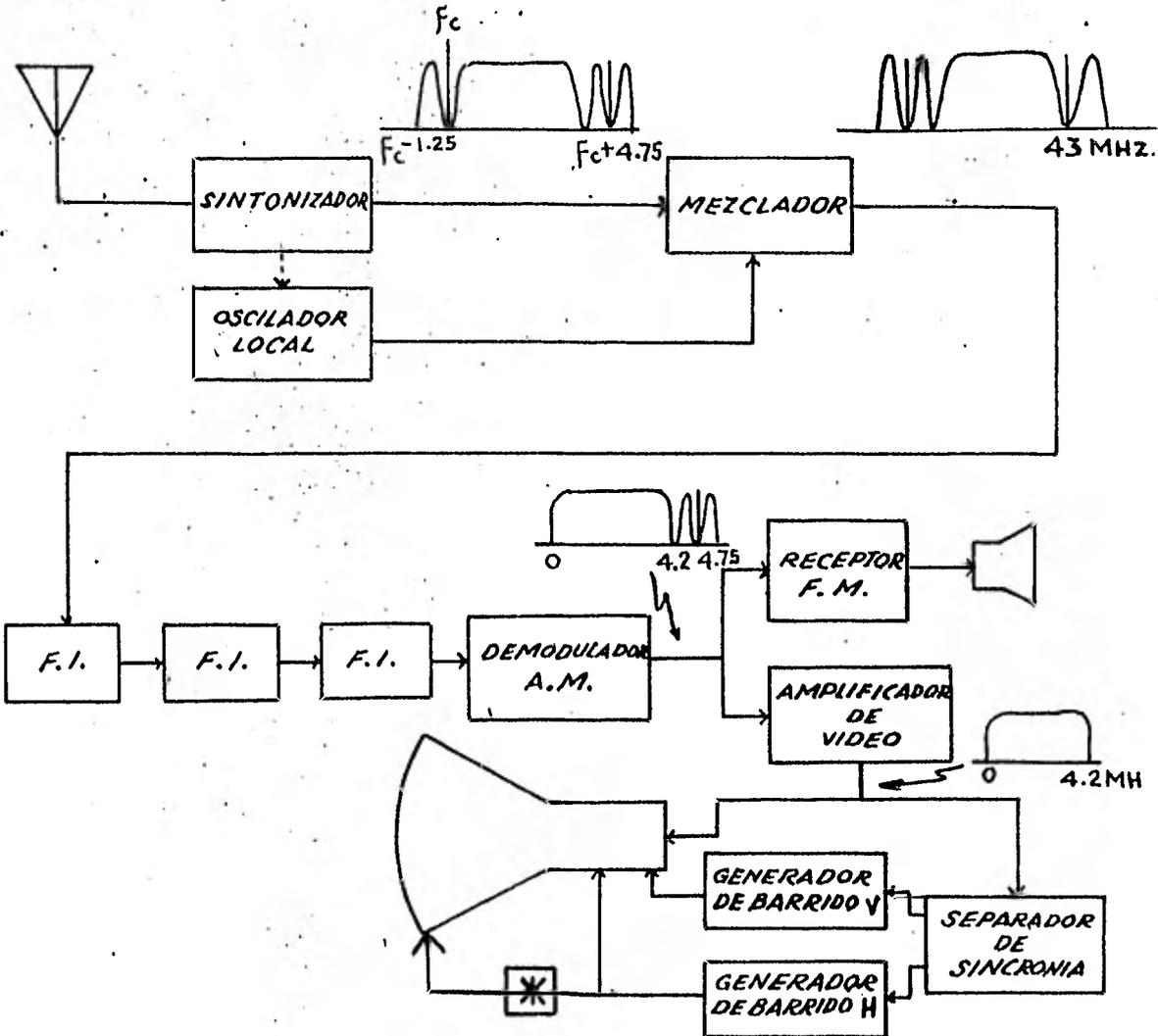


Fig. (3-24) Receptor de T.V. monocromática.

* Generador de alto voltaje.

Como se puede observar hasta el demodulador de A.M., incluyendo este el televisor, está formado por un receptor A.M. del tipo superheterodino con una frecuen---

cia intermedia de 43 M Hz. A la salida del demodulador hay dos señales: la de video compuesto con una frecuencia de 0 M Hz. a 4.2 M Hz. y la de audio con una frecuencia de portadora igual a 4.5 M Hz. la cual es procesada por un receptor de F.M. convencional.

La señal de video compuesto pasa por un amplificador de video. Después un separador de sincronía extrae de la señal de video compuesto los pulsos de sincronización que controlan a los generadores de barrido (horizontal y vertical) cuyas señales de voltaje desplazan el haz electrónico del cinescopio para formar de esta manera las imágenes sobre la pantalla.

3.12. SISTEMA N.T.S.C. DE TELEVISION CROMATICA.

Como se mencionó en el tema 1.14 el sistema de televisión cromática, que se utiliza actualmente en la mayoría de los países del continente americano, fue recomendado por un comité de especialistas, que provenían de las más importantes fábricas y cadenas de televisión en los Estados Unidos, llamado segundo N.T.S.C. (National Television Systems Committee). El sistema N.T.S.C. fué autorizado por la F.C.C. en 1953.

Este método requirió un gran trabajo de ingeniería para incluir las señales de color en el ancho de

banda de 6 MHz de la televisión en blanco y negro, y cumplir así con una de las exigencias de la F.C.C. para que el sistema fuera compatible.

Además los programas transmitidos a colores debían de ser reproducidos en blanco y negro por los receptores monocromáticos.

Para lograr esto fue necesario que en la señal de blanco y negro, llamada de luminancia, se intercalaran las señales crominancia requeridas para formar una nueva señal de video, que contuviera toda la información necesaria para que fueran reproducidas con buena calidad las imágenes en color y en blanco y negro en los receptores cromáticos y monocromáticos respectivamente. A continuación se explica más detalladamente la forma en que se realiza el análisis y síntesis de las imágenes en el sistema de televisión cromática de el N.T.S.C.

3.13. SEÑALES DE LUMINANCIA Y CROMINANCIA

Las investigaciones de las características del ojo humano en lo que respecta al color, han revelado una información muy útil. Para reproducir esencialmente todos los colores que el ojo percibe normalmente solo se requieren tres colores primarios. Estos son rojo, azul y verde.-

La proporción en que están mezclados determina el color producido; cuando los tres están mezclados en la misma proporción, se percibe el blanco.

