



## CRISTALES, BANDAS Y FRECUENCIAS

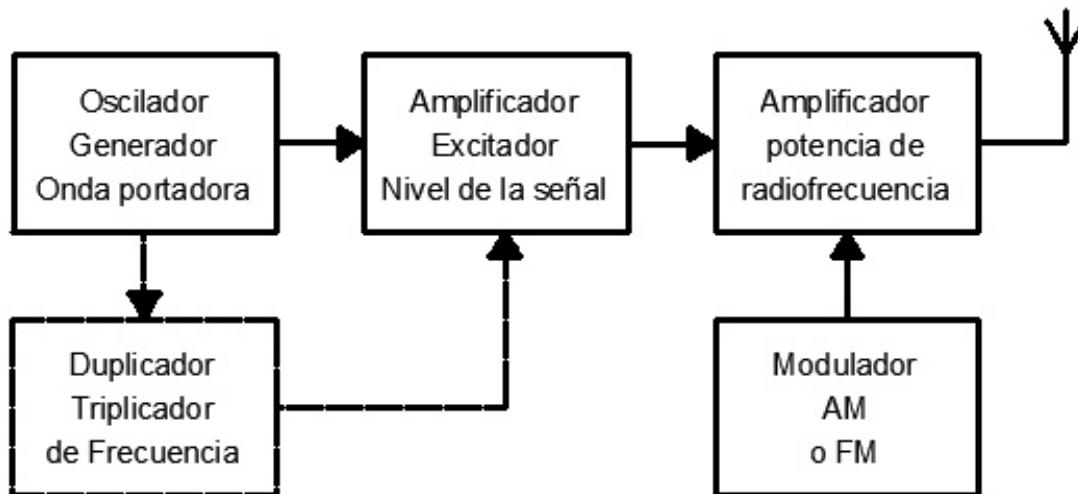
Hace cierto tiempo que un compañero me hizo una consulta acerca de los cristales para nuestras emisoras y hace bastante menos, cinco o seis días, dos compañeros me han preguntado sobre el mismo tema. Así que con más entusiasmo que conocimientos vamos a explicar algunas "cosillas" sobre el título de este pequeño trabajo.

Empezaremos por explorar, siquiera someramente, como funciona un equipo de radio control. Que nadie se asuste, no vamos a entrar en profundidades técnicas, sino que trataremos de mantenernos siempre dentro de los límites de la simple divulgación.

Es posible establecer una conexión entre una emisora y su receptor gracias a las ondas electromagnéticas descubiertas por Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) físico alemán que fue el primer científico en demostrar la existencia de estas ondas. La ciencia, en reconocimiento a su inestimable aportación al progreso de la humanidad, decidió dar el nombre de Hertz a la unidad que mide la frecuencia de una onda electromagnética (ciclos por segundo) y por extensión solemos llamar a estas ondas "Ondas Hertzianas".

En nuestro caso utilizaremos la expresión de "Ondas Radioeléctricas", para indicar implícitamente que nos estamos refiriendo a este segmento de ondas. Cabe decir que mediante los circuitos adecuados podemos variar a voluntad la frecuencia de una onda, multiplicándola o dividiéndola por un número determinado e incluso sumando o restando dos ondas de frecuencias distintas.

En la siguiente imagen vemos, en versión simplificada, el esquema de bloques que conforma nuestra emisora:



En el primer bloque tenemos un "Oscilador" que es el que determina, por su período de oscilación (ciclos por segundo) la frecuencia de nuestra emisora generando una onda portadora. La llamamos portadora porque su única función y utilidad es servir de transporte para llevar la onda de baja frecuencia que contiene la información que queremos transmitir.

La frecuencia de la onda portadora generada puede ser la que corresponde a la frecuencia del canal instalado en la emisora, la mitad o incluso su tercera parte.

Si la señal es la que corresponde al canal, se inyecta directamente en el amplificador para excitar la etapa de potencia o paso final.

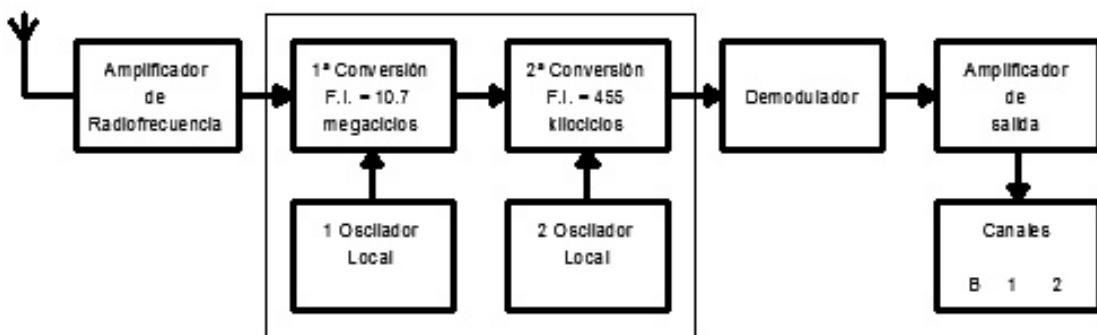
En caso contrario, la emisora incorpora un circuito cuya misión es multiplicar por dos o por tres, según convenga, la frecuencia generada por el “Oscilador”. Esta señal, una vez doblada o triplicada se inyecta en el amplificador para excitar la etapa de potencia o paso final.

Paralelamente tenemos un “Modulador” que es la etapa que convierte en señales eléctricas los movimientos que hacemos con los mandos de la emisora para dirigir nuestro barco.

