

AM estéreo

Alfonso Cuesta Hernández

17 de abril de 2001

Desde la década de los cincuenta un grupo de individuos y empresas expresaron su interés por la transmisión en estéreo utilizando la amplitud modulada. Dado el creciente interés de más grupos en el año de 1975 se fundó la **National AM Stereophonic Radio Committee (NAMSRC)**. En el año de 1977 este comité rindió su informe ante la FCC en Estados Unidos; pero aun a la fecha de que se escribió el presente libro no se ha tenido una resolución. A continuación se presentan las cinco opciones que compiten como opciones del AM estéreo.

## 0.1 AM estéreo vs. FM estéreo.

Antes de describir los sistemas propuestos para AM estéreo, se verán las posibles ventajas que puede tener este sistema sobre el FM estéreo.

Una de las ventajas del FM estéreo es el de acallar el ruido que se presenta durante la demodulación, además de que el incremento de la densidad espectral es minimizado con preacentuación/desacentuación. Sin embargo la desacentuación de la señal estéreo antes de la modulación produce una degradación  $S/N$  de -22dB.

Debido a que la modulación de AM está limitada por los picos negativos, esto con el fin de evitar la sobremodulación, muchas estaciones de AM usan circuitos compresores de audio para comprimir los picos negativos. De esta manera la modulación sobre los picos positivos puede aumentar hasta en un 125%, con el resultado de que la señal detectada de salida en el receptor es más fuerte en comparación con la señal de ruido.

Debido a las altas frecuencias que se usan, el desempeño de los sistemas de FM tiende a estar influenciado por la propagación en trayectoria múltiple. Esto es evidente en la recepción en automóviles en movimiento o en la presencia de grandes construcciones. En cambio, para los sistemas de AM este no es un gran problema, siempre y cuando el receptor se encuentre en el área donde la señal está definida adecuadamente.

Finalmente, es de consideración la respuesta a la frecuencia. Algunas estaciones comerciales de AM tienen respuestas uniformes para entradas hasta los 10 KHz, y unas cuantas respuestas buenas de salida a 15 KHz. Con la capacidad de AM estéreo, hay algo relacionado que muchas estaciones desean incrementar: los anchos de banda; de esta manera se puede manejar mejor las frecuencias de entrada en el intervalo de 10 a 12 KHz.

En cuanto al espacio entre espectros de estaciones existen algunos problemas con los sistemas propuestos de AM estéreo, ya que estos tienden a generar componentes de banda lateral más allá de la banda asignada debido a los elementos no lineales utilizados en la modulación.

Otra problema agregado es el del angostamiento del ancho de banda asignado a las estaciones de radio de 10KHz a solamente 9 KHz.

Dadas todas las observaciones anteriores es obvio que el AM estéreo ofrece muchas mejoras en la recepción para aplicaciones móviles. En este tipo de aplicación es aceptable un intercambio ligeramente inferior en la respuesta de frecuencia y relación señal-ruido por una menor fluctuación y mayor distancia de recepción.

Los cinco sistemas AM estéreo que han intentado lograr este objetivo los han presentado **Kahn Communications y Hazeltine Corporation, Belar Electronics, Magnavox Company, Harris Corporation y Motorola**.

## 0.2 Tres sistemas propuestos (Kahn/Hazeltine, Belar, Magnavox)

Las características deseables para sistemas AM estéreo incluyen compatibilidad con los receptores monofónicos, buena separación estéreo, buena fidelidad, degradación mínima, que no requieran aumento del ancho de banda, adaptabilidad para radiodifusoras existentes y facilidades de transmisión y bajo costo y poca complejidad.

### 0.2.1 Kahn/Hazeltine.

En este sistema, ambas bandas laterales llevan información de modo independiente a los canales derecho e izquierdo. Un monoreceptor sintonizado a la frecuencia portadora suma las bandas laterales y detecta la envolvente dando la recepción monofónica compatible. Se ha fabricado un receptor con una sola frecuencia intermedia para este sistema y da una mejor recepción estéreo que dos receptores monofónicos independientes para cada canal. Este utiliza la detección de envolvente para la señal  $L + R$  y detección de cuadratura con redes desfasadoras para la señal  $L - R$ , luego estas dos señales se suman y se substraen y para proporcionar la señales L y R independientes.

La transmisión en el sistema Kahn/Hazeltine usa el principio de modulación compatible de banda lateral única para obtener las bandas laterales independientes. La señal  $L + R$  modula la amplitud de la transmisión mientras que la señal  $L - R$  se desfasa en  $90^\circ$  y se utiliza para modular la fase del transmisor.

Este sistema tiene potencial para un buen rendimiento estéreo bajo condiciones de propagación variable, sin embargo necesita redes de desfasamiento muy precisas.

### 0.2.2 Belar.

Este sistema utiliza una banda angosta de FM para la información  $L - R$  en la portadora. La señal  $L + R$  se utiliza para modular la amplitud. Se emplea un límite negativo de modulación del 95% para prevenir el ruido excesivo en la etapa limitadora del receptor.

### 0.2.3 Magnavox.

Un tercer sistema de AM estéreo es el sistema AM/PM propuesto por Magnavox. En este sistema, un oscilador a la frecuencia portadora es un modulador de frecuencia con un tono de identificación estéreo de 5 Hz. La señal  $L - R$  se usa para modular la fase y la señal  $L + R$  se utiliza para modular la amplitud.

La detección de la señal AM/PM utiliza un detector de envolvente para detectar la señal  $L + R$ , un limitador de amplitud y un detector de fase para obtener la señal  $L - R$ . Se procede de la misma manera que en el sistema Belar para prevenir el ruido excesivo en la etapa limitadora del receptor.

## 0.3 Dos sistemas adicionales (Harris y Motorola).

Las dos propuestas restantes utilizan la modulación por cuadratura modificada (QAM). Este tipo de modulación ofrece buen rendimiento cuando hay ruido.

Aun cuando la QAM tiene mucho que ofrecer para transmisión de señales estéreo, su problema principal es la compatibilidad con la detección de la envolvente. Supongamos que representamos la señal del canal izquierdo como  $\ell(t)$  y la del canal derecho como  $r(t)$ . La componente de fase que se usa para la portadora del modulado en amplitud es

$$x(t) = 1 + \ell(t) + r(t)$$

y la señal de cuadratura es

$$y(t) = \ell(t) - r(t)$$

Por lo tanto, un detector de fase deberá de detectar la señal AM  $L + R$  y uno de cuadratura la señal DSB-SC ( $L - R$ ). Sin embargo un detector de envolvente deberá detectar

$$e(t) = \sqrt{[1 + \ell(t) + r(t)]^2 + [\ell(t) - r(t)]^2}$$

La cual a parte de complicada acarrea algunos problemas reales en la práctica. Si la señal  $L - R$  es de magnitud semejante a la señal  $L + R$  puede existir distorsión importante en la salida del detector de la envolvente. Debido a esto es necesario realizar algunas modificaciones al multiplexor de cuadratura.

### 0.3.1 Harris.

En este sistema se aplica la señal L a un mezclador simétrico cuya referencia es un desfase de  $-15^\circ$  respecto a la portadora. De manera semejante la señal R se aplica a otro mezclador cuya referencia es un desfase de  $+15^\circ$  con respecto a la portadora. Ambas señales desfasadas se mezclan con la portadora. La señal resultante de la envolvente que debe detectar el demodulador es

$$e(t) = \sqrt{\{1 + [\ell(t) + r(t)] \cos 15^\circ\}^2 + \{[\ell(t) - r(t)] \sin 15^\circ\}^2}$$

La reducción en la componente  $L - R$  reduce bastante la distorsión de la envolvente y el resultado es alguna pérdida señal-ruido. La pérdida en la señal de fase es pequeña

$$10 \log(\cos 15^\circ)^2 = -0.30\text{dB}$$

pero la pérdida de potencia en la señal de cuadratura es de considerarse

$$10 \log(\sin 15^\circ)^2 = -11.7\text{dB}$$

La ventaja del sistema Harris, es que es el único de los propuestos que no utiliza elementos no lineales lo que evita la proliferación de armónicos fuera de la banda.

Mientras que un detector de la envolvente puede hacer un buen trabajo en demodular la señal AM monoaural, un receptor AM estéreo deberá tener un circuito demultiplexor de cuadratura estándar, el cual puede realizarse con un PLL y un par de mezcladores de cuadratura.

### 0.3.2 Motorola.

El sistema Motorola también utiliza un multiplexor de cuadratura, con la ligera modificación de que las señales de fase y cuadratura mantienen una distancia angular de  $90^\circ$  con respecto a la portadora. La señal resultante es

$$\phi(t) = \sqrt{[1 + \ell(t) + r(t)]^2 + [\ell(t) - r(t)]^2} \cos [\omega_c t + \gamma(t)]$$

donde

$$\gamma(t) = \tan^{-1} \left[ \frac{\ell(t) - r(t)}{1 + \ell(t) + r(t)} \right]$$

Se puede observar que

$$\cos \gamma(t) = \frac{1 + \ell(t) + r(t)}{\sqrt{[1 + \ell(t) + r(t)]^2 + [\ell(t) - r(t)]^2}}$$

por lo tanto la envolvente resultante es

$$e(t) \cos \gamma(t) = 1 + \ell(t) + r(t)$$

El proceso de transmisión comienza por modular las componentes en fase y cuadratura; a continuación estas se suman y limitan en amplitud. Esto forma una portadora en fase a la transmisora y el componente  $L + R$  se aplica a la entrada AM del transmisor. La señal transmitida resultante en la modulación en amplitud de cuadratura es la señal descrita en la última ecuación que es compatible con la envolvente para recuperar la señal monoaural.

En el sistema Motorola la parte de compatibilidad viene en el receptor dado que el término  $\cos \gamma(t)$  debe ser factorizado y eliminado de la componente  $L - R$ .

## 0.4 Conclusión.

Los cinco sistemas estéreo han sido probados en el campo. El peso principal de una decisión adecuada está relacionada con la adaptación de uno de ellos, el costo, el intercambio de varios criterios de eficiencia. Algunos de estos incluyen el incremento del ancho de banda necesario, separación estéreo, respuesta en frecuencia y ruido bajo diversas condiciones de recepción. El intercambio de todo esto es común en el diseño de cualquier nuevo sistema de comunicación. Cuál será el sistema elegido, será el resultado de cuidadosas consideraciones de costos relativos de cada uno de los cinco sistemas.