El ojo humano medio requiere estos tres primarios sólo para superficies u objetivos relativamente grandes. -- cuando el área disminuye ocurren varias cosas. La más importante es que el ojo encuentra más dificultad en establecer la distinción entre varios colores.

Cuando los detalles son muy pequeños, todo lo que el ojo puede discernir son cambios de brillo; los colores no pueden ser distinguidos del gris, y el ojo se comporta como ciego al color.

Aprovechando estas propiedades del ojo, en el sistema N.T.S.C. solo se colorean los detalles grandes y los detalles finos se transmiten en blanco y negro. Además, la información de color transmitida está regulada de acuerdo con la anchura de banda, es decir, los objetos más grandes reciben más verde, rojo y azul que los objetos medianos. Todo esto requiere la existencia de tres señales para poder lograr la transmisión de imágenes a color:

- Señal de luminancia (Y). Esta señal contiene la información de brillo y todas las características de una señal monocromática. Sus componentes se extienden de 0 a ---

4.2 M Hz. Contiene los tres colores primarios: rojo, azul y verde, en diferentes proporciones, debido a que el ojo es más sensible al verde que al rojo y más sensible al rojo -- que al azul. La expresión matemática es:

$$Y = 0.59 V + 0.30 R + 0.11 A \quad (3-32)$$

- Señales de crominancia (I y Q). Estas dos señales contienen la información necesaria para que sean reproducidas las imágenes a colores. Como ya se explicó hay objetos que por su tamaño no se colorean o se colorean menos que otros, por lo tanto la señal I contiene las frecuencias video de color que extienden de 0 a 1.5 M Hz. y la señal Q de 0 a 0.5 M Hz.

I y Q se forman con los colores primarios según las ecuaciones (3-33) y (3-34).

$$I = i_V V + i_R R + i_A A \quad (3-33)$$

cuando la frecuencia de video f está dentro del intervalo -

$$0 \leq f \leq 1.5 \text{ M Hz} \quad (3-33a)$$

fuera de este intervalo $I = 0$

$$Q = q_V V + q_R R + q_A A \quad (3-34)$$

dentro del intervalo siguiente

$$0 \leq f \leq 0.5 \text{ M Hz} \quad (3-34a)$$

La cantidad de verde, rojo y azul que requieren - las señales de crominancia está en función de las constan-- tes i y q , estas a su vez están en función de la sensibili-- dad del ojo.

3.14. ESPECTRO Y ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL DE T.V. CROMATICA.

Los colores primarios son producidos en forma de señales eléctricas por la cámara de T.V. cromática, después mediante un dispositivo llamado Matriz se hacen las opera-- ciones necesarias para formar Y , I y Q .

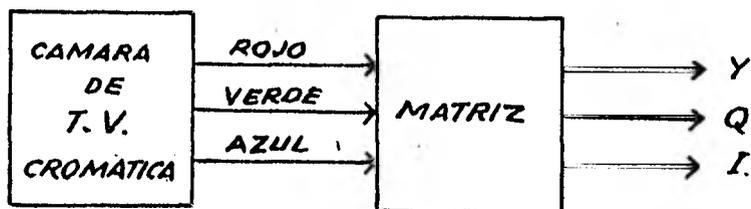


Fig. (3-25) Cámara de T.V. cromática y matriz.

El espectro de la señal de luminancia o monocromá-- tica está formado, como se indicó en el tema 3.9 , por una-- serie de impulsos agrupados cada 15750 Hz, Fig. (3-26).

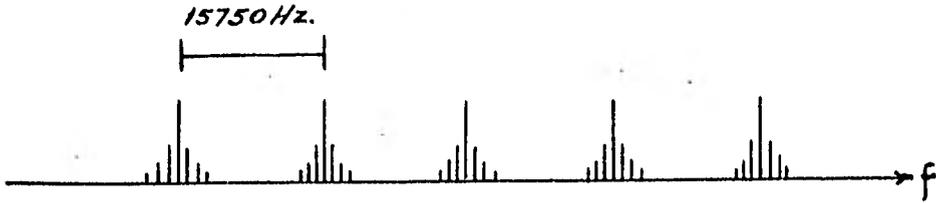


Fig. (3-26) Espectro de la señal de luminancia (Y).

Los espectros de las señales I y Q son semejantes al de Y, pero como ya se vió, sólo deben de actuar dentro de ciertos intervalos de frecuencia. Por lo tanto, como se indica en la Fig. (3-27) I y Q son sometidas a un proceso de filtrado.

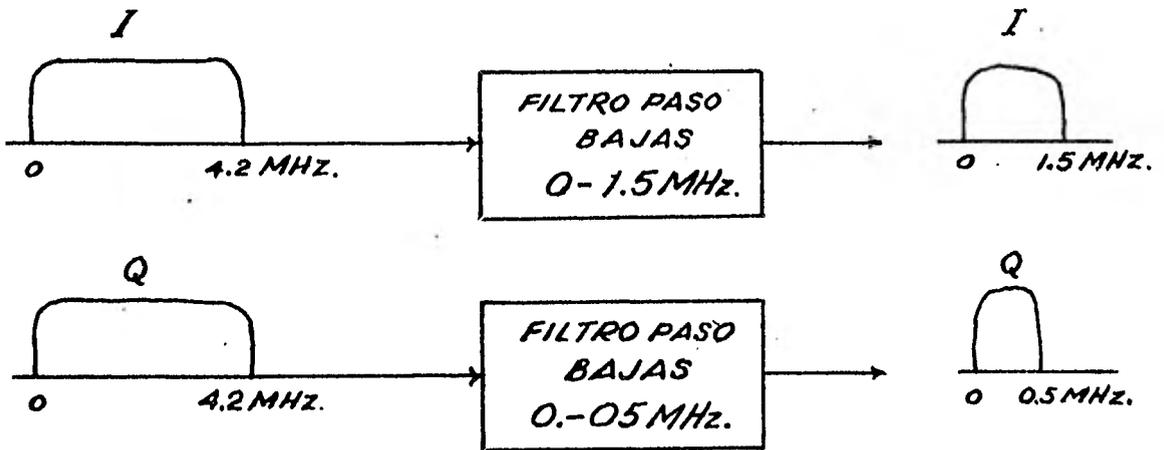


Fig. (3-27) Filtrado de las señales I y Q.