La onda portadora modulada por la de baja frecuencia y amplificada la inyectamos en nuestra antena omnidireccional y la radiamos a los 360 grados.

Generalmente nuestros equipos tienen un alcance, según potencia de salida, propagación y accidentes del terreno que puede ser desde unos 50 metros hasta algo más de medio kilómetro aproximadamente.

La imagen que vemos a continuación es el esquema de bloques de nuestro receptor.



La señal captada por nuestra antena es muy débil e incapaz de manipular cualquier mecanismo, así que lo primero que hacemos es amplificarla a un nivel conveniente.

Nuestro receptor cuenta con una etapa “Osciladora”, igual que el emisor, a la que llamamos “Oscilador Local” que genera una onda radioeléctrica de frecuencia algo inferior a la frecuencia de la emisora.

Algunos receptores son de doble conversión “Dual Conversión” cuya tecnología explicaremos después. De momento vamos a seguir los pasos de un receptor con una sola conversión.

La señal de salida del amplificador y la señal del “Oscilador Local” las inyectamos en el conversor.

Y allí tiene lugar una resta de frecuencias, de manera que si la señal de salida del amplificador de radiofrecuencia es de, por ejemplo 27,125 megaciclos (corresponde al canal 17 de la banda de 11 metros) y la del “Oscilador Local” es de 26,670 megaciclos, la resta de ambas frecuencias da por resultado una onda que oscila a la frecuencia de 455 kilociclos.

A esta frecuencia de 455 kilociclos la llamamos “Frecuencia Intermedia” frecuencia a la que hemos sintonizado el resto de etapas que conforman nuestro receptor.

A continuación esta señal la inyectamos en una etapa “Demoduladora” que es la inversa de la etapa “Moduladora” del emisor. Allí los movimientos de las palancas de nuestra emisora

los convertíamos en señales eléctricas y aquí las señales eléctricas que capta nuestra antena las convertimos en movimientos.

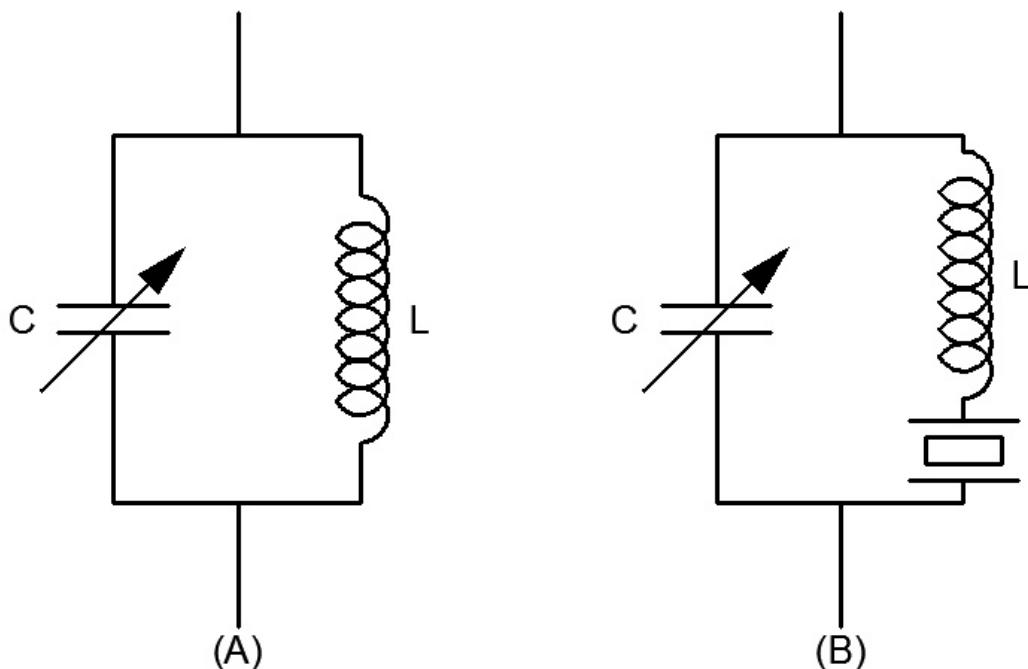
Finalmente amplificamos convenientemente las señales para que tengan la potencia y el sentido conveniente para mover los servos que mandan las funciones de nuestro barco.

Los receptores de doble conversión equipan dos “Osciladores Locales”. El primero se hace oscilar a una frecuencia de, por ejemplo, 24,500 megaciclos (corresponde al canal 80 de la banda de 35 megaciclos). Ambas señales se inyectan en la primera etapa conversora, se efectúa la resta de frecuencias y obtenemos una frecuencia intermedia de 10,7 megaciclos que inyectamos en la segunda etapa conversora.

El segundo “Oscilador Local” genera una onda de 24,045 megaciclos que inyectamos, asimismo, en la segunda etapa conversora, tiene lugar la resta de ambas ondas y el resultado es de  $24,500 - 24,045 = 455$  kilociclos que equivale a la segunda frecuencia intermedia.

Todas estas conversiones se hacen con el objetivo de mejorar la estabilidad de la señal y sobre todo, eliminar al máximo posible que señales muy próximas puedan generar interferencias en nuestro equipo con la consiguiente pérdida del control del modelo y los daños que pueda llevar aparejado. Mínimos, en el caso de un modelo de barco, pero muy peligrosos en el caso de un modelo de avión o helicóptero.

