

# DUPLEXERS

Por Ramón Freire Donoso  
CE3BWT

## INTRODUCCIÓN.

Con la pretensión de acercar un poco más de conocimiento a los colegas, he escogido el tema de los Duplexer y desmitificar la poca información que se maneja al respecto por la mayoría. He encontrado apropiado escribir este artículo, el cual está basado en una publicación técnica de la SEITS (south east Iowa technical society). Es una traducción libre y personal de dicha publicación técnica, que me pareció interesante.

## LOS DUPLEXERS

Los Duplexer y sus parientes los Diplexers (que no es lo mismo) son eléctricamente simples filtros. Los Duplexers nos permiten transmitir y recibir con la misma antena al mismo tiempo, rechazando señales no deseadas y en el caso del Diplexer alimentar con dos señales diferentes una misma antena.

Eléctricamente un Duplexer es un dispositivo que usa circuitos resonantes sintonizados muy angostos para aislar un transmisor de un receptor. Esto permite que ambos operen con la misma antena. al mismo tiempo sin que la radiofrecuencia del transmisor afecte al receptor. Debo hacer notar que debe existir una separación de frecuencias que separe la de transmisión de la de recepción. Esto se llama el "split". En 2 metros las repetidoras que usamos tienen un split de 600 khz. En 70 CMS (UHF) el split es de 5 Mhz.

Los Diplexer son frecuente mal llamados Duplexers o mini-Duplexers. La aplicación más común de un Diplexer, es conectar un equipo dual-band que tenga dos salidas de antenas a un coaxial común y a una antena. Otras veces puede utilizarse dos antenas diferentes conectadas a través de un Diplexer, al equipo que sólo tiene un solo conector de antena.

Los Diplexers son completamente diferentes y mucho más simples de construir que un Duplexer que es comúnmente utilizado en una repetidora. Mientras que los Duplexers, usan pasa bandas muy angostos y notches (rechazo de banda), para producir su mágico resultado; un Diplexer es un simple filtro pasa altos y pasa bajos conectados juntos.

## TIPOS DE DUPLEXERS

Hay muchas formas diferentes de construir un Duplexer. Diseños de anillo híbrido, cavidad notch y bandpass / bandreject son ofrecidos comercialmente, donde cada diseño tiene sus ventajas. El anillo híbrido es raramente visto en uso por los radioaficionados. Se basa en una combinación de cavidades y líneas de enfasamiento. El Handbook de la ARRL tiene una excelente explicación de cómo trabajan (por si Ud. está interesado).

Durante varios años, el Handbook propuso planes para un Duplexer diseñado con seis cavidades tipo notch.

El Handbook tiene una excelente explicación de la teoría de éste diseño. Nuestro colega WA0AUQ David Metz, lo construyó y le funcionó bien, aunque encontró que este diseño es extremadamente difícil de sintonizar, ruidoso y no muy estable.

Dice David Metz: ---Sí, sé que algunos se han construido pero ahora hay diseños mejores y más fáciles de sintonizar.-- Mi Duplexer favorito es el Wacom, que se compone de 4 cavidades Bandpass/Bandreject de 8 pulgadas de diámetro. El único problema es su precio (cerca de los US\$ 900 en Estados Unidos, al momento de esta publicación). Por medio del uso de cavidades de alto Q (factor de mérito) y un mejor diseño, Wacom fue capaz de conseguir el rendimiento de 6 cavidades del tipo notch usando sólo 4 cavidades.

### DESCRIPCIÓN DEL DUPLEXER WACOM

Examinando este diseño, se ve que dos de las cavidades están en serie con la salida del transmisor (las de abajo de la Figura 1 donde dice to trans.) y otras dos en serie con la entrada del receptor (mostradas más arriba donde dice to receiver). Las dos mitades se juntan con un conector tipo T, y éste conectado al coaxial a la antena. (ver la Figura 1). Los coaxiales de conexión son de  $\frac{1}{4}$  de onda para las frecuencias.