A la salida de los filtros el espectro de I y Q es como se indica en la Fig. (3-28).

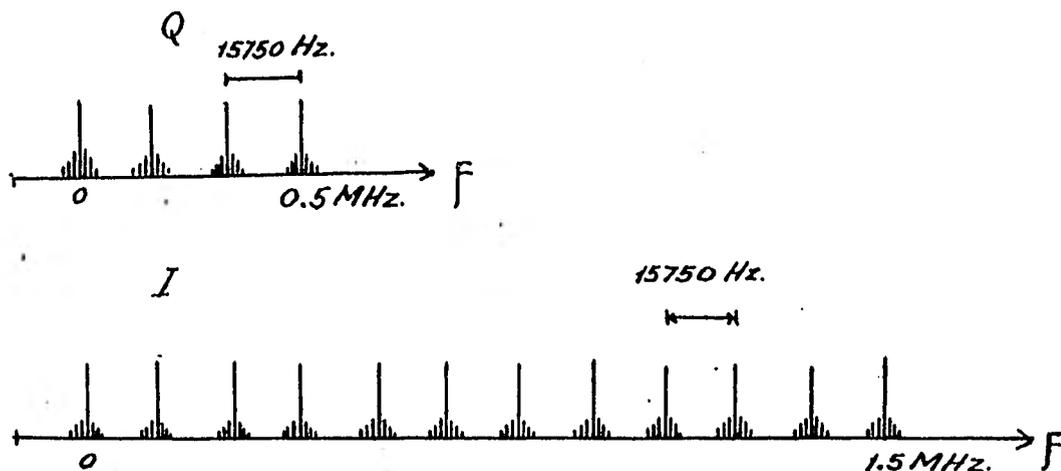


Fig. (3-28) Espectros de las señales de crominancia.

Y, I y Q para poder ser transmitidas deben cumplir los siguientes requisitos.

- 1.- Utilizar un solo canal
- 2.- Que no exista interacción entre ellas.
- 3.- Que no se rebase el ancho de banda de 4.2 M Hz.
- 4.- Poder disponer de las tres por separado en el receptor.

Como ya se mencionó existen espacios libres cada

15750 Hz en el espectro de la señal Y representado en la Fig. (3-26). Las señales de crominancia se pueden acomodar en estos espacios si son sometidas a un proceso de modulación balanceada como se indica en la Fig. (3-29) y de esta forma con una frecuencia de subportadora igual a 3.58 MHz se pueden cumplir todos los requisitos señalados anteriormente, si se suman las dos subportadoras moduladas por las señales I y Q, con la señal de luminancia Y.

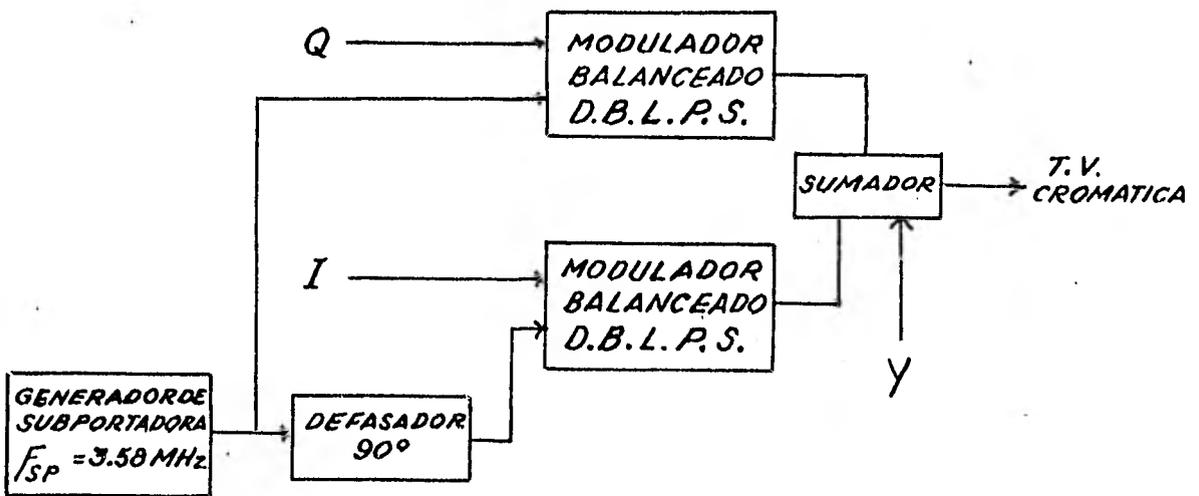


Fig. (3-29) Formación de la señal de T.V. cromática.

El espectro de la señal de T.V. cromática se puede apreciar en la Fig. (3-30).

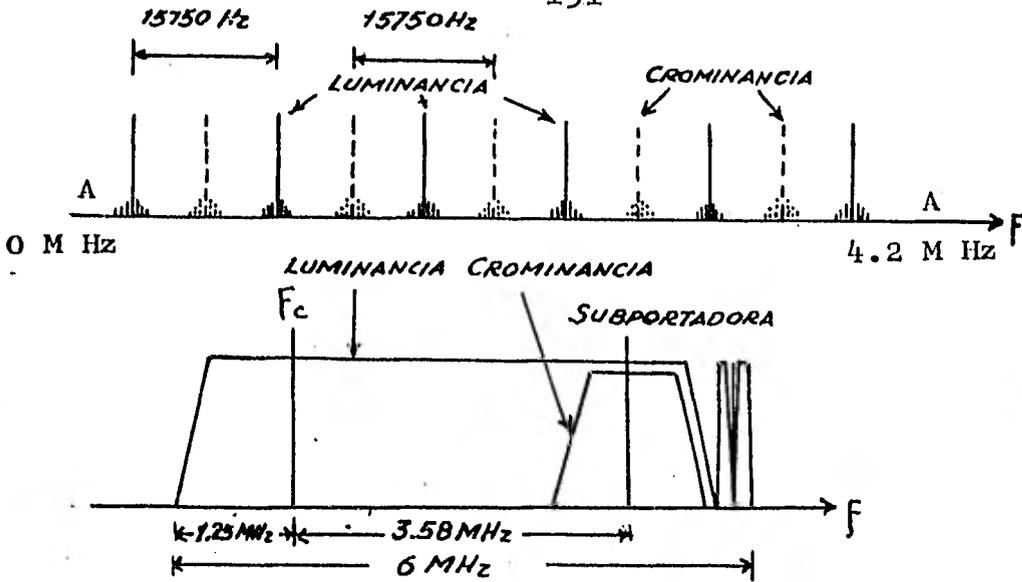


Fig. (3-30) Espectro de la señal de T.V. cromática.

