

## Parte 3:

### El Radiotelescopio

Para que logremos comprender como funciona un radiotelescopio (que no difiere demasiado de cualquier receptor) es conveniente comprender primero como está compuesta la señal que queremos captar, y aunque la explicación la voy a encarar de forma poco ortodoxa, creo que puede servir para introducirnos de a poco en los aspectos técnicos de esta especialidad, de la mano de la teoría de las comunicaciones radioeléctricas.

Olvidémonos por un momento de las fuentes radioastronómicas e imaginemos que queremos enviar información de un lugar a otro por medio de ondas de radio, ¿qué condiciones debemos cumplir? ¿podemos enviar la información pura y nada más?

Para poder establecer la comunicación, necesitamos un transmisor, un receptor y dos antenas.

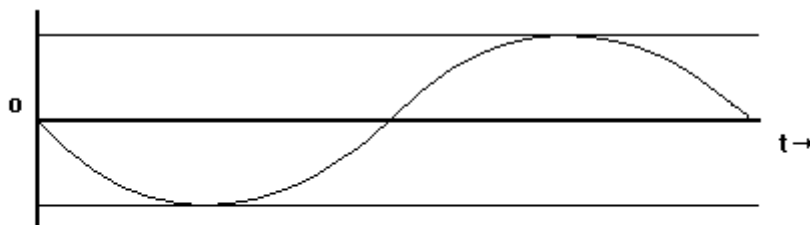
Si por ejemplo queremos transmitir una señal de audio (voz, música, o los tonos de un módem) estamos hablando de frecuencias que están en el rango de los 20Hz a no más de 20 KHz. ¿podemos transmitir esta señal directamente?. Técnicamente es muy difícil, porque el tamaño de las antena transmisora necesaria (como veremos mas adelante) es proporcional a la longitud de onda de la señal que se quiere transmitir, y si lo calculan verán que estamos hablando del orden de decenas y hasta miles de kilómetros !!.

Para solucionar este serio inconveniente es que se envía la información modificando los parámetros de una onda de alta frecuencia llamada **portadora**.

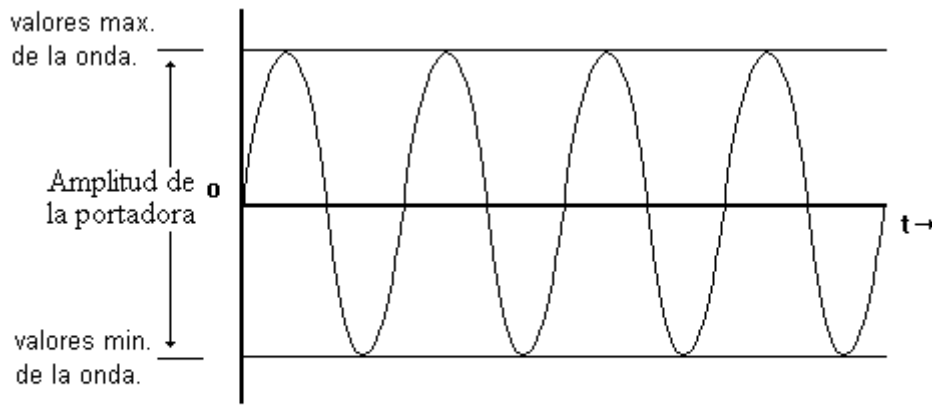
Esta onda es de mucho mayor frecuencia que la de la información a transmitir, de forma de poder utilizar antenas de tamaños razonables, y esto se logra modificando los parámetros de dicha portadora, es decir variando su amplitud o su frecuencia.

En el caso de una transmisión hecha por el hombre (voz, imagen, etc.), a esta modificación se la denomina **modulación**, por lo cual tendremos modulación en amplitud (AM) y modulación en frecuencia (FM), y a la onda que contiene la información se la denomina **moduladora**. A cada estación de radio o canal de TV (por ejemplo) le corresponde una frecuencia de portadora.