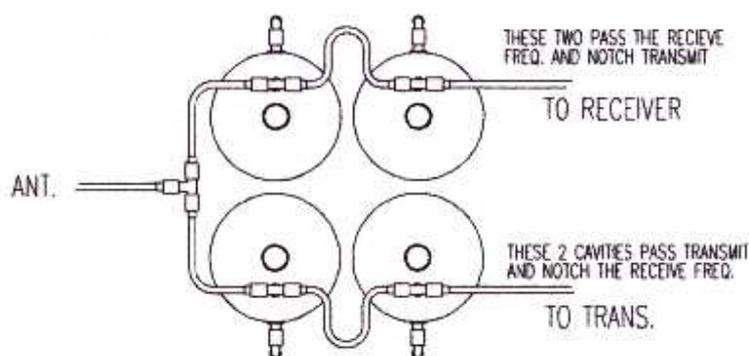


FIG. 1 FOUR CAVITY BP/BR DUPLEXER CONNECTIONS

Cada cavidad tiene dos funciones. Primero debe pasar la señal deseada (la parte bandpass o pasa banda), segundo debe detener o atenuar lo más posible la señal indeseada (con la parte band reject o rechazo de banda o Notch)

La figura 2 muestra la curva de respuesta ideal de una cavidad típica de transmisor. Nótese que pasa casi toda la señal del transmisor que es 145.370 y que presenta un profundo rechazo (notch) a la frecuencia de recepción. (más de 30 decibeles de atenuación) que está 600 khz. más abajo.

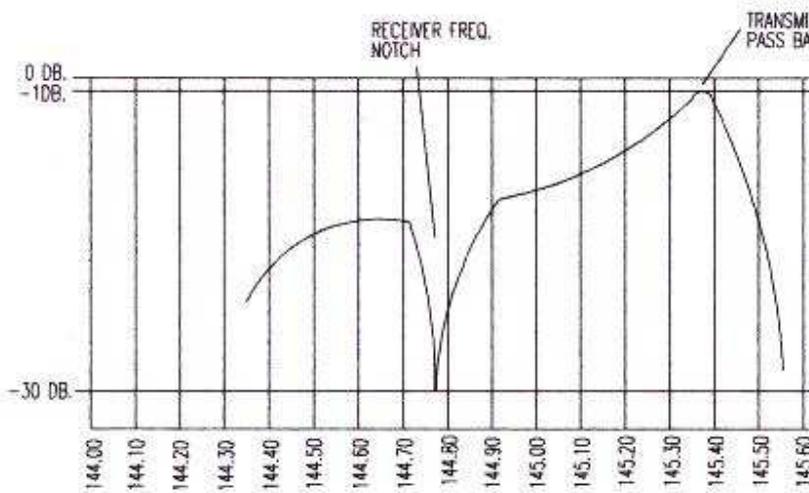


FIG. 2 TRANSMITTER CAVITY ATTENUATION CURVE

Las cavidades del receptor son exactamente iguales a las del transmisor excepto que sus pasabanda están sintonizados en 144.770 que es la frecuencia de recepción. Su frecuencia de rechazo o Notch es la frecuencia del transmisor (145.370), de manera que las cavidades del transmisor mantienen a raya el ancho ruido de la radiofrecuencia del trasmisor lejos del receptor y las cavidades del receptor mantienen atenuada la potencia de radiofrecuencia del transmisor para que no afecte la sensibilidad del receptor. (si no se pone sorda la repetidora).

Nótese en este punto que los transmisores no concentran toda la potencia solamente en la frecuencia seleccionada sino que desparraman ruido blanco en un rango considerable a ambos lados de la frecuencia central (que se escucha como un hiss). Si su transmisor transmite excesivo ruido blanco puede que no lo pueda rechazar del todo. (estos casos son raros). Algunos transmisores irradian menos ruido blanco que otros. Unos pocos transmisores antiguos producían tanto ruido que ellos no podían ser usados en repetidores.

## **FUNCIONAMIENTO**

Cómo hacen esta magia aparente de permitir que Ud. transmita y reciba al mismo tiempo?

Sorprendentemente, una cavidad duplexora se compone simplemente de dos circuitos resonantes sintonizados cuidadosamente, eléctricamente son muy simples. Un circuito sintonizado es el pasabanda y el otro es para la parte del rechazo. Eso es todo lo que es. Dos cavidades son usadas en serie simplemente para obtener mayor aislación entre el transmisor y el receptor. Una sola cavidad no es suficiente. La complejidad de los Duplexores está en el diseño mecánico requerido. Para hacer las cosas más simples, analicemos sólo una cavidad, dado que son todas iguales. Una cavidad es simplemente un circuito sintonizado.

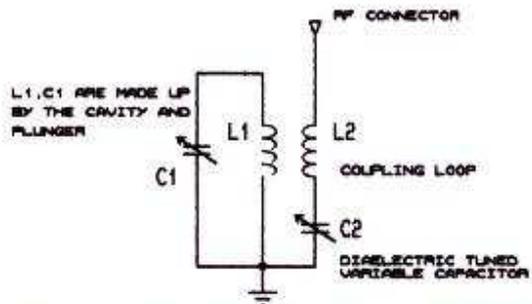


FIG.2 BP/BR CAVITY SCHEMATIC

Observe la Figura mostrada más arriba.. El cuerpo de la cavidad y su línea sintonizada interior forman el circuito paralelo sintonizado compuesto por L1 y C1. El acoplamiento de la radiofrecuencia dentro de la cavidad es efectuado por L2 y C2.