Hasta hace relativamente pocos años, la generación de una onda radioeléctrica se obtenía por la asociación en paralelo de una inductancia (bobina) y una capacidad (condensador), lo que llamamos circuito oscilante u “Oscilador”, cuyo esquema podemos apreciar en la imagen siguiente:



Dibujo esquemático de un “Oscilador” L-C (bobina – condensador). La frecuencia de oscilación viene determinada por los valores de ambos componentes. En el esquema de la figura (B) se ha conectado en serie con la bobina un cristal para asegurar la estabilidad de la

frecuencia. Su funcionamiento, en el supuesto de componentes ideales sin ningún tipo de pérdida o resistencia en los componentes, es como sigue.

El impulso que capta la antena de nuestro receptor carga el condensador (energía potencial), el cual a continuación se descargará en la bobina, esta tensión al atravesar la bobina generará una fuerza electromotriz de signo contrario, que a su vez, volverá a cargar el condensador, desaparece la energía electromagnética de la bobina convirtiéndose de nuevo en energía potencial y este ciclo de carga y descarga se repetirá indefinidamente y a una cantidad de veces por segundo en función de los valores de la bobina y el condensador.

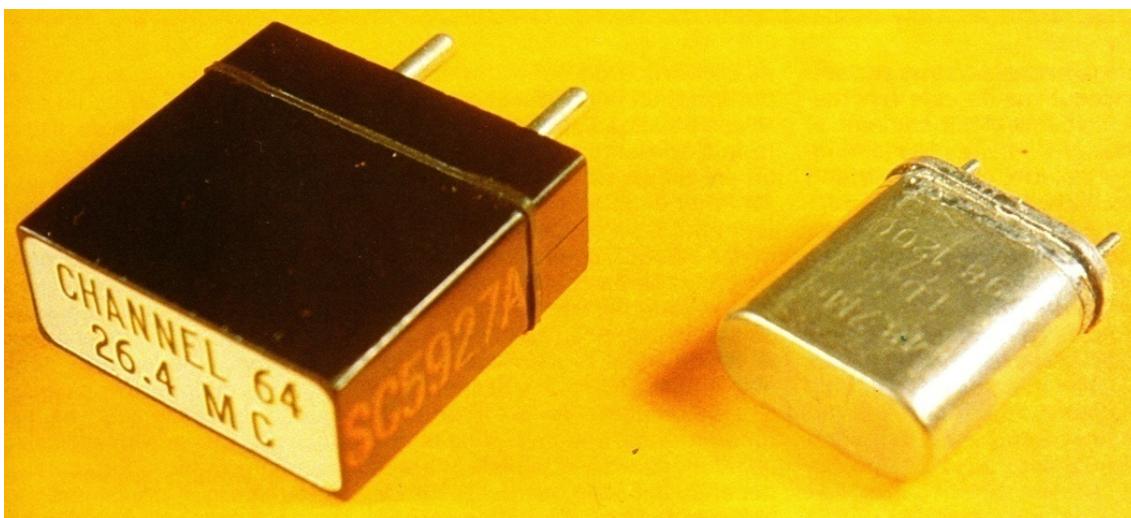
La fórmula que nos determina la frecuencia, es decir la cantidad de veces por segundo que este fenómeno se repite, es como se expresa a continuación:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Siendo  $f$  la frecuencia en ciclos por segundo o Hertzios. L, la bobina que se mide en henrios y C, el condensador que medimos en faradios.

Naturalmente en la práctica esta oscilación se irá debilitando hasta acabar por no producirse por falta de energía, así que para sustituir esta energía que se transforma en calor, la compensamos aportando la energía necesaria que nos proporcionan las baterías de nuestro equipo.

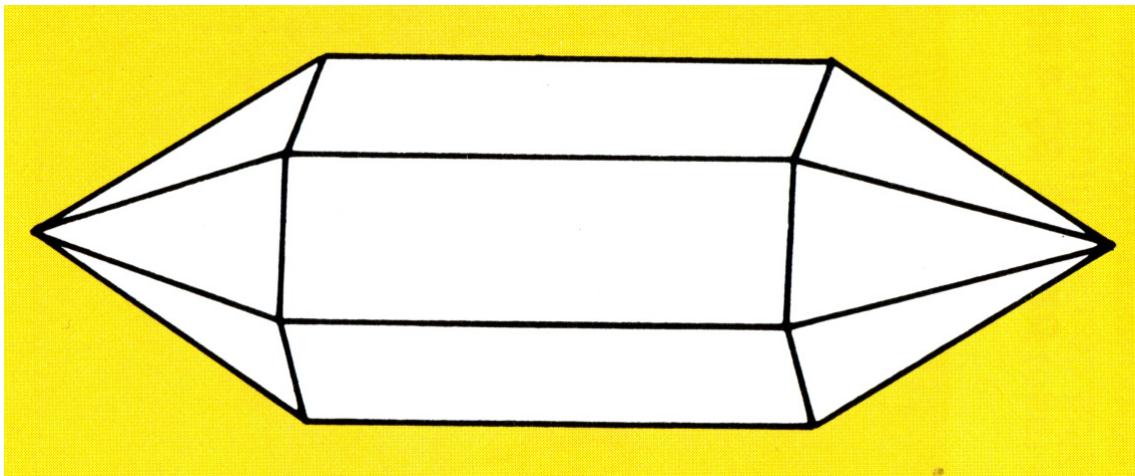
Este sistema perduró durante muchos años y en su reconocimiento hay que decir que aportó grandes beneficios a la humanidad, desde el simple telegrama felicitando una onomástica, hasta la señal de socorro (SOS) lanzada por el Titanic en la fatídica noche de su hundimiento. Hacia los años 50 o 60 se mejoró su tecnología, incorporando como patrón de frecuencia un cristal de cuarzo.