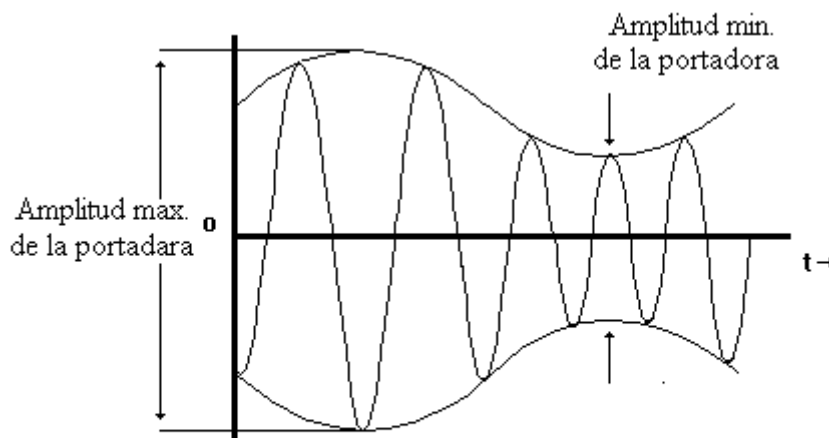
Hoy en día cualquier receptor de radio comercial permite seleccionar ambas modulaciones.



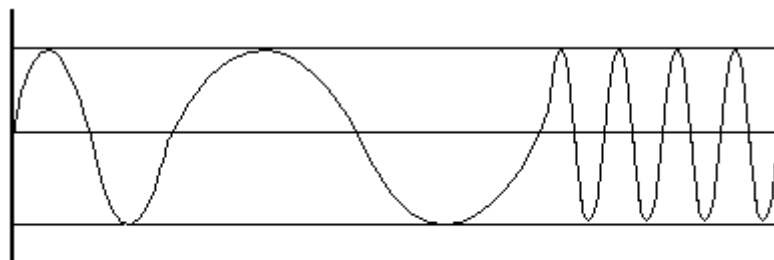
**Representación de la onda moduladora.**



**Representación de la onda portadora.**



**Onda modulada en amplitud.**



**Onda modulada en frecuencia**

Así que las frecuencias de las ondas portadoras empiezan en varios cientos de KHz, y llegan hasta los GHz. Resumiendo, la onda portadora es solamente un vehículo para transportar la información, y su objetivo es el utilizar antenas de tamaños razonables.

Regresando a la Radioastronomía, la información en nuestro caso serán los distintos parámetros físicos, generados por la Naturaleza y que en general se manifiestan como variaciones en amplitud, pero que en el caso del efecto Doppler (debido al movimiento del objeto observado, al movimiento del Sistema Solar en la galaxia y sobre todo al movimiento de la Tierra en su órbita) se manifiesta como variaciones en la frecuencia recibida.

En nuestro caso vamos a obviar por ahora el efecto Doppler y nos concentraremos solo en las variaciones de amplitud.

La “portadora” depende del fenómeno observado.

Si observamos en la línea de 21 cm. (1420 MHz), los “transmisores” son los átomos del hidrógeno neutro y las variaciones de amplitud indicarán la densidad de dicho gas, o si existe algo en el camino que absorbe parte de la radiación, etc.

El ejemplo mas simple sería apuntar una antena hacia el centro galáctico y moverla lentamente fuera del plano de la galaxia y luego pasear por los brazos en espiral, así obtendríamos un mapa completo de la Vía Láctea en la línea del hidrógeno neutro, graficando la intensidad de la onda en cada punto, lo que está al alcance de cualquiera.

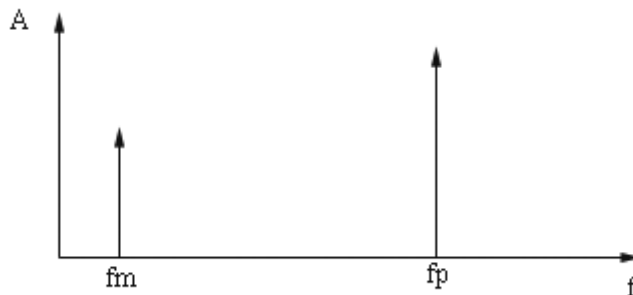
Lo mismo se puede hacer en 611 MHz, en este caso los “transmisores” serán los electrones que giran en las líneas de campo magnético y que generan radiación de sincrotrón, y la intensidad nos dará idea de la distribución del campo magnético en nuestra galaxia.