Ahora, ¿porqué hay que usar una cavidad tan grande cuando una bobina y un capacitor para un circuito sintonizado de 2 metros puede hacerse muy pequeño? La respuesta está en la calidad del circuito sintonizado, es decir su Q o factor de mérito. Nuestra pequeña bobina y el capacitor tienen un pequeño Q, muy alejado de lo requerido para un Duplexer., esto significa que no puede ser sintonizado lo suficientemente angosto, su bandpass máximo será muy ancho y también su rechazo. Ahora bien, una cosa interesante ocurre cuando hacemos el diámetro de la bobina más grande y reducimos sus vueltas.

Cuando aumentamos el valor del capacitor C1, de manera que aún sintonice a la misma frecuencia el Q aumenta y la sintonía es más filosa. Si continuamos este proceso nuestra bobina llega a ser una línea de  $\frac{1}{4}$  de onda sintonizada. El capacitor es reemplazado por un gran tanque metálico (la cavidad). Mientras más grande la línea sintonizada y la cavidad, es más alto el Q. Una cavidad de 8 pulgadas de diámetro, tiene un Q más alto que una de 3 pulgadas y trabajará mejor.

En la Figura N°4, nuestro circuito sintonizado se transformó en una cavidad de 25 pulgadas de largo y unas 8 pulgadas de diámetro. La línea sintonizada es un tubo de cobre de 1 3/8" de diámetro que puede ser variado en su largo entre 18 y 23 pulgadas. Variando la longitud de este tubo (a menudo llamado émbolo), se logra que la cavidad resuene en la frecuencia del bandpass. Son dos tubos de cobre uno dentro del otro. El tubo interior esta sujeto por un tornillo largo que al moverlo desde arriba (la perilla de ajuste) es capaz de entrar y /o salir .Es como un gamma match con un dieléctrico de bronce. Aún tenemos que acoplar la energía de radiofrecuencia dentro de nuestra cavidad. La radiofrecuencia entra por un conector (rf connection en la figura 4). L2 es nuestro loop de alambre de cobre o lámina que cae hacia abajo dentro de la cavidad desde la parte de arriba dando

una pequeña vuelta.(rf coupling loop) El tamaño o el loop y su posición determina la cantidad de acoplamiento de energía dentro de la cavidad.

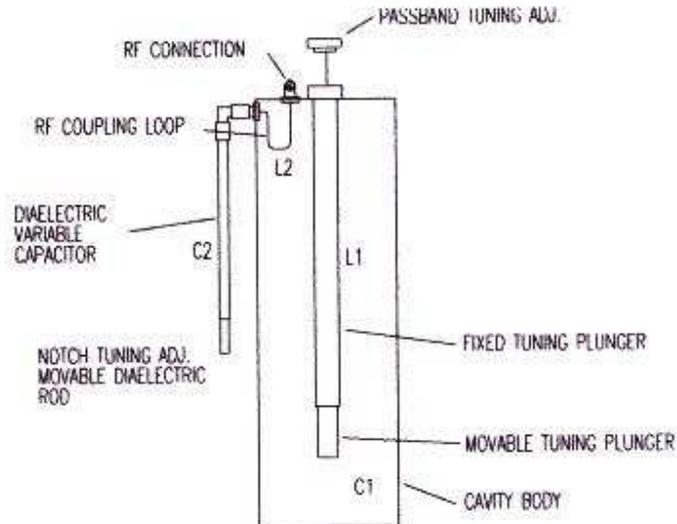


FIG. 4 BP/BR CAVITY CONSTRUCTION

Un último refinamiento es C2, el capacitor resonante del loop. Fija la frecuencia Notch de las cavidades. Conjuntamente L2 y C2 forman un circuito resonante serie.

## HAY ALGÚN PLOMERO EN CASA?

Así que ahora tenemos un diseño eléctrico muy simple.

Todos nuestros problemas de ahora en adelante son de naturaleza mecánicos. Primero que todo, tenemos que fabricar el cuerpo de la cavidad. Cobre, aluminio o latón trabajarán bien! Cualquier tarro que presente baja pérdida eléctrica. Tiene que ser cerrado en la parte inferior. Una simple tapa remachada también servirá.