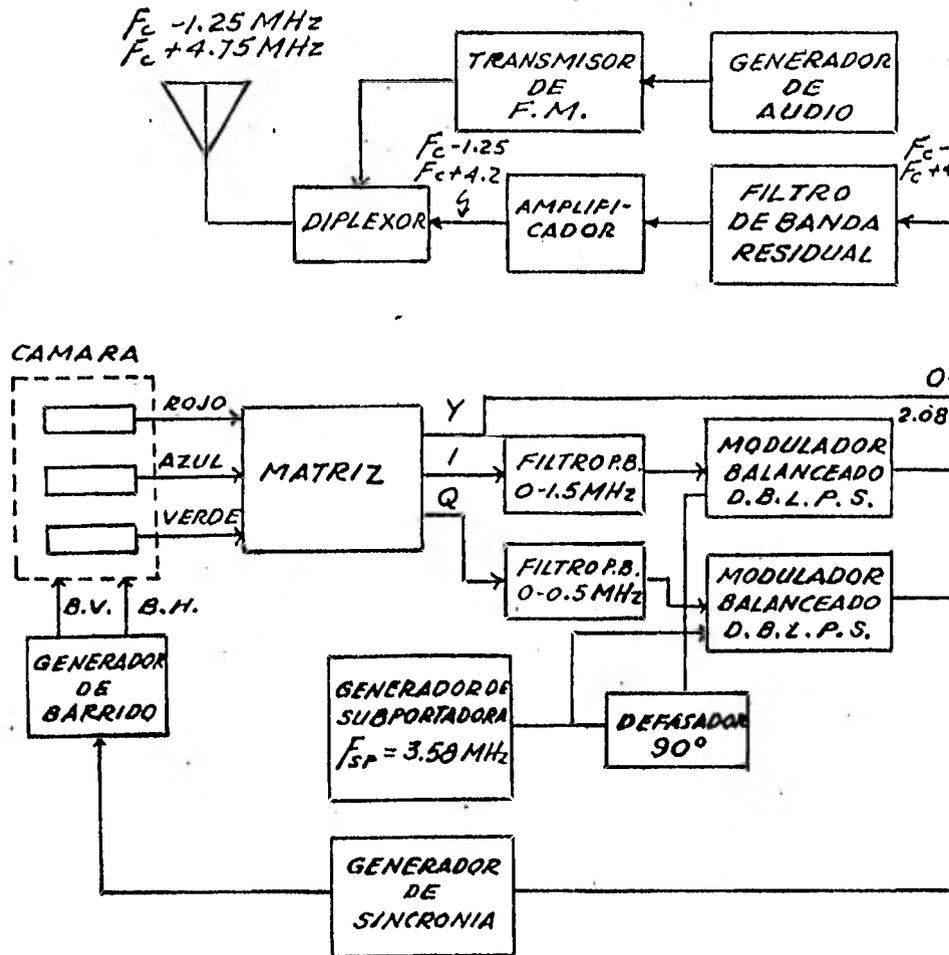
Entonces el ancho de banda requerido por una señal de T.V. cromática es igual a 4.2 M Hz.

3.15. TRANSMISOR DE T.V. CROMATICA.

En el tema anterior ya se explicó como se produce la señal de T.V. cromática, el funcionamiento del transmisor a colores, representado en la Fig. (3-31), después de la suma de las subportadoras moduladas por I y Q y de Y, es semejante al de un transmisor monocromático.

TRANSMISION DE T. V. CROMATICA
SISTEMA N.T.S.C.

Fig. (3-31) Transmisor de T.V. cromática.



Como se puede apreciar, el filtro de banda residual hace que el ancho de banda sea igual a 6 M Hz.

Para sincronizar los demoduladores de la señal de color - se envía una señal ráfaga, con una frecuencia igual a la de la subportadora. Se sitúa en cada pulso de sincronía horizontal como se ve en la Fig. (3-32).

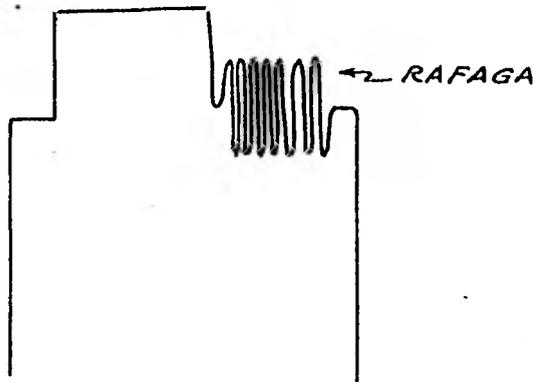


Fig. (3-32) Forma en que se envía la información sobre la subportadora.

Dicha ráfaga no aparece en la pantalla del televisor, ya que en el instante en que se produce, la pantalla es tá ennegrecida.

3.16. RECEPTOR DE T.V. CROMÁTICA.

El aparato receptor cromático consta prácticamente de los mismos circuitos que componen un televisor mono--cromático, más los circuitos necesarios para la separación, amplificación y demodulación de las informaciones relativas

a los tres colores primarios.

El tubo de imagen está constituido por tres cañones electrónicos, una máscara perforada, constituida por una delgada capa metálica provista de varios cientos de miles de pequeños orificios, y una pantalla sobre la cual se han dispuesto, muy próximos entre sí, puntos de sustancias fluorescentes. Tales sustancias se disponen en grupos de tres puntos con fluorescencia roja, verde y azul, de modo que los electrones procedentes de cada cañón, después de atravesar los agujeros de la máscara, solo pueden excitar los puntos fluorescentes de su color propio. Dado que estos puntos están muy próximos entre sí, cuando se aplica al cátodo de los tres cañones electrónicos la señal de luminancia Y y a cada rejilla las señales R, A y V, se obtiene sobre la pantalla la formación de la imagen a color.

RECEPTOR DE T. V. CROMATICA
SISTEMA N.T.S.C.

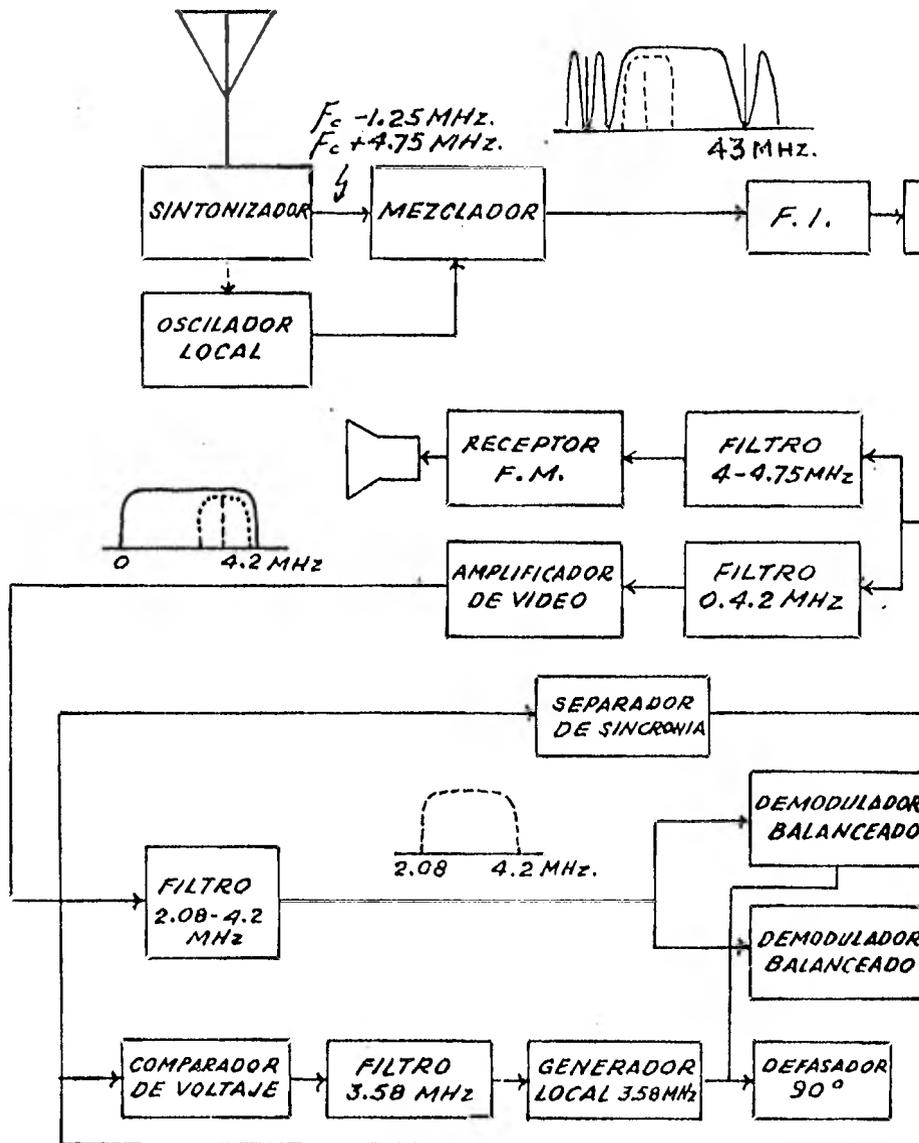


Fig. (3-33) Receptor de T.V. Cromática.

3.17. COMPATIBILIDAD DE LA T.V. CROMÁTICA.

Con el estudio hecho hasta ahora acerca de las señales, transmisores y receptores de los sistemas de televisión monocromática y cromática, es ahora posible, utilizando estos conocimientos, hacer un análisis de la compatibilidad.

Como se señaló en el tema 1.14 la F.C.C. establece que un sistema de T.V. cromática es compatible con el de T.V. monocromática si se cumplen las siguientes características:

1.- Que el ancho de banda requerido para las -- transmisiones de T.V. cromática no sea mayor que el de T.V. monocromática.

2.- Los programas transmitidos deben ser reproducidos sin ninguna distorsión en los siguientes casos:

- a) se transmita en T.V. cromática y se reciba con un televisor monocromático.
- b) Se transmita en T.V. monocromática y se reciba con un televisor cromático.

3.- Que no se requiera reubicar las estaciones en los siguientes casos:

- a) Se transmite en T.V. cromática y se recibe en un televisor monocromático.
- b) Se transmite en T.V. monocromática y se recibe en un televisor cromático.

1- En el tema 3.14 se explico como en el sistema N.T.S.C. las señales de crominancia se intercalan en los espacios libres que hay cada 15750 Hz., en el espectro de la señal de luminancia. Lo que hace posible que la señal de T.V. cromática antes de ser modulada en A.M. tenga un ancho de banda de 4.2 M Hz. Al pasar esta señal por los procesos de modulación A.M. y filtrado residual, el ancho de la banda requerido es de 6 M Hz., cumpliendo así con la primera característica de un sistema compatible.

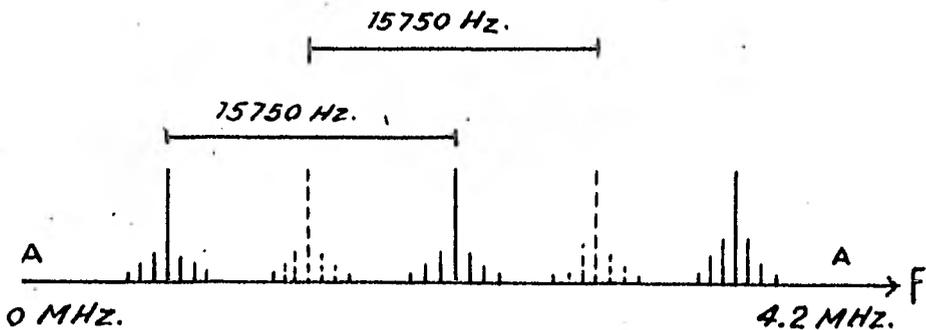


Fig. (3-34) Espectro de la señal de T.V. cromática.

2- En la Fig. (3-35) se puede apreciar que ocurre con una señal de T.V. cromática que es recibida por un televisor monocromático.

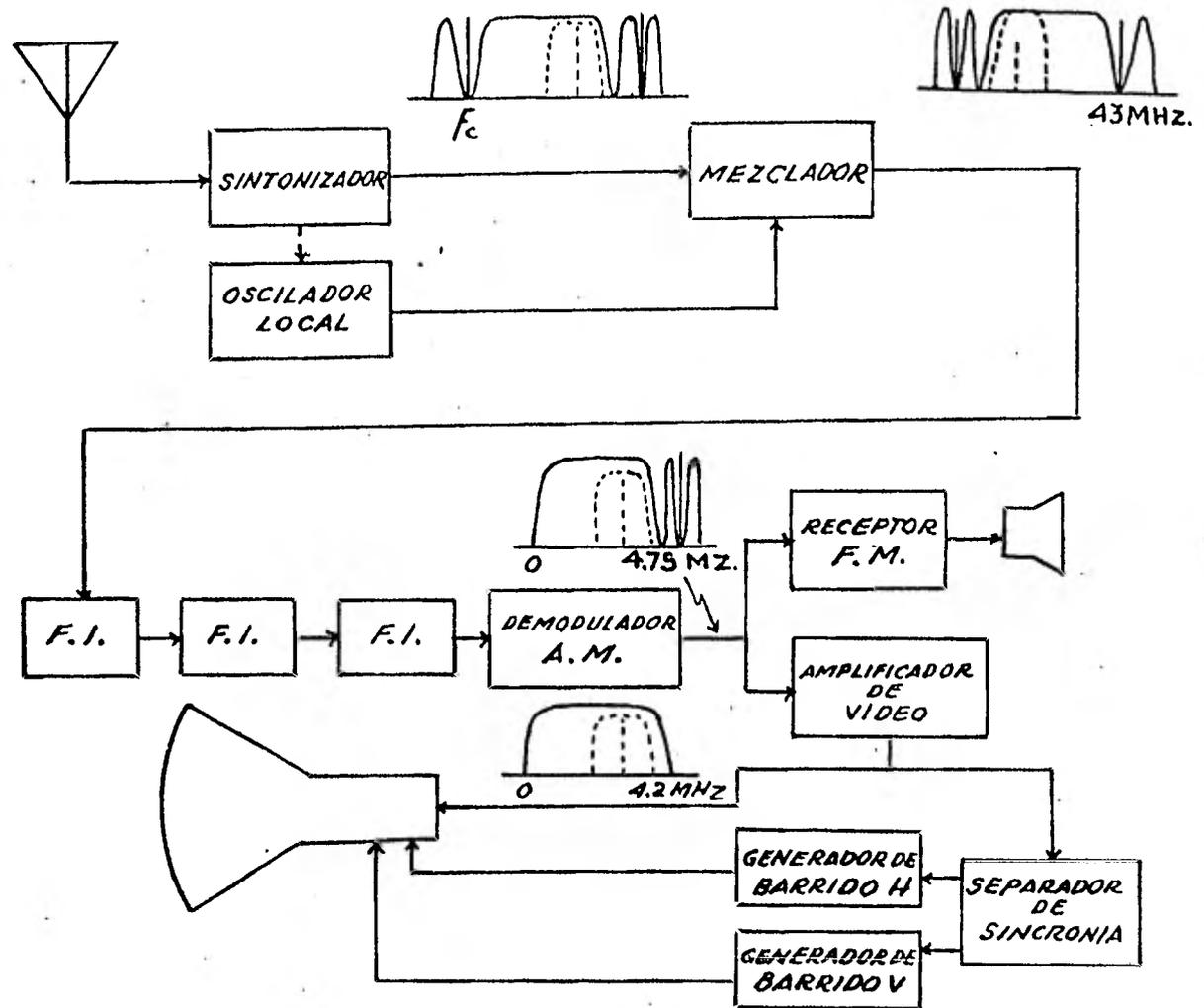


Fig. (3-35) Receptor de T.V. monocromática que recibe una señal de T.V. cromática.

Como se puede observar toda la señal de T.V. cromática llega al cinescopio. Esta onda está formada por --- tres partes principales: señal de luminancia (Y), señal de crominancia (I y Q) y la ráfaga, mismas que llegan directamente a la reja de control del cinescopio. Del voltaje --- aplicado a la reja de control depende la intensidad de luz que posea cada punto que forma la imagen en la pantalla.

Las señales de crominancia I y Q se acomodan, como ya se dijo en el tema 3.14, en los espacios libres que se forman cada 15750 Hz en el espectro de la señal Y como se representa en la Fig. (3-36).

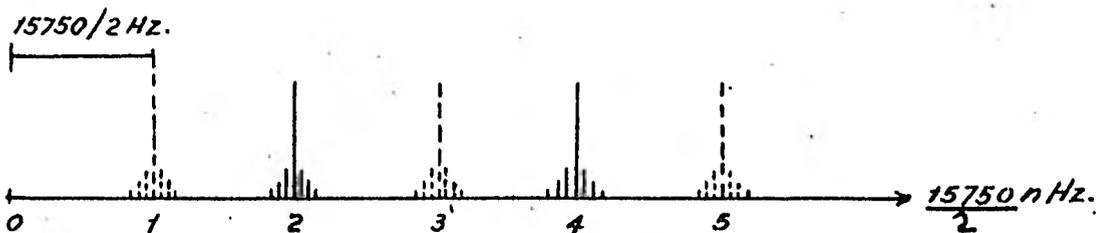


Fig. (3-36) Espectro de las señales de luminancia y crominancia.

O sea que la señal de crominancia está formada por una serie de armónicas, cuya frecuencia es múltiplo impar de la mitad de la frecuencia de sincronía horizontal $f = 15750 \text{ Hz.}$ Matemáticamente, según el análisis de Fourier la señal de crominancia $C_r(t)$ es igual a

$$\begin{aligned}
 C_r(t) &= \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos 2\pi f t \left(\frac{2n-1}{2}\right)) = \\
 &= \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos 2\pi t (nf_h - f/2)) \quad (3-35)
 \end{aligned}$$

Sea T_1' el tiempo en el que se produce un ciclo - completo de la primera armónica ($n = 1$) de $C_r(t)$, entonces

$$T_1' = \frac{1}{f(0.5)} = \frac{1}{15750(0.5)} \text{ seg.}$$

en la Fig. (3-37) se puede observar esta primera armónica de $C_r(t)$.

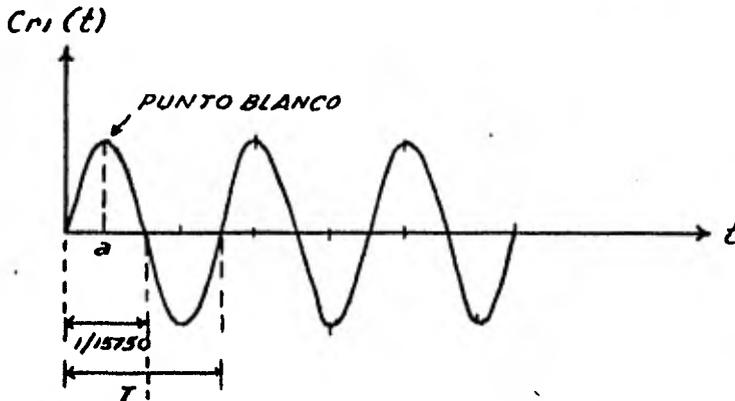


Fig. (3-37) Primera armónica de la señal de crominancia.

En la última figura se puede ver como cada tiempo $T = 1/15750$ Hz se produce medio ciclo de la primera armónica.

Según lo estudiado en el capítulo (3-2) el haz de electrones recorre un mismo lugar cada $525/f$ segundos.

Si en el instante "a", señalado en la Fig.(3-37) de la primera armónica ésta produjo un punto blanco, por tener su valor máximo en ese instante, para que el haz vuelva a pasar por el mismo lugar en el que estuvo en el tiempo "a" tendrán que pasar $525/f$ segundos, pero en ese instante "b" el valor de la armónica no es + 1, sino que es igual a - 1, como se ve en la Fig. (3-38)

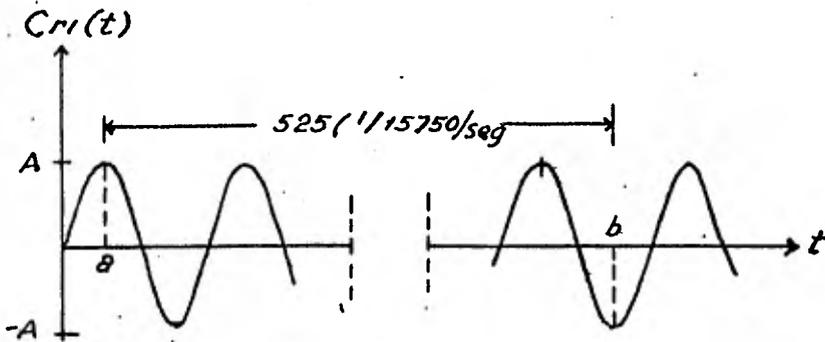


Fig. (3-38) Primera armónica de la señal de crominancia -- donde en los tiempos a y b el haz recorre el mismo lugar sobre la pantalla.

Entonces si en el instante "a" la diferencia de potencial positivo que produjo la primera armónica sobre la pantalla acelera a los electrones del haz formando un punto blanco sobre la pantalla, en el instante "b" cuando el

haz recorre el mismo lugar, la armónica produce sobre el haz un efecto contrario al producido en "a", haciendo que ese punto blanco se debilite y que el ojo humano no lo pueda captar.

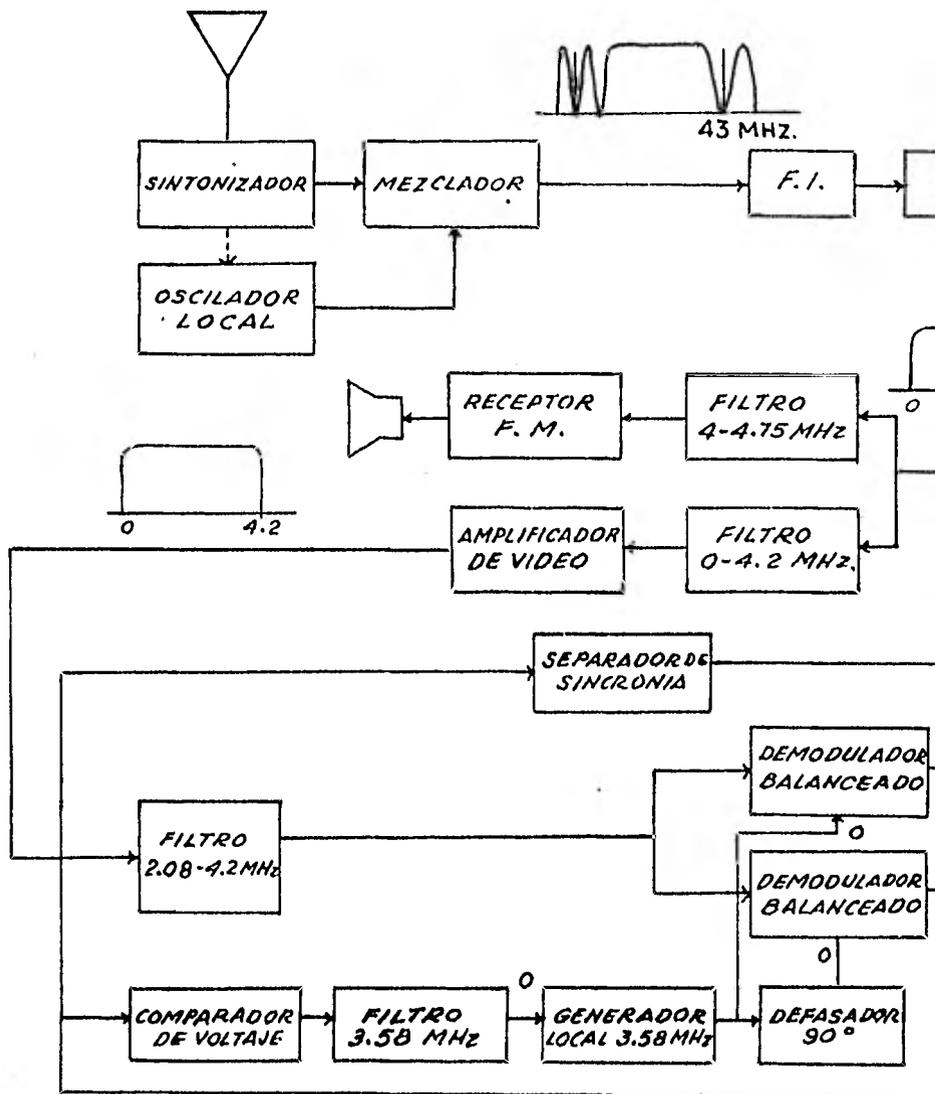
Esto mismo sucede en cualquier instante de la primera y de todas las armónicas que forman la señal de crominancia. Por lo tanto se puede concluir, que las señales I y Q si producen ciertas alteraciones sobre la imagen que se forma en el cinescopio del televisor monocromático, pero que son tan pequeñas que el ojo humano no alcanza a detectarlas.

La ráfaga, por la posición que ocupa sobre los impulsos de sincronía horizontal según la Fig. (3-32), no aparece sobre la pantalla del receptor monocromático, ya que en ese tiempo el haz retrocede y la pantalla está ennegrecida; por lo tanto, no causa ningún problema.

En cuanto a la señal Y de luminancia, por contener todas las propiedades de una señal monocromática, es la que forma las imágenes en blanco y negro sobre la pantalla.

El caso en el que un receptor cromático recibe una señal de T.V. monocromática se ilustra en la figura (3-39).

Fig. (3-39) Receptor de T.V. cromática que recibe una señal de T.V. monocromática.



En una señal de T.V. monocromática no existe la ráfaga, entonces, el generador local, no recibe ninguna información para producir la subportadora; generando única--mente señales iguales a cero. Por consiguiente a la salida de los demoduladores balanceados no se obtendrá ninguna información. La única señal capaz de producir imágenes, que llega al cinescopio es la monocromática (Y), ya que la ---matriz al no recibir las señales de crominancia (I y Q) no proporciona ninguna información acerca de los colores primarios al cinescopio. Por lo tanto solo se verán en la pantalla imágenes en blanco y negro, cumpliéndose así otra de las exigencias impuestas por la F.C.C. sobre la compatibi--lidad.

3- En lo que se refiere a la última característica de un sistema de T.V. cromático compatible, se puede decir que según el análisis que se llevó a cabo, acerca de la forma en que un receptor monocromático procesa una señal - de T.V. cromática y en la que lo hace un receptor cromático que recibe una señal de T.V. monocromática, que no se requiere de ninguna reubicación de estaciones en ninguno - de los dos casos.

C O N C L U S I O N

El estudio hecho sobre la compatibilidad requirió la aplicación de varios conocimientos, principalmente los relacionados con la Teoría de las Comunicaciones.

En el primer capítulo se explica como fueron desarrollándose los servicios de radiodifusión comercial que -- prestaban diferentes compañías. Desde que inició sus transmisiones la primera estación comercial en 1920, se buscaron nuevas técnicas para ofrecer al público cada vez mejores -- programas, con el fin de aumentar el número de radioescu--- chas y televidentes. Todos los sistemas de comunicaciones -- eléctricas fueron sometidos a una reglamentación para prote-- ger los intereses de los propietarios de las compañías emi-- soras, del auditorio y del mismo gobierno que promulgaba -- los estatutos para regular el uso de la radiodifusión. Por-- esto, al aceptar la F.C.C. las transmisiones de F.M. este-- reofónica y T.V. cromática, exigió que los sistemas utiliza-- dos cumplieran con ciertas normas, entre las que estaba la-- compatibilidad. Para hacer el análisis sobre la compatibili-- dad era necesario conocer los diferentes tipos de transmisio-- res, receptores y señales de los sistemas de F.M. estereofó-- nico, F.M. monofónico, T.V. cromática y T.V. monocromática.

Lo cual se realizó en segundo (F.M.) y tercer (T.V.) capítulos.

Al estudiar el funcionamiento de los transmisores y receptores se describieron los tipos de modulación y filtrado más comunes en la transmisión de señales analógicas.

Para determinar el comportamiento de las señales en el dominio del tiempo y la frecuencia, además de aplicar varios conceptos matemáticos, se empleó el Análisis de Fourier, quedando así, una vez más, demostrada su utilidad.

Cuando se determinaron todos los parámetros necesarios para saber si un sistema es compatible con otro, se pudo concluir al final del segundo capítulo que el sistema de F.M. estereofónico era compatible con el de F.M. monofónico. También al término del tercer capítulo se demostró -- teóricamente que el sistema de T.V. cromática era compatible con el de T.V. monocromática. Por tanto, se cumplió con el objetivo que se perseguía con la realización de este trabajo.

Como se pudo observar a lo largo de este escrito, el estudio de la compatibilidad nos llevó a utilizar además de la Teoría de las Comunicaciones, varios conceptos que -- aportan diferentes áreas del conocimiento humano.

Los sistemas de comunicación tratados en esta tesis son los más utilizados hasta el momento, dentro de la radiodifusión comercial; pero las transmisiones en A.M. estereofónica y la B.L.U., deben de cumplir también con ciertas normas relacionadas con la compatibilidad. Este tema podría ser analizado en otro trabajo de investigación, para completar así el estudio sobre la compatibilidad en los sistemas de comunicación.

B I B L I O G R A F I A

Herbert Taub and Donald L. Shilling.

Principles of Communication Systems.

Mc. Graw-Hill. 1971.

B.P. Lathi.

Introducción a la Teoría y Sistemas de Comunicación.

Editorial Limusa, S.A. 1981.

Victor Gerez Greiser y V. Czitron de Gerez.

Circuitos y Sistemas Electromecánicos. Tomo I.

Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. 1974.

Hwei P. Hsu.

Análisis de Fourier.

Fondo Educativo Interamericano, S.A. 1973.

R.D.A. Maurice, O.B.E.

Convolution and Fourier Transforms for Communication Engineers.

Pentch Press, 1971.

A. Bruce Carlson.

Communication Systems.

Mc. Graw-Hill.

A.E. Libil.

History of the Communication Systems.

Kepsar Co. 1970.

W.P. Neidig y P.W. Zwollo

Radio Estereofonfa

Editorial Técnica Philips 1968

George Kennedy

Electronic Communication Systems

Mc Graw - Hill 1977.

Matthew Mandl

Principios de Comunicaciones Electrónicas

Editorial Marcombo, S. A. 1976.

R. Carrasco y J. Lauret

Curso Fundamental de Televisión. Tomo I

Editorial Paraninfo, 1970.