En todos los archivos de audio que se adjuntaron con el curso, como en el caso de los pulsares, Júpiter o meteoritos escuchamos esa información, el producto final a la salida del receptor del radiotelescopio.

### El espectro de frecuencias

Así como hemos graficado la portadora y la moduladora con su amplitud en función del tiempo, también es posible hacerlo con la amplitud en función de la frecuencia. Como siempre, la frecuencia de la onda portadora será mucho mayor que la moduladora.

El gráfico, denominado espectro de frecuencias (o simplemente espectro) se ve de la siguiente forma:



En donde  $f_p$  es la frecuencia portadora y  $f_m$  la moduladora.

Si bien no voy a profundizar en los aspectos técnicos, vale la pena mencionar que la onda de *amplitud modulada* se obtiene haciendo el producto punto a punto entre la moduladora y la portadora.

¿Cómo se verá esto en el espectro?

Matemáticamente, cada onda en función del tiempo puede escribirse como:

$$S_m = A \cdot \cos(\omega_m \cdot t) \quad \text{señal moduladora} \quad , \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (\text{velocidad angular})$$

$$S_p = \sin(\omega_p \cdot t) \quad \text{señal portadora}$$

La multiplicación de las señales se describe con la siguiente operación:

$$S_{AM} = S_p \cdot (1 + S_m) = S_p + S_p \cdot S_m$$

Recordando un poco de trigonometría, tenemos que:

$$\text{sen}(\alpha + \beta) = \text{sen} \alpha \cdot \cos \beta + \text{sen} \beta \cdot \cos \alpha$$

$$\text{sen}(\alpha - \beta) = \text{sen} \alpha \cdot \cos \beta - \text{sen} \beta \cdot \cos \alpha$$

Si sumamos miembro a miembro:

$$\text{sen}(\alpha + \beta) + \text{sen}(\alpha - \beta) = 2 \cdot \text{sen} \alpha \cdot \cos \beta$$

Por lo tanto:

$$\text{sen} \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} \cdot \text{sen}(\alpha + \beta) + \frac{1}{2} \cdot \text{sen}(\alpha - \beta)$$

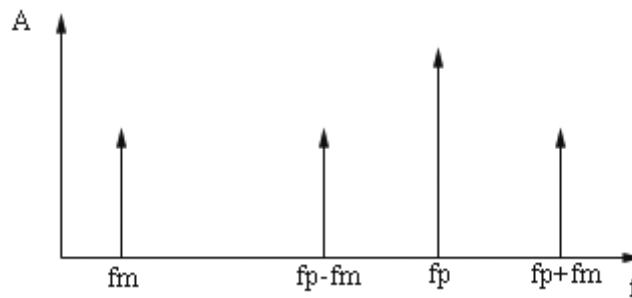
Entonces como:

$$S_{AM} = S_p \cdot (1 + S_m) = S_p + S_p \cdot S_m$$

$$S_{AM} = \text{sen}(\omega_p \cdot t) + \text{sen}(\omega_p \cdot t) \cdot A \cdot \cos(\omega_m \cdot t)$$

$$S_{AM} = \text{sen}(\omega_p \cdot t) + \frac{1}{2} A \cdot \text{sen}[(\omega_p + \omega_m) \cdot t] + \frac{1}{2} A \cdot \text{sen}[(\omega_p - \omega_m) \cdot t]$$

Además de la portadora obtenemos otras dos ondas que son la suma y la diferencia entre  $f_p$  y  $f_m$ , y su espectro será:



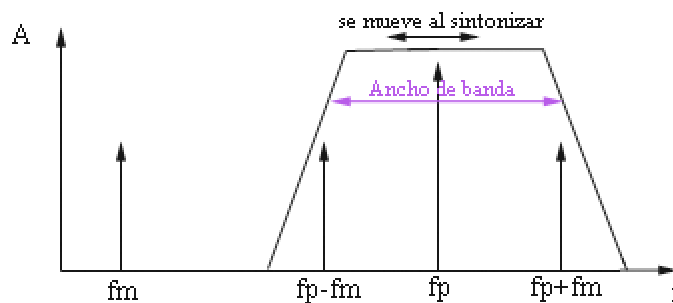
Para recuperar toda la información necesitamos que el receptor capture estas tres frecuencias.