El émbolo de sintonía puede hacerse con un tubo de cobre de 18 pulgadas de largo por 1 3/8 pulgadas de diámetro externo. Dentro de él, otro tubo de sintonización de 20 pulgadas hecho de cobre que puede moverse hacia arriba o hacia abajo por medio de una varilla roscada de 1/4 de pulgada y que pueda deslizar mas o menos 3 pulgadas dentro y fuera.

El problema aquí es la conductividad eléctrica del émbolo. La junta entre los dos tubos tiene que ser hecha de bronce. Todas las piezas bañadas en plata. El baño en plata es súper importante. El cobre desnudo tiene mucha pérdida a la frecuencia de 2 metros como para hacer una cavidad. Además la superficie del cobre que es por donde viaja la radiofrecuencia, se oxida haciendo más pobre la

conexión entre la sección fija y la que se mueve en el émbolo. El resultado es una cavidad casi imposible de sintonizar debido al ruido generado por la parte móvil.

El émbolo sintonizable y todas las partes de radiofrecuencia dentro de la cavidad deben estar bañadas en plata. El plateado realmente hace la diferencia! Recuerde que Ud. debe mantener el total de las pérdidas de su Duplexer menor que 3 decibeles. Las pequeñas mejoras en eficiencia son muy importantes.

El último ítem es el capacitor C2. Un simple capacitor variable de aire sería muy crítico para sintonizar. La Wacom resolvió éste problema al utilizar un ingenioso capacitor que trabaja variando la constante dieléctrica. Volviendo a nuestra teoría básica, recuerde que hay dos cosas que determinan el valor de un capacitor. Una es el tamaño de las placas y la otra es la calidad de la constante dieléctrica del material aislante entre ellas.

El capacitor de Wacom consiste en una sección de 11" de largo por 1/2" de diámetro interior. Está hecha de tubo de latón conformando una placa del capacitor. La otra placa está hecha de alambroón de cobre de 1/8" de diámetro externo que va por dentro del tubo. Un tubo de plástico separa ambas placas, se desliza por dentro del tubo de latón y por fuera del alambroón de cobre. Variando su posición cambia la constante del dieléctrico del capacitor y así su capacitancia. (Ud. está variando la cantidad del dieléctrico de plástico reemplazando el dieléctrico de aire). Este capacitor y el loop de acoplamiento conforman el circuito resonante serie (refiérase a la figura 3). La frecuencia de resonancia de este circuito determina la frecuencia de nuestra cavidad notch o band reject. Esta gran belleza del diseño Wacom, es simple y de ajuste suave de la frecuencia notch por medio de este capacitor variable. En otros diseños de Duplexers que he trabajado, por ejemplo el de 6 cavidades del Handbook la sintonía del pasabanda y del notch son muy difíciles.

## **ESTABILIDAD DE LA TEMPERATURA**

Otro problema es la estabilidad de la temperatura. Si el Duplexer está en un área que no tiene temperatura controlada, el metal se expande y se contrae con los cambios de temperatura. Esto perfectamente puede sacar de sintonía ligeramente a las cavidades. Wacom evita esto al usar una varilla de sintonización hecha de una aleación especial y muy cara llamada INVAR., que compensa los cambios de temperatura. No tengo información de estas varillas.

Si Ud. construye Duplexers y los mantiene en un ambiente de temperatura controlada, no hay necesidad de estas varillas de INVAR.

Si Ud. sintoniza sus Duplexers a 72 grados Fahrenheit y los mantiene siempre operando en las cercanías de esa temperatura, entonces no hay problema. En la práctica hemos encontrado que nuestros Duplexers hechos en casa trabajan bien en un ambiente que no se calienta, o a lo menos suficientemente bien ya que los usuarios no se han quejado.

## **ACOPLAMIENTO.**

Otro tema importante del diseño de un Duplexer es el acoplamiento entre sus varios componentes. Esto se hace con cables coaxiales cortados a  $\frac{1}{4}$  lambda. Si Ud. está trabajando con cavidades que fueron usadas en otros servicios y en otras frecuencias, será necesario cambiar los cables por nuevos coaxiales calculados para la frecuencia que Ud. va a trabajar. Sintonice las cavidades y pruébelas. Si no puede conseguir suficiente aislación, contacte al fabricante para conseguir ayuda. O siga adelante y fabrique un nuevo juego de cables coaxiales. Una onda de radiofrecuencia viajando por un coaxial es más corta que cuando viaja por el espacio libre. La diferencia entre el largo de onda en el espacio libre y el largo de onda en el coaxial es llamado el factor de velocidad. El Handbook tiene cartas donde da el factor de velocidad de varios cables y explica cómo calcular el largo de  $\frac{1}{4}$  de onda.