Entre las diversas características del cuarzo, vamos a centrarnos en la piezoelectricidad, fenómeno reversible que fue estudiado en 1880 por Pierre Curie, físico francés que años más tarde fue galardonado con el premio Nobel de Física (1903).

El cristal de cuarzo es uno de los minerales que más abunda en la naturaleza, pertenece a la familia de la sílice, lo que vulgarmente conocemos como arena. De él se obtienen piedras preciosas como el ónix, ágata, turmalina, amatista, etc., pero la variedad que interesa para

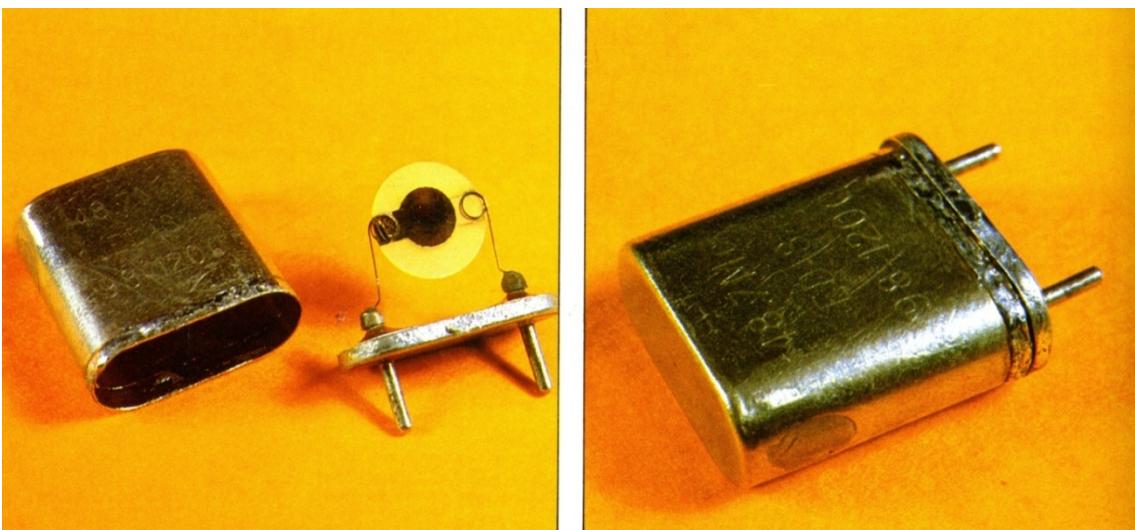
su aplicación en electrónica es un monocristal que se encuentra en Brasil con cuerpo en forma de prisma hexagonal y extremos en forma de prisma piramidal.



La propiedad o efecto piezoelectrónico es reversible, ya que si le aplicamos una energía mecánica produce una energía eléctrica y al aplicarle una energía eléctrica produce una energía mecánica. Esta propiedad tiene muchas aplicaciones. Los ejemplos más patentes en nuestra vida cotidiana los tenemos en las estufas de butano que apretando un botón (energía mecánica) un martillo golpea una cerámica piezoelectrónica (circonio de bario) produciendo una chispa de aproximadamente 20.000 voltios (energía eléctrica) que enciende el gas. Algunos mecheros de gas de los fumadores utilizan el mismo principio o el encendido automático del fuego de las cocinas y calentadores de agua.

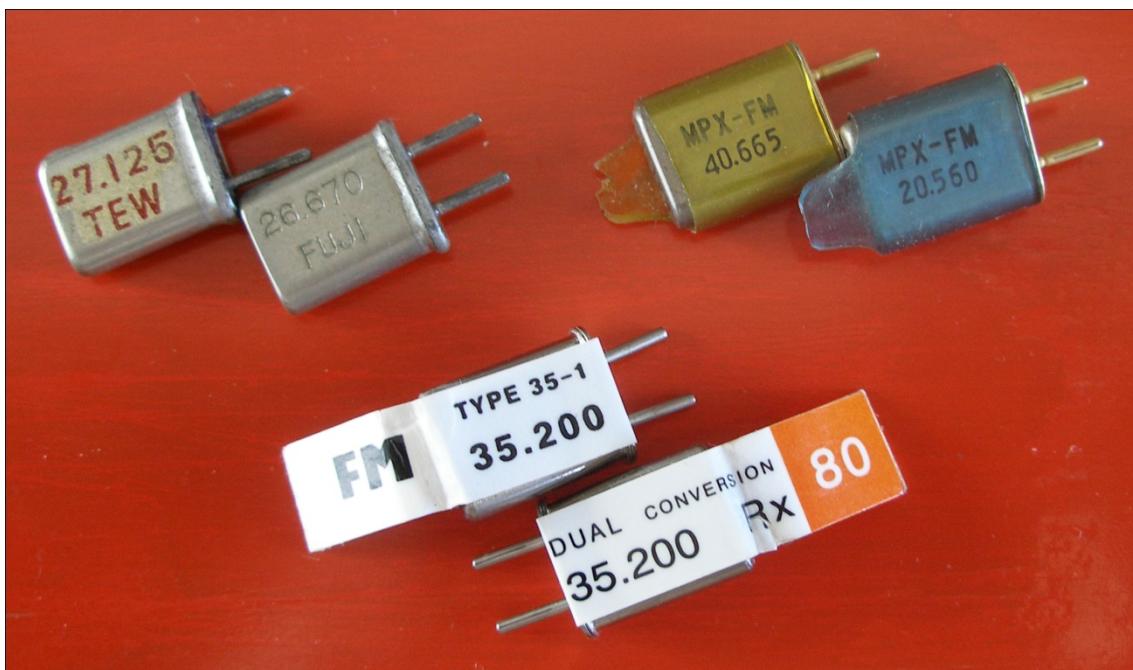
Los circuitos oscilantes, "antiguos" tenían varios problemas, hasta que no conseguían la temperatura idónea de trabajo su frecuencia variaba bastante, (patinaban) eran muy sensibles a las variaciones de calor y muy inestables, por eso para darles estabilidad de frecuencia se incorporaron en su circuitería los cristales de cuarzo.

