

## TRANSMISORES DE RADIOFRECUENCIA

Los transmisores de RF, de gran importancia y utilización en la actualidad, se clasifican según el tipo de servicio o aplicación en la que se utilizarán. Los mas difundidos y simples son los siguientes:

- Modulación de frecuencia o fase
- Modulación en Amplitud
- Modulación en Banda Lateral Única

Los transmisores a utilizar sólo con señales de onda continua ( CW ), modulada en frecuencia (FM), o de amplitud modulada ( AM ) son, en general, menos complicados que los de banda lateral única y multimodo. Las señales de frecuencia modulada tanto las moduladas en fase como las moduladas en frecuencia, poseen portadora con amplitud constante.

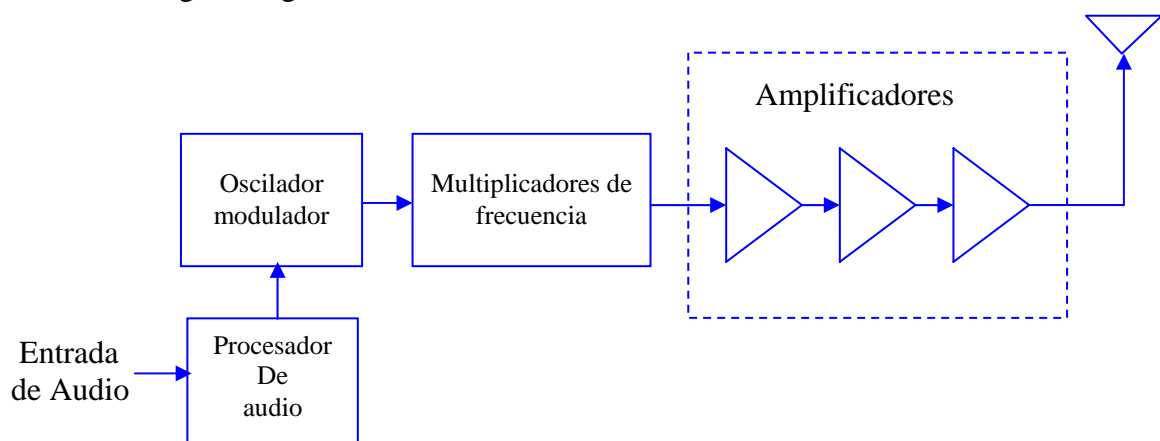
Las señales de onda continua requieren sólo de dos amplitudes de portadora: máximo y cero, en el caso de una señal de AM la señal de salida presenta una amplitud variable en el tiempo, la variación de amplitud puede imprimirse en la señal variando el voltaje de alimentación del amplificador de potencia final. De esta forma los transmisores de CW, FM, AM pueden y utilizan también amplificadores clase C, D, E, y F, los que si bien carecen de linealidad, presentan una gran eficiencia en su funcionamiento.

El diseño de un transmisor, en contraste con el de un amplificador, se basa en un método de diagrama en bloques o de “bloque de construcción”. Una cadena de amplificadores y multiplicadores de frecuencia, con ganancias de potencia determinada, que permiten elevar la potencia de salida del oscilador hasta alcanzar la potencia de salida deseada.

## TRANSMISORES DE FM

En las señales moduladas en frecuencia el proceso de modulación se realiza en etapas de bajo nivel de potencia y muchas veces en baja frecuencia, luego se la traslada en frecuencia y amplifica hasta alcanzar el nivel de salida deseado. La modulación en frecuencia se puede realizar ya sea directamente, variando la frecuencia de un oscilador con la señal de información de entrada o bien, indirectamente, por modulación de fase de la señal de RF.

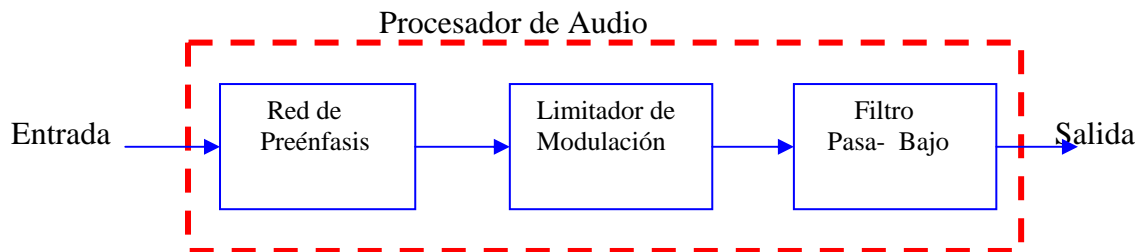
Para lograr alta linealidad, la mayoría de los moduladores de frecuencia producen en la generación un índice de modulación más pequeño y una desviación de frecuencia menor que la que se desea en la señal de salida del transmisor, luego los multiplicadores de frecuencia multiplican la desviación de frecuencia y el índice de modulación, así como la frecuencia misma, para esto se utiliza una serie de etapas en cascada que multiplican y amplifican a la señal, esto se puede ver en la siguiente gráfica:



**Fig. N° 10 – 1**

**Procesador de Audio:** Esta etapa es la encargada de recibir la señal de entrada y adaptarla a los requerimientos del modulador, además se debe tener presente la normativa vigente. Este bloque debe cumplir con tres funciones obligatorias, estas son:

- 1 – Red de Preénfasis
- 2 – Limitador de modulación
- 3 – Limitación de máxima frecuencia de modulación

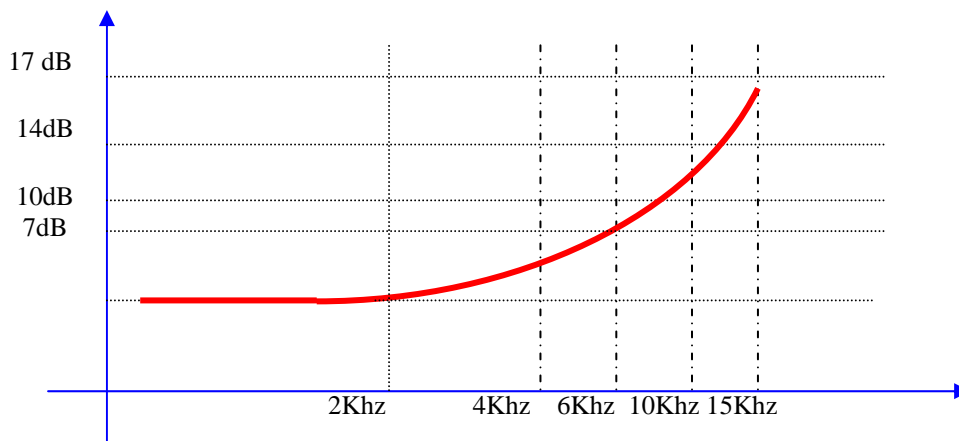


**Fig. N° 10 – 2**

**Red de Preénfasis:** Esta red como ya se vio, permite que la desviación instantánea de la frecuencia además de ser proporcional a la amplitud de la señal de entrada lo sea también a la frecuencia de esta, debiendo presentar una respuesta en frecuencia acorde con el tipo de servicio, esta curva de respuesta se encuentra normalizada. En sistemas de FM de banda ancha (comercial) el preénfasis responde a una constante de tiempo de 75  $\mu$ s y la curva de respuesta que se obtiene responde a la siguiente ecuación:

$$R_{(dB)} = 10 \log [1 + (150 F^2) 10^{-5}] \quad (F \text{ en KHz.})$$

La gráfica se puede ver en la siguiente figura:



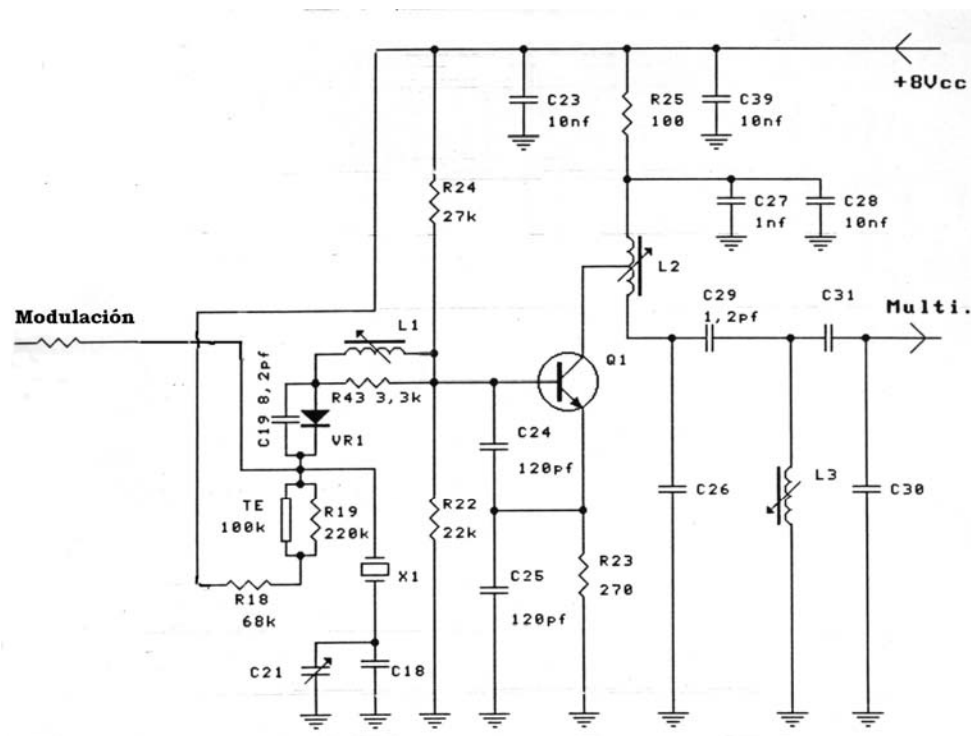
**Fig. N° 10 - 3**

**Limitador de modulación:** En todos los casos la señal emitida no deberá superar el ancho de banda especificado para el tipo de servicio, esto significa que la máxima desviación en frecuencia no deberá superar el valor estipulado, por ejemplo  $\pm 5$  KHz. Para FM banda angosta. Este circuito limitador de modulación permite cumplir con este requerimiento, limitando la amplitud de la señal de modulación de forma tal, que esta no pueda crecer a partir de un nivel umbral, sin importar que la señal ingresante de modulación continúe creciendo en amplitud,

lógicamente esta amplitud máxima deberá ser capaz de provocar la desviación máxima en frecuencia permitida.

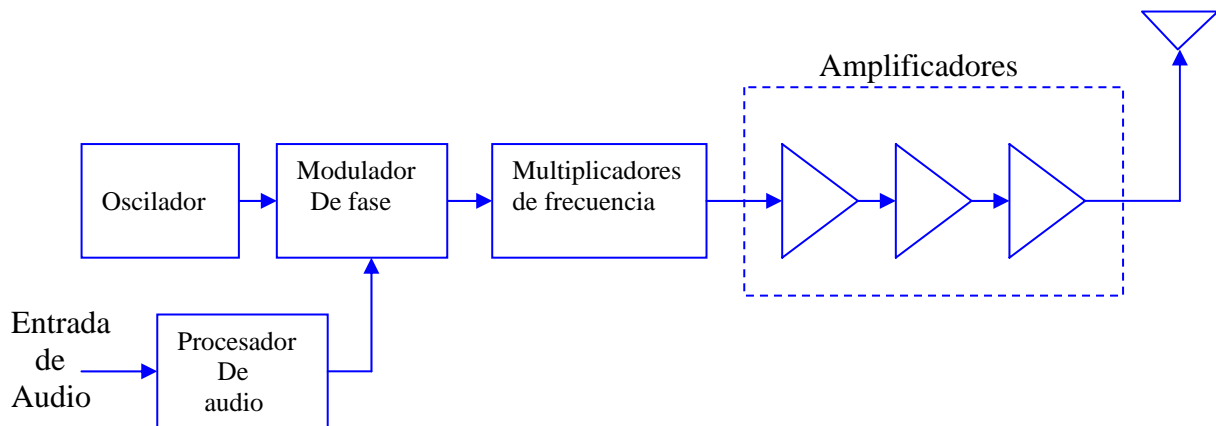
**Filtro Pasa-bajo:** Siempre que se modula en frecuencia existe una máxima frecuencia de modulación permitida, la que dependerá del tipo de servicio, por ejemplo 3 KHz para banda angosta, esto significa que no se debe permitir modular con frecuencias superiores, en caso contrario el ancho de banda de la señal crecería por encima del valor normalizado, provocando interferencias a señales de canales adyacentes. La señal de entrada muchas veces contiene frecuencias por encima del valor máximo normalizado, además la etapa limitadora de modulación genera componentes armónicos de la señal de modulación, por todo esto es necesario utilizar un filtro pasa bajo cuyo corte se encuentre por encima de la máxima frecuencia permitida, en el caso de FM de banda ancha (Comercial) la máxima frecuencia de modulación de 15 KHz., además en FM estéreo, con la modulación se envía una señal piloto de 19 KHz. que es la que habilita el decodificador estéreo en los receptores, por esto la respuesta del filtro pasa bajo a utilizar en este caso debe ser plana hasta los 15 KHz y debe presentar una atenuación de 45 dB a 19 KHz, esto para que la modulación no perturbe a la señalización de 19 KHz. En el caso de FM banda angosta la máxima frecuencia de modulación es de 3 a 3,4 KHz. por lo que el filtro deberá actuar a partir de esta frecuencia.

**Oscilador Modulador:** El oscilador en este caso, se basa en el uso de un cristal que trabaja en fundamental, próximo a la resonancia paralelo, comportándose este como el inductor del circuito resonante, se dispone también de un circuito con varicap al que se aplica la señal de modulación. En esta etapa ya se realiza la primer multiplicación de frecuencia, por esto el circuito de colector se sintoniza generalmente al 2º o 3º armónico, siendo la frecuencia de salida la correspondiente al doble o triple de la frecuencia del cristal. A fin de aumentar el rechazo de las componentes indeseadas el circuito sintonizado de salida se compone de dos etapas en cascada, con adaptación de impedancia en la entrada y la salida, un oscilador de este tipo esto se puede ver en la siguiente gráfica:



**Fig. N° 10 - 4**

Para el caso de utilizar modulación de fase el diagrama en bloques se puede ver en la siguiente gráfica:

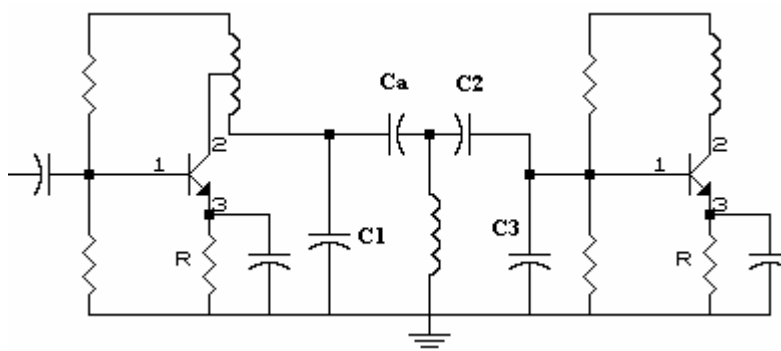


**Fig. N° 10 – 5**

El procesador de audio que se utiliza en este caso se diferencia del anterior solo en el primer bloque, en este caso no es necesario el uso de una red de preénfasis, por lo que este bloque no se utiliza, se compone entonces de un amplificador, un limitador de modulación y filtro pasa bajo.

La etapa osciladora también se compone de un oscilador controlado por cristal el que generalmente funciona en sobre tono, resonancia serie, cuya salida se sintoniza a la componente fundamental del cristal. La señal de salida del oscilador se aplica a un circuito modulador de fase similar a los ya vistos, la salida de esta etapa se aplica a una cadena multiplicadora que lleva la frecuencia al valor final de salida.

**Multiplicadores de frecuencia:** Estos son los encargados de trasladar la frecuencia al valor de salida, según este valor se deberá determinar la cantidad de etapas a utilizar, generalmente cada etapa multiplica por dos o como máximo por tres, un número de multiplicación mayor no se utiliza, debido a que sería muy complicado eliminar las componentes indeseadas, un circuito muy utilizado se puede ver en la siguiente gráfica:

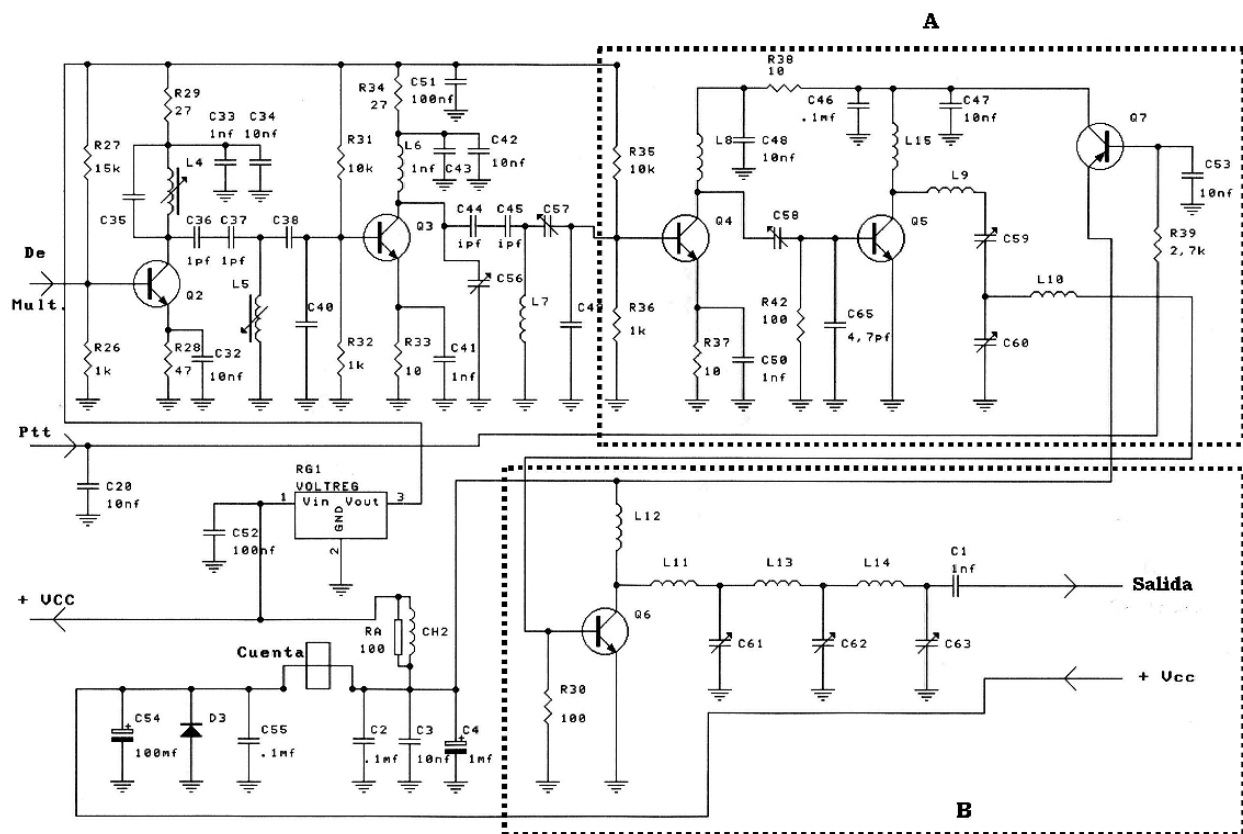


**Fig. N° 10 – 6**

Básicamente se compone de un amplificador de pequeña señal seguido de un filtro pasa banda sintonizado a la frecuencia deseada, este filtro se compone de dos etapas en cascada que proporcionan un Q lo suficientemente alto que permita eliminar convenientemente las

componentes indeseadas. La potencia de salida de estas etapas son bajas, pudiendo llegar a 5 o 10 mW.

**Excitadores y amplificador de salida:** La ganancia de las distintas etapas amplificadoras en RF presentan un valor bajo, por ejemplo la ganancia de una etapa capaz de entregar 4 W a la carga, es del orden de 7 a 10 dB, cuando se utiliza un transistor bipolar, pudiendo llegar al orden de 16 a 17 dB cuando se utiliza un transistor Mosfet, para el primer caso la potencia de entrada a esta etapa deberá ser del orden de 400 a 500 mW, se deberá utilizar entonces una etapa excitadora que sea capaz de entregar esta potencia, la potencia de entrada a esta etapa deberá ser de 60 a 100 mW. Se debe utilizar entonces una etapa pre-excitadora que eleve los 10 mW que entregan los multiplicadores con los 100 mW que necesita la etapa excitadora. Se utilizan entonces en este bloque tres etapas amplificadoras, con estos 4 W de potencia disponible se podría excitar otra etapa amplificadora, en cuyo caso la potencia final de salida podría llegar a 30 o 40 W. En la gráfica siguiente se puede observar una etapa de potencia capaz de suministrar una potencia de 5 W con un filtro de armónicos en la salida indicada con el bloque B, una etapa pre-excitadora y excitadora indicada con el bloque A y etapas multiplicadoras.



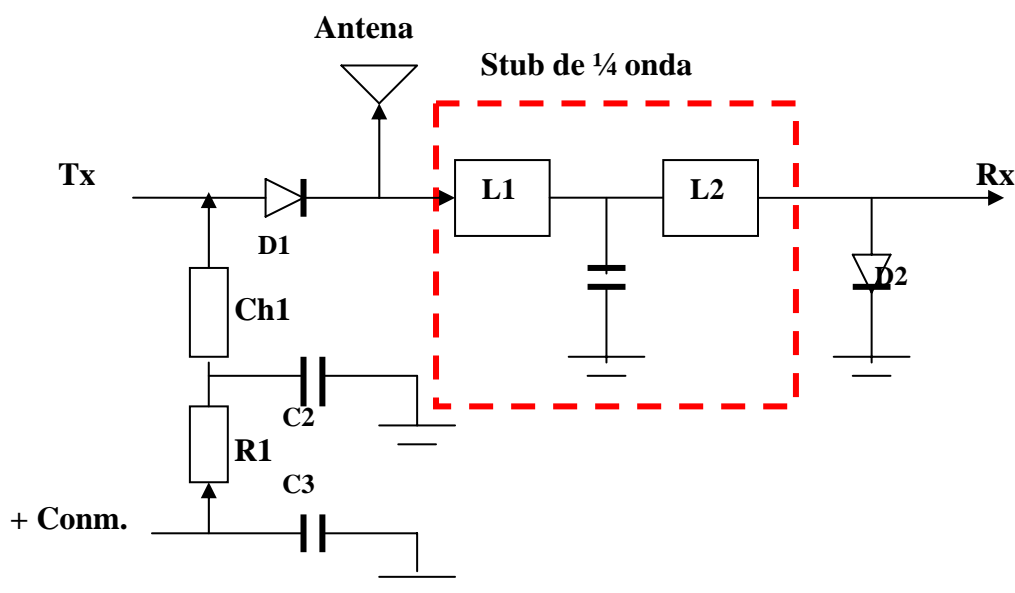
**Fig. N° 10 – 7**

Estas etapas operan en clase C, aunque muchas veces se las suele polarizar, sobre todo la etapa pre-excitadora a fin de que puedan trabajar con señales mas pequeñas. Los transistores a utilizar en etapas de potencia se fabrican para trabajar en los distintas bandas de frecuencia, por ejemplo el transistor MRF 237 es capaz de entregar 4 W de potencia en el rango de VHF banda alta de 136 a 174 Mhz ó el MRF 630 entrega 3 W de potencia en el rango de 400 a 470 Mhz, etc. Los fabricantes especifican los parámetros de sus transistores y sugieren un circuito óptimo para una determinada aplicación.

**Filtro de armónicos de salida:** Los amplificadores de potencia de salida debido a la alinealidad de los transistores utilizados, generan componentes armónicos que serán irradiados. La norma exige que el contenido armónico de salida de los transmisores no debe superar un determinado valor, por ejemplo en transmisores de 25 W de potencia de salida, la potencia de los armónicos no debe superar el valor de  $25\mu\text{W}$ , esto significa una atenuación de 60 dB entre la amplitud de la portadora y de los armónicos. Las atenuaciones que deben presentar los filtros pasa bajo depende de la potencia de los transmisores y del tipo de servicio al que se aplicarán, estando en todos los casos especificado por la normalización vigente, un filtro pasa bajo se puede ver en la figura anterior.

**Conmutación de antena:** Cuando se trata de un equipo transmisor solamente, la salida del filtro pasa bajo se conecta directamente al conector de antena del equipo, pero si se trata de un transceptor, esto es un transmisor y receptor, se debe disponer de un circuito que conmute la antena entre la etapa transmisora y receptora. En los primeros equipos esta conmutación se realizaba utilizando un relay. En este caso tiene gran importancia la construcción física del relay ya que sus contactos formarán parte del circuito de salida de RF, cuanto mayor es la frecuencia de operación tanto mayor será el efecto del relay en el circuito, por este motivo en equipos de alta frecuencia se utilizaban relay coaxiales de efecto mínimo en el circuito.

En la actualidad se utiliza conmutación electrónica, esta consiste en el uso de diodos que funcionan como un interruptor abierto o cerrado y un circuito LC. Este circuito permite que el receptor quede conectado a la antena y la etapa transmisora quede desconectada cuando la conmutación no esta activada. Cuando se activa la conmutación mediante una tensión continua, entran en conducción los dos diodos quedando el transmisor conectado a la antena y el receptor desconectado. Se utilizan diodos PIN los que son fabricados para se utilizados en conmutación en alta frecuencia, además se los fabrica para conmutar distintas potencias, un circuito se puede ver a continuación:



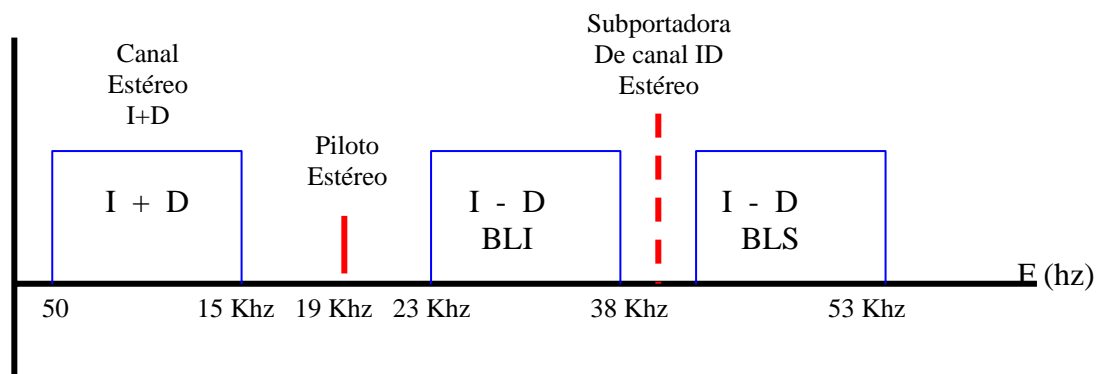
**Fig. N° 10 – 8**

Cuando se aplica una tensión continua esta provoca la conducción de los dos diodos PIN, estos presentarán entonces un corto circuito por lo que la salida del transmisor quedará conectada al conector de antena, el inductor que alimenta al segundo diodo constituye un stub de  $\frac{1}{4}$  de onda, el cual al estar conectado a tierra en la salida por el diodo que esta conduciendo, presentará

en el terminal de entrada una alta impedancia, desconectando la receptor. Al desconectar la tensión continua de conmutación los diodos representan un circuito abierto por lo que la salida del transmisor se desconecta y el receptor queda conectado. El diodo que queda conectado en serie con la salida del transmisor debe ser capaz de soportar la potencia de salida del transmisor.

### Transmisión de FM Estéreo

En la actualidad la banda de radiodifusión comercial en FM utiliza transmisión en estéreo, permitiendo la transmisión de dos canales de audio con un ancho de banda de 50 Hz a 15 KHz, esto es canal izquierdo y canal derecho. Los transmisores de FM estéreos deben además permitir la recepción de la señal por parte de receptores monoaurales sin degradación, en el caso de recepción estéreo debe ser la separación entre los canales izquierdo y derecho del orden de 40 dB o mejor, el espectro de una señal con modulación de frecuencia estereofónica se puede ver en la siguiente gráfica:

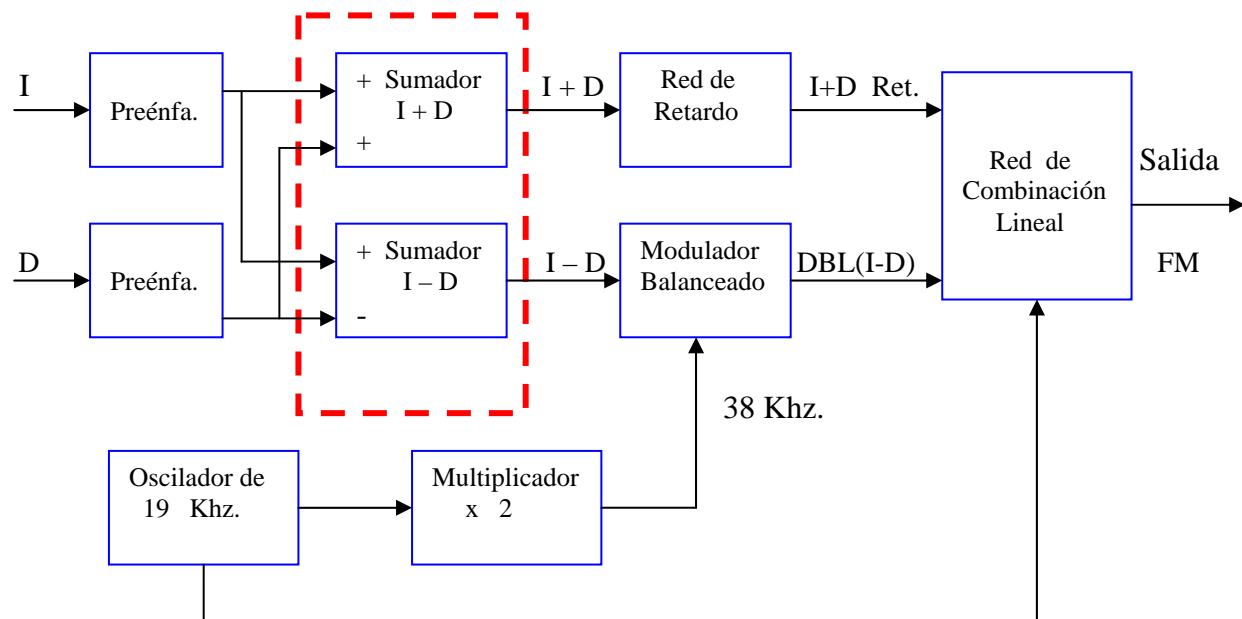


**Fig. N° 10 – 9**

En la transmisión de FM estereofónica tres canales de voz o música son multicanalizados en división de frecuencia, esta canalización se compone de 3 sectores mas una señal piloto. El primer sector se compone de la suma del canal de audio izquierdo mas derecho (I+D) ubicado en el sector de 50 Hz a 15 KHz. luego se ubica la señalización piloto de 19 KHz. necesario en los receptores para decodificar la señal estéreo, luego y ubicado entre los 23 y 53 KHz se encuentra una señal de doble banda lateral con portadora suprimida compuesta por la resta del canal de audio izquierdo con el derecho (I-D). Cuando se transmite FM monoaural solo se modula con el primer sector, esto es (I+D) de 50 Hz a 15 KHz.

Con este sistema los receptores de FM mono serán capaces de recibir tanto señales emitidas por transmisores mono como estéreos, en el segundo caso amplificarán solo la señal ubicada en el primer sector (50 Hz a 15 KHz.). en el caso de un receptor estéreo deberá demodular también el sector comprendido de 23 KHz a 53 KHz.

El ancho de banda de la señal cuando se modula en estéreo es igual que cuando se modula en mono, por lo que la máxima desviación en frecuencia se mantiene en  $\pm 75$  KHz, el 10% de esta se reserva para la señalización piloto de 19 KHz. el resto se utiliza para la transmisión de los dos canales (I + D) y (I – D). Un diagrama en bloques que permite obtener la codificación estereofónica se puede ver en la siguiente gráfica:

**Fig. N° 10 – 10**

Los canales de audio izquierdo y derecho se combinan en una red matricial que genera la suma y la diferencia de los dos canales ( $I + D$ ) y ( $I - D$ ). Con la señal ( $I - D$ ) se modula una portadora de 38 Khz en un modulador de doble balance, obteniéndose a la salida las 2 bandas laterales con portadora suprimida y ubicadas de 23 Khz. a 53 Khz. Debido a que la señal ( $I - D$ ) sufre un retardo cuando pasa por el modulador balanceado, se debe intercalar una red de retardo a la señal ( $I + D$ ) a fin de mantener la integridad de la fase entre los canales ( $I - D$ ) con el ( $I + D$ ) con propósitos de demodulación. También con fines de demodulación se transmite la señal piloto de 19 Khz. se utiliza esta señal debido a que en el receptor resulta mas dificultoso recuperar 38 Khz que 19 Khz. Esta señal de salida compuesta se utiliza para modular al transmisor de FM.