En todo caso sepa que  $\frac{1}{4}$  de onda es igual a  $75 \cdot v_p / f$  donde  $v_p$  = velocidad de propagación y  $f$  = la frecuencia en Mhz.

### **Ejemplo:**

Si la  $v_p$  del cable es 0.66 por ciento,  $75 \cdot 0.66 = 49.5$  y si la frecuencia es 146 Mhz queda  $49.5 / 146 = 0.3390$  mt. o 33.90 cm. Medidos desde la punta del conector hasta la punta del otro conector.

He tenido coaxiales de Duplexers que han fallado así que siempre es útil saber como reemplazarlas. La elección de cambiar cables coaxiales es importante. El coaxial debe ser de doble malla y 100% de cobertura. No tiene que ser del tipo Heliax que son sólidos (son muy difíciles de trabajar), Si puede encontrar los de doble malla y dieléctrico de teflón son los mejores. Los cables modernos con una malla de Mylar trabajan muy bien. No tienen que ser de gran diámetro si Ud. está transmitiendo bajo 100 watts. El largo del coaxial es tan corto que las pérdidas no son de consideración.

## **CONECTORES**

Ponga atención a los conectores de los Duplexers. Muchos de los misteriosos problemas de ruido que he escuchado en repetidores han sido rastreados hasta los conectores de los coaxiales. Mis favoritos son los tipo que se usan en los Wacom.

He tenido menos problemas de ruido que fueron fácilmente solucionados al limpiarlos y apretarlos. Si tuviera que elegir pongo tipo N o BNC en Duplexers nuevos. Los tipo N son los mejores y bien valen la pena pagar más por ellos. Tienen menores pérdidas y nunca he tenido un problema de ruido con ellos. Asegúrese que los conectores hayan sido fabricados en USA y que sean del tipo plateado. Hay una diferencia en la calidad del conector. Sea súper cuidadoso con conectores de UHF de codo. Hemos tenido serios problemas con ese tipo de conectores. Muchos trabajan mejor como choques de rf que conectores con eso le

digo todo.. Evite trabajar con ellos a toda costa. Algunos de ellos que hemos probado introducen pérdidas severas en el sistema.

## **SINTONIZACIÓN**

Sintonizar un Duplexer de diseño band pass / band reject es fácil comparado con los Duplexers convencionales tipo notch. El émbolo de la cavidad pone la frecuencia del pass band. Aquí se desea que pase la mayor cantidad de señal de radio frecuencia posible a través del Duplexer. El capacitor de sintonía C2 pone la frecuencia notch (de rechazo). Claramente marca el paso y el rechazo (notch) de las frecuencias en cada cavidad. Recuerde que ellas son opuestas para transmisión y recepción.

### **Ejemplo:**

Cavidades del receptor: Pasan 144.770    Rechazan 145.370  
Cavidades del trasmisor: Pasan 145.370    Rechazan 144.770

La forma más fácil de sintonizar cavidades es con el monitor de servicio equipado con generador de rastreo y con un analizador de espectro. Si es posible consígase con alguien que tenga ese tipo de equipo, para que le haga la sintonía de los Duplexers. Si esto no es posible, no se desespere. Métodos de ajuste sin equipo profesional son posibles y funcionan bien. Sólo debe hacerlo más cuidadosamente. Ud. va a necesitar alguna fuente de señal estable y un método para medir la amplitud de la señal de radio frecuencia.

Un generador de señales que pueda poner al menos un volt de radiofrecuencia es muy útil. Puede hacer un barrido de frecuencias para ver donde están pasando las señales. Usando un transmisor con baja potencia, puede medir la frecuencia de paso con un wattmetro. Para la sintonía fina del rechazo puede usar un voltmetro de radio frecuencia. También podría usar un receptor equipado con un meter que muestre unidades S y con un atenuador a la entrada.

Esto trabajaría perfecto para la sintonía de los notches (rechazos). Solamente tenga cuidado con la cantidad de radiofrecuencia que le inyecta al Duplexer mientras lo sintoniza no sea cosa que dañe el receptor cuando encuentre el punto del pasabanda. Si Ud. va a construir su propia punta de prueba para medir radiofrecuencia vea el Handbook de la ARRL para mayores detalles. Constrúyalo sobre un conector que Ud. pueda poner directamente a los cables del Duplexer.

Para el voltmetro de radio frecuencia utilice un instrumento análogo de aguja o un simple micro amperímetro. Es más fácil sintonizar los peaks y los rechazos con un instrumento análogo que con uno digital.

## **UNO A LA VEZ**

Parta con solo una cavidad conectada. Encienda la salida de radiofrecuencia totalmente en el generador de