El cristal de cuarzo se talla en finísimas láminas, según sus ejes ópticos con una técnica muy precisa, dos de sus caras se metalizan, operación que se efectúa en el vacío, se le incorporan dos conexiones eléctricas y todo ello se encierra en una capsula metálica que se cierra herméticamente por medio de una soldadura continua con el objeto de evitar que pueda entrar cualquier cuerpo extraño.



A continuación del circuito oscilante que hemos descrito, viene un paso amplificador porque la señal es muy débil para su aplicación práctica, este paso amplifica la señal pero mantiene todas sus características, frecuencia, amplitud, etc.

La elección del tipo de cristal que necesitamos está condicionada por las características del equipo. Hemos de tener en cuenta la frecuencia de trabajo del “Oscilador” de la emisora, frecuencia completa, media o un tercio. Si el receptor es de simple conversión o conversión doble. Para comprender mejor esto último, vamos a analizar tres casos prácticos.



En la imagen superior tenemos tres juegos de cristales que corresponden a diferentes fabricantes.

En primer lugar tenemos un cristal que viene marcado con la frecuencia de 27,125 que como se ha explicado anteriormente corresponde al canal 17 de la “Banda Ciudadana” o de “27 Megas” o también “11 metros”. Luego explicaremos el porqué.

Su pareja es el cristal cuya frecuencia está marcada como 26,670. Si efectuamos la resta,  $27,125 - 26,670$ , el resultado es de 455 kilociclos que corresponde a la “Frecuencia Intermedia”, cuya explicación ya se dio.

Este sistema de juego de cristales se da en equipos de tipo económico y en juguetería, donde, por razones comerciales, prima más la guerra de precios que la guerra de la calidad.

Como se puede deducir en la etapa conversora del receptor entran dos señales la procedente de la antena de 27,125 y la procedente del “Oscilador Local” de 26,670, se hace la resta y ya sabemos cuál es la resultante.

En segundo lugar tenemos un juego de cristales de algunos equipos de la marca “Multiplex”. Apreciamos que las frecuencias son 20,560 el cristal de emisión y 40,665 el de recepción.

¿Falla aquí aquella regla que, a estas alturas ya nos hemos aprendido de memoria de (**frecuencia de emisión menos frecuencia de recepción igual a “Frecuencia Intermedia”**)?

No. Ambas cosas son correctas: En el bloque que llamamos “Duplicador-Triplicador de Frecuencia”, doblamos o triplicamos la frecuencia de salida del “Oscilador” de la emisora, la radiamos al éter y la recogemos por la antena del receptor, una vez amplificada, la inyectamos en el “Conversor” y le restamos la señal que envía el “Oscilador Local” y el resultado será... ¡Si, si, ese que estas pensando!

¿Hacemos la prueba?

20,560 multiplicado por dos nos da como resultado 41,120. Si a esta frecuencia le restamos la que ha generado el “Oscilador Local” tendremos que  $41,120 - 40,665 = 455$ .

Es decir los “famosos” 455 de la “Frecuencia Intermedia”

En tercer lugar tenemos un juego de cristales de un equipo de la marca “Futaba”, aquí el fabricante solamente nos informa que ambos cristales están sintonizados al canal 80 de la banda de 35 megaciclos y que el receptor es de doble conversión (Dual Conversion).

Hemos sacado ambas pegatinas y en la capsula metálica no figura ninguna otra información.

Podríamos aventurarnos, casi con todas las garantías de éxito que la “Primera Frecuencia Intermedia” es de 10,700 megaciclos y que la “Segunda Frecuencia Intermedia” será de 455 kilociclos. ¿Pero, este fabricante y en esta serie de equipos a qué frecuencia hace trabajar la primera conversión? No lo sabemos.

¿Realmente los datos de este párrafo (muy generalizados en otros fabricantes de equipos de radiocontrol) son aplicables al fabricante de los equipos “Futaba”?

No lo sabemos.

Vamos a detenernos un momento en las ondas. Una onda de baja frecuencia (20 a 20.000 ciclos por segundo), es la que nuestros oídos perciben, tiene muy poco alcance, apenas unos cientos de metros en las condiciones más favorables. Por tanto no nos sirve para las comunicaciones a larga distancia.

No obstante es este tipo de onda la que lleva la información, palabra, música, señales, etc.

Las ondas radioeléctricas de alta frecuencia, muy alta frecuencia o ultra alta frecuencia, popularmente conocidas como “HF”, “VHF” y “UHF”, siglas del inglés que significa respectivamente “High Frequency”, “Very High Frequency” y “Ultra High Frequency”, pueden viajar miles de millones de kilómetros, podemos establecer comunicaciones con la luna o con el punto más lejano de nuestra galaxia, pero no pueden llevar información.

Si encontramos un medio para mezclar ambas ondas, la portadora y la modulada y una vez recibidas, eliminar la que no nos sirve y quedarnos con la que lleva la información, podemos transmitir mensajes, prácticamente hasta el infinito.

Pues bien, como resulta evidente, la ciencia ha conseguido aunar las características que nos interesan de ambas ondas. A las ondas de radiofrecuencia, las llamamos “Onda Portadora” porque es la que porta, la que utilizamos como medio de transporte al igual que utilizamos el coche, el avión o un tren.

A las ondas de baja frecuencia que contienen la información, palabra, música, imágenes, etc., las llamamos “Onda Modulada”, porque está modulada por el sonido recogido por un

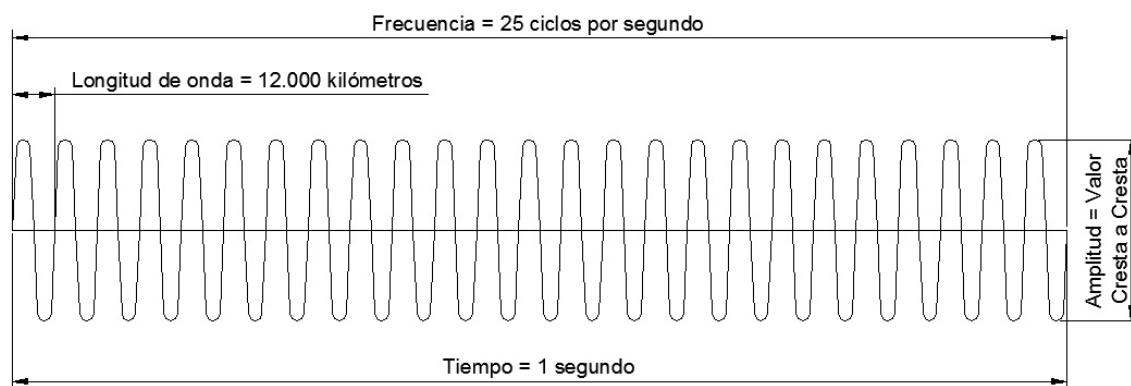
micrófono, el laser de un “CD” de música o los movimientos de las palancas de control de nuestra emisora.

Mezclando ambas ondas, la portadora y la modulada, podemos transmitir cualquier tipo de información, prácticamente, a cualquier distancia.

Una vez la onda portadora y la modulada han llegado al receptor, eliminamos la portadora que ya no nos sirve para nada. Procesamos la onda modulada y aplicamos la información que lleva, sea sonido, imagen o en nuestro caso las órdenes oportunas a los servos para la maniobra de nuestro barco.

La representación esquemática de una onda portadora la podemos ver en la siguiente imagen.

Los parámetros que sirven para definir una onda, en general, son:



La escala de tiempo, que de forma implícita entendemos que es sobre la base de un segundo.

La amplitud, que es la distancia entre una cresta superior y otra inferior.

La frecuencia, que son los ciclos por segundo. Normalmente en frecuencias de mil o más ciclos utilizamos los múltiplos. Kilociclos, Megaciclos, Gigaciclos, etc.

La longitud de onda que es la distancia entre una cresta y la siguiente. Se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde la letra griega lambda representa la longitud de onda. c que es la velocidad de la luz (si no se requiere mayor precisión se suele utilizar la estándar de 300.000 kilómetros por segundo). Y f que es la frecuencia.

Sólo a título demostrativo, aplicando los valores del ejemplo: “... **la frecuencia de 27,125 que como se ha explicado anteriormente corresponde al canal 17 de la “Banda Ciudadana” o de “27 Megas” o también “11 metros”**”.

$$\lambda = \frac{300.000.000}{27.125.000} = 11,10 \text{ metros}$$

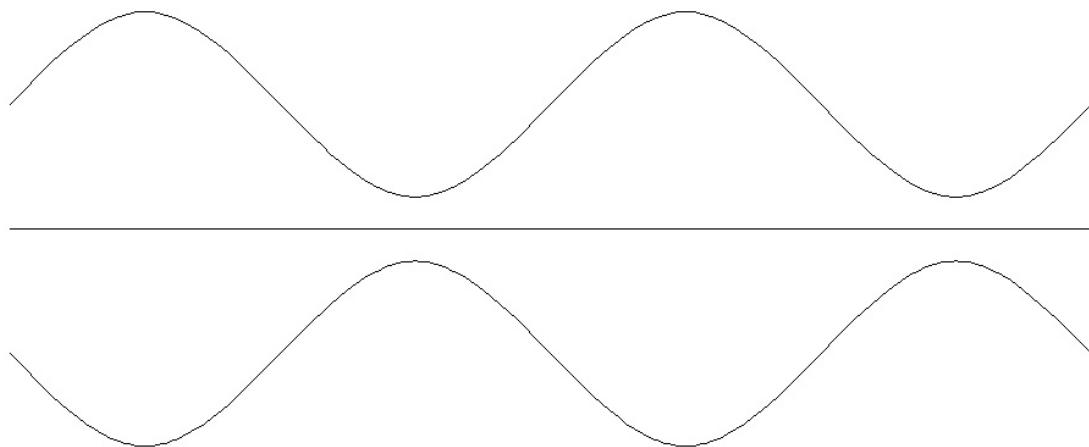
Lo cual quiere decir, como fácilmente se ha deducido que cuando la segunda cresta de la onda sale de la antena de nuestra emisora, la primera ya ha recorrido 11,10 metros. Por esta razón hablamos de la banda de 2 metros, 10, 15, 20 o 40 metros, etc., por sólo mencionar algunas.

Se han establecido unos rangos de frecuencias, sin ser exhaustivos, que son los siguientes:

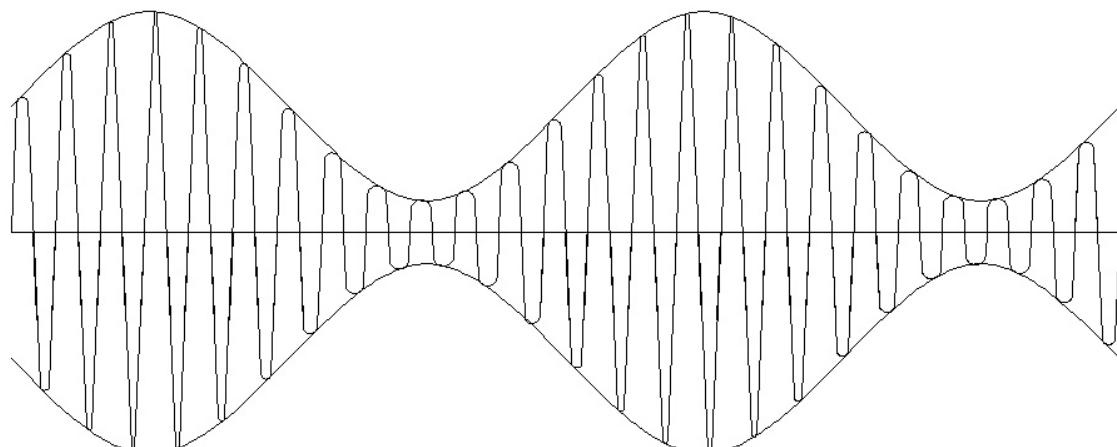
Clasificación de las ondas electromagnéticas		
Denominación	Frecuencia	Longitud en metros
Ondas largas	De 20 KHz. a 550 KHz.	De 15.000 a 545,45
Ondas medias	De 550 KHz a 1,5 Mgc	De 545,45 a 200,00
Ondas cortas	De 1,5 Mgc a 30 Mgc	De 200,00 a 10,00
Ondas ultracortas	De 30 Mgc a 300 Mgc	De 10,00 a 1,00
Microondas	Más de 300 Mgc	Menos de 1,00

Se suele utilizar las expresiones, "decamétricas", "métricas", "centimétricas", etc. para referirnos a las ondas comprendidas entre los diez y cien metros, un metro y nueve o las inferiores a un metro, respectivamente.

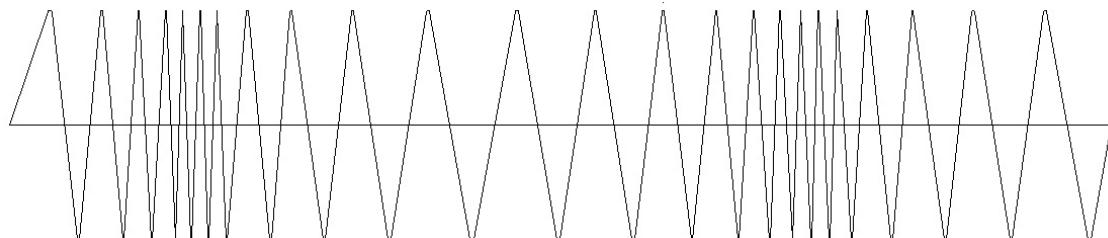
En la imagen inferior vemos la forma de una onda de baja frecuencia modulada.



Y esta es la onda portadora modulada en AM (Amplitud Modulada). Podemos observar como lo que cambia es el parámetro amplitud de ahí procede la expresión AM.



Y este es el aspecto que presenta la onda portadora modulada en FM (Frecuencia modulada). Podemos observar como la amplitud de la onda permanece constante y lo que cambia es la frecuencia. Dicho de otro modo la distancia o longitud entre una onda y la siguiente, de ahí, también, procede la expresión FM.



El espectro continuo de las ondas electromagnéticas se ha dividido en unos segmentos a los que llamamos bandas, que mediante convenios internacionales se han asignado a diferentes grupos de actividades. Así tenemos las bandas reservadas al uso de la radiodifusión, televisión, telefonía, aviación civil, telecomunicaciones, protección civil, radioaficionados, telemundo, etc.

Para el radiocontrol se han asignado unos segmentos muy determinados dentro de diferentes bandas. No todas son legales en todos los países, pues dentro de los convenios internacionales cada país pone sus propias restricciones por diferentes causas.

Hace bastante tiempo se solía utilizar las bandas de 35, 40 o 72 megaciclos, pero según la reciente legislación, ahora sólo es legal utilizar la banda de 35 megaciclos. Esta banda que va desde los 35,010 hasta los 35,200 dispone de 20 canales con una separación de 10 kilociclos, pero, por razones administrativas en España sólo está permitida la emisión desde los 35,030 hasta los 35,200, con lo cual sólo nos han dejado 18 canales.

¿Qué ocurre si navegamos nuestro barco en otra gama de radiofrecuencias no permitidas?

Possiblemente nada. Pero pensemos un momento que en lugar de un barco queremos volar un avión o un helicóptero y que nuestro campo de vuelo se halla a la distancia autorizada de cualquier carretera, pero, para llegar hasta él lo hacemos en nuestro coche por el camino que conduce al campo.

Pensemos que por culpa de alguna interferencia, por nuestra inexperiencia o por cualquier otra causa perdemos el control de nuestro avión o helicóptero y provocamos un accidente con mayor o menor nivel de daños. Si estamos federados nos protege el seguro de responsabilidad civil obligatorio, pero la compañía de seguros al hacer el informe del accidente argumentará, con toda la razón del mundo, que la frecuencia de nuestro equipo no está autorizada en España y por tanto el accidente no queda cubierto por la póliza suscrita.

Sigamos imaginando, nos preparamos para botar nuestro barco en una prometedora mañana de domingo, hacemos los controles previos a la botadura, comprobamos timón, correcto. Ponemos en marcha el motor y por aquellas fatalidades del destino, la hélice de acero inoxidable, latón o bronce, sale despedida porque no habíamos apretado convenientemente la tuerca. El resto nos lo podemos imaginar.

Cuando hablamos de bandas asignadas a un servicio determinado se entiende que este servicio ostenta la titularidad de la banda en exclusiva y por tanto las interferencias que se puedan provocar son de la exclusiva responsabilidad del autor de la interferencia con todas las consecuencias que ello pueda conllevar.

En otros segmentos de bandas la titularidad es compartida con otros servicios y ambos servicios comparten la responsabilidad de las posibles interferencias. Y finalmente hay bandas o segmentos que son libres, es decir no están asignadas a ningún servicio en concreto y al usar esas frecuencias se asume el riesgo de posibles interferencias. Dicho más claramente. NO HAY DERECHO A RECLAMACIÓN.

Mención aparte merece lo que se ha dado en llamar la tecnología 2,4 Ghz. Pero para tratar medianamente bien esta tecnología necesitaríamos varias páginas, lo que sería motivo de un nuevo trabajo.

## Quartze pour la bande des 35 MHz

canal	fréquence d'émission	réf. 16 5430/canal	réf. 16 5432/canal
61	35.010 MHz	17.505 MHz	34.555 MHz
62	35.020	17.510	34.565
63	35.030	17.515	34.575
64	35.040	17.520	34.585
65	35.050	17.525	34.595
66	35.060	17.530	34.605
67	35.070	17.535	34.615
68	35.080	17.540	34.625
69	35.090	17.545	34.635
70	35.100	17.550	34.645
71	35.110	17.555	34.655
72	35.120	17.560	34.665
73	35.130	17.565	34.675
74	35.140	17.570	34.685
75	35.150	17.575	34.695
76	36.160	17.580	34.705
77	35.170	17.585	34.715
78	35.180	17.590	34.725
79	35.190	17.595	34.735
80	35.200	17.600	34.745

En la imagen de arriba vemos la tabla de canales y frecuencias de la banda de 35 megaciclos con el número de canal y la frecuencia de los cristales de recepción y emisión.

Téngase en cuenta que estos datos son los publicados por el fabricante "Multiplex" y casi con toda seguridad no son válidos para equipos de otras marcas.

EN ESPAÑA SOLO ESTÁ PERMITIDO TRANSMITIR EN LOS CANALES DEL 63 AL 80 QUE CORRESPONDE A LAS FRECUENCIAS DE 35,030 HASTA 35,200.

Si tenemos la curiosidad de multiplicar por dos la frecuencia del cristal de la emisora y al resultado restarle la frecuencia del canal del receptor, comprobaremos que siempre nos dará por resultado los consabidos 455 kilociclos.

Concluyendo, salvo que sepamos muy bien que juego de cristales queremos, cuando necesitemos un juego, lo más razonable es pedirlo a nuestro proveedor habitual indicando muy claramente y sin lugar a errores la marca y el modelo de nuestra emisora. Además, indicaremos, también, la marca y modelo del receptor que forma parte de nuestro equipo.

Téngase en cuenta que no todas las emisoras y receptores de diferentes marcas son compatibles entre sí, pues las guerras de marcas, sus políticas de marketing y otras razones comerciales, hacen que expresamente no sean compatibles.

¿Habéis probado conectar un servo marca, por ejemplo, Multiplex en un receptor marca, por ejemplo, Futaba?

Sencillamente no se puede, no por falta de compatibilidad sino porque el conector es diferente. Si abrimos el servo Multiplex, sacamos el cable con su conector original y en su lugar le soldamos un cable con conector Futaba, o viceversa, cuidando, eso sí, que cada cable se conecte correctamente (positivo, negativo más señal) lo conectamos al receptor y desde la emisora emitimos una orden, observaremos como el servo obedece fielmente.

Y es que las estrategias comerciales para conseguir la fidelización del cliente pasan por la calidad o prestaciones del producto y también por estas pequeñas argucias comerciales que la gran mayoría de consumidores, por comodidad o ignorancia, prefieren pagar un poco más y no tener estos problemas.

A mayor abundamiento las primeras consolas de videojuegos que llegaron a España se comercializaron prácticamente a precio de coste, pero, amigo mío, a la hora de comprar los cartuchos de juegos, entonces, como decía mi amigo Argimiro Palacios, Argi para los amigos, te pasaban la dolorosa.

Saludos y como de costumbre a vuestra disposición.