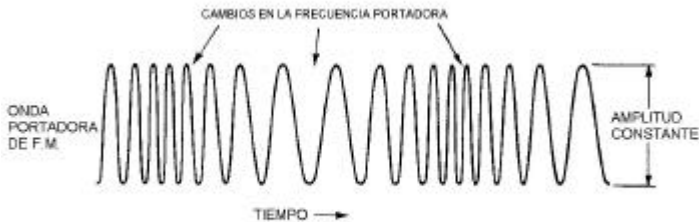


EQUIPOS DE EMISION Y RECEPCION DE RADIO

Modulacion de frecuencia

Otro método de modulación existente provoca que la frecuencia de la onda portadora varíe arriba y debajo de su valor principal con relación correspondiente a la frecuencia de la señal de modulación y en una cantidad (llamada *desviación*) según la amplitud de la señal de modulación. De esta manera, tan alta como sea la frecuencia de la señal de modulación, mayor será la relación de cambio de la frecuencia de portadora y mientras mayor sea la amplitud (por ejemplo la intensidad del sonido) de la modulación, mayor será la desviación a cada lado de la frecuencia portadora. Esto es lo que se denomina *modulación de frecuencia* (FM), donde la amplitud de la portadora permanece constante.

La modulación de frecuencia se utiliza en las bandas de VHF por la alta calidad de las transmisiones de audio; es también utilizada para el sonido en la TV. La desviación máxima para las transmisiones comerciales de radio es de ± 75 KHz, y se consiguen frecuencias de modulación de hasta 15 KHz en sistemas mono, asegurando suficiente fidelidad (incluso pueden ser más altas en estéreo, como se verá más adelante).



En la figura 1 se da una elemental representación de la señal de f.m. La banda lateral que presenta la f.m. es más compleja que la de a.m. Para cada modulación "pura" de la señal hay una serie de parejas de bandas laterales separadas de la portadora por una, dos tres, etc. veces la frecuencia de modulación. En música, por ejemplo, la estructura de la banda lateral es extremadamente complicada, porque la modulación consiste en una multitud de frecuencias. La estructura de la banda lateral se ve afectada por la frecuencia de modulación y por la desviación, lo que viene a expresarse por el *índice de modulación*, que es igual a la desviación de frecuencia (F_d) dividida por la frecuencia de modulación (F_m). El número de parejas de las bandas laterales se incrementa con el índice de modulación. El ancho de banda, pues debe ser mayor para f.m. que para a.m. y debe tenerse en cuenta en el receptor si se desea aprovechar toda la ventaja que reporta la f.m. para la transmisión comercial. En el sistema de f.m. de banda ancha la restricción del ancho de banda en el receptor trae como consecuencia la distorsión armónica en los pasajes bajos de la música.

TRANSMISOR DE F.M.

En la fig. 2 se tiene el d.d.b. de un transmisor de f.m. en él se ve que la señal de audio pasa por un amplificador de a.f. y un circuito de pre-énfasis, cuya misión es amplificar las frecuencias de audio más altas (se verá más adelante) y conducir las a un modulador especial, que también recibe la señal en fase de un oscilador a cristal, a través del amplificador buffer. La frecuencia de la señal producida por el oscilador a cristal está en relación con la señal de VHF llevada a la antena, aunque es mucho menor que ésta. La máxima desviación de la

señal de r.f. que se obtiene de la señal moduladora es, como hemos dicho de ± 75 KHz.

Ahora supongamos que un transmisor con esta desviación máxima se necesita para operar una frecuencia de portadora nominal de 96 MHz, como se ve en la Fig.2. Se arranca con un oscilador a la frecuencia de 100 KHz y modulándose (en el modulador) para desviarla $\pm 14,74$ Hz. Esta señal se pasa entonces, a través del segundo buffer, al primer multi-

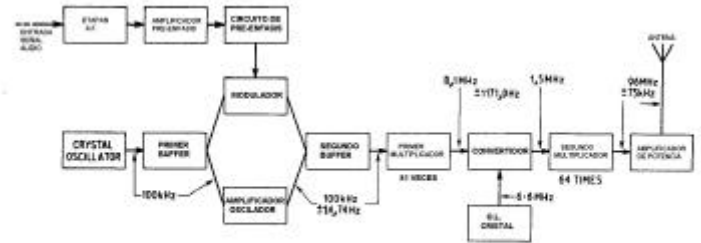


Figure 2. Diagrama de Bloques de un transmisor de f.m.

plificador, que incrementa la frecuencia 81 veces hasta 8,1 Mhz y una desviación de $\pm 1171,9$ Hz. La señal y desviación obtenida a esta frecuencia es aplicada a la etapa convertidora, junto con la señal de 6.6 Mhz del oscilador de batido a cristal, consiguiéndose una señal heterodina de 1,5 Mhz ($8,1-6,6=1,5$) y se filtra. La desviación de esta señal permanece fina en $\pm 1171,9$ Hz, ya que no hay multiplicación ni división de frecuencia, sino sólo conversión.

El segundo multiplicador incrementa la frecuencia de la señal y su desviación 64 veces, lo que proporciona una señal nominal portadora de 96 MHz y una desviación de ± 75 KHz. La amplificación de RF también ocurre en los multiplicadores y a través de una etapa de amplificación final se llega a la antena.

PRE Y DES-ÉNFASIS

Una primera ventaja de los sistemas de radiodifusión en FM es su significativamente grande relación señal-ruido y aumento del rango dinámico comparado con los sistemas de a.m. La mayoría del ruido (y por ruido se entiende el soplido y silbido de fondo que se nota más cuando se incrementa la calidad del sonido) ocurre en la zona de los agudos del espectro de audio. En los sistemas de f.m. es posible amplificar las frecuencias agudas de la señal de modulación durante la transmisión y atenuarlas correspondientemente en el receptor para restaurar el balance de frecuencia. Esta técnica se llama *pre-énfasis* y se aplica en el transmisor y *desénfasis* si se aplica en el receptor. El pre-énfasis no afecta al ruido que llega al receptor, pero el desénfasis reduce el ruido en el receptor al restaurar el balance de frecuencias.

La relación entre pre- y des-énfasis se expresa como una constante de tiempo, que es de 50 μ s.

La Fig.3 muestra en (a) el desénfasis aplicado en el receptor (o sintonizador de f.m.), y en (b) como se restaura la respuesta en frecuencia en correspondencia al pre-énfais aplicado en el transmisor.

Hay transmisores que pueden ajustar a voluntad el pre-énfais para evitar sobremodulación en las altas frecuencias sin necesidad de recortar los picos de agudos.

Lo normal es que la señal desde el estudio vaya hacia el transmisor por un *radioenlace* en UHF o VHF-alta, con las señales estéreo mezcladas.

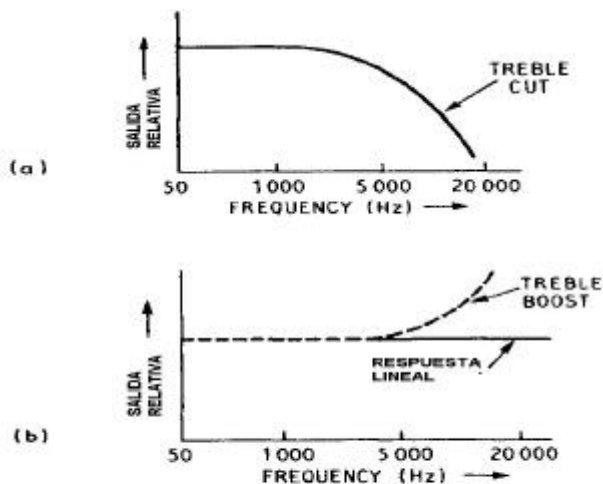


Fig. 3. Característica señal-ruido mejorada a base de pre-énfais en el transmisor y des-énfais en el receptor: (a) muestra la naturaleza del des-énfais y en (b) la respuesta plana obtenida con la combinación del pre-énfais del transmisor, mostrada en línea punteada.

ESTEREOFONIA EN FM

La radio en estéreo requiere dos enlaces o canales de audio. La entrada de cada canal incluye su propio pre-énfais y también un limitador para cada canal con objeto de reducir la sobremodulación.

El estéreo implica un procesado especial en las señales de audio y es lo que se indica en el diagrama de bloques de la figura 4. Las entradas A y B pasan por los circuitos de pre-énfais y llegan juntas a la *matriz* (que es un circuito cuya misión es sumar y restar las señales A y B), de tal manera que se consigan las salidas A-B y A+B. La señal A+B es la suma de la información de las señales del canal izquierdo y derecho y corresponde a la señal ordinaria, esto es a la información *mono*. La diferencia entre la información portada por el canal izquierdo y derecho constituye la información *estéreo*, señal A-B. La señal A+B se utiliza para modular en frecuencia la portadora de VHF, por el procedimiento habitual, lo que significa que un receptor mono toma la señal de una transmisión estéreo que responde normalmente a la información completa (es decir la que proviene de los canales izquierdo y derecho).

La información estéreo A-B, no obstante, es especialmente procesada antes de añadirse a la señal A+B. Es conformada para modular en amplitud una *subportadora* de 38 KHz que, en el transmisor se obtiene doblando la frecuencia de una señal de 19 KHz producida por un oscilador a cristal. Las bandas laterales de la señal A-B se mantienen, pero la subportadora en sí misma es suprimida por el modulador en amplitud, llamado *modulador balanceado*. La señal de 19 KHz producida por el oscilador de cristal es llamada señal *piloto*. Esta señal, la A+B, y las bandas laterales de la A-B se llevan a un amplificador suma-

do cuya salida constituye la *señal multiplex estéreo* utilizada para el modulador en frecuencia del transmisor.

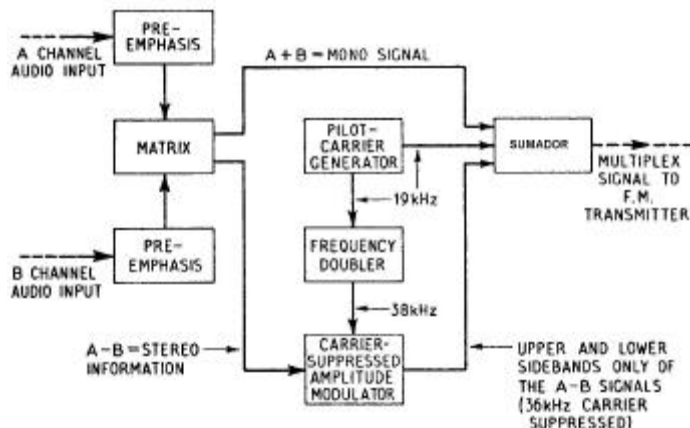


Fig. 4. Diagrama de Bloques simplificado de un codificador de f.m. estéreo.

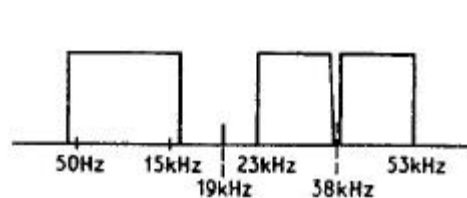


Fig. 5. Frecuencias de los componentes de una señal estéreo multiplex

En la Fig. 5 se ve cómo todos los componentes de la señal múltiplex están colocados en orden. La señal ordinaria mono A+B ocupa el espectro desde 30 KHz hasta 15 KHz, luego viene la señal piloto a 19 KHz, seguida de las bandas laterales de la señal A-B. Los receptores ordinarios mono no tienen en cuenta las señales por encima de 15 KHz, mientras que los receptores equipados con un decodificador estéreo procesan todos los componentes de la señal múltiplex de las que extrae las señales A y B (izquierda y derecha) para llevarlas a los amplificadores y altavoces. La acción es convertir esto en el transmisor; la salida izquierda es obtenida por la adición, ya que $(A+B)+(A-B)=2A$ y la salida derecha por susstracción como $(A+B)-(A-B)=2B$, recuérdese que A corresponde al canal izquierdo y B al derecho.

Hay que hacer la observación de que el nivel de la señal piloto con el residuo de la subportadora suprimida de 38 KHz constituye sobre un 10% de la modulación disponible, dejando un 90% de información propiamente dicha de audio. Así pues, si la desviación para el 100% de modulación es ± 75 KHz, aproximadamente una desviación de ± 67.5 KHz es soportada con la información de audio y aproximadamente ± 7.5 KHz con el piloto. Lo normal es que una estación de f.m. tenga unos limitadores para una desviación máxima de aproximadamente 61 KHz que en este caso corresponde a ± 54.2 más ± 6.75 KHz para el tono-piloto.