Resumiendo: un receptor de AM estándar, muy utilizado en Radioastronomía debe ser capaz de captar las señales suma y diferencia entre las frecuencias portadora y moduladora.

*¿Qué significa sintonizar?*

Todo receptor se caracteriza por su *ganancia* (cuantas veces amplifica la señal recibida) y su *ancho de banda* (el rango de frecuencias que puede captar alrededor de la frecuencia de la portadora).

Obviamente, el ancho de banda necesario para recuperar la información ( $f_m$ ) debe ser tal que abarque a ( $f_p - f_m$ ) y a ( $f_p + f_m$ ).



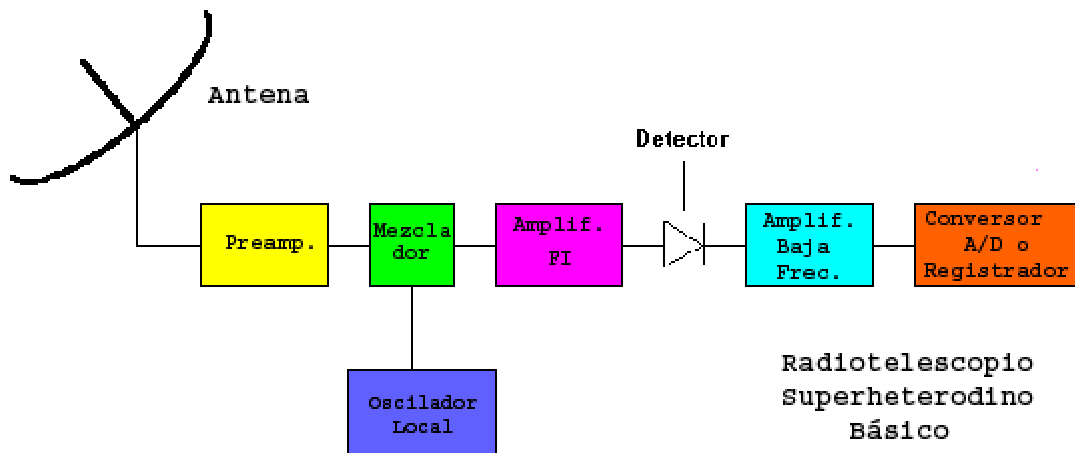
Es poco práctico utilizar un receptor que solo capte una pequeña banda de frecuencias, lo mejor es que permita seleccionar (sintonizar) una gran cantidad de frecuencias portadoras (de la misma manera en que uno selecciona distintas estaciones de radio o canales de TV) con un ancho de banda fijo. Por su flexibilidad y facilidad de diseño el más utilizado es el *receptor superheterodino*, cuyo estudio realizaremos a continuación.

## El receptor

Es el encargado de amplificar (aumentar) la intensidad de la señal recibida por la antena y además recuperar en su salida la información original.

De la misma forma que lo hace el espejo de cualquier telescopio óptico, la antena de un radiotelescopio captará más energía cuanto mayor sea su área, pero aún con antenas muy grandes, el nivel de energía es extremadamente bajo y comparable al ruido térmico (es decir, el que aparece en la antena y los circuitos debido a la agitación térmica de los electrones, y que podemos apreciar cuando sacamos de sintonía cualquier receptor de radio) y la electrónica involucrada merece consideraciones especiales.

El diagrama de bloques de un radiotelescopio clásico es:



En la próxima sección comenzaremos a estudiar la función de cada uno de estos bloques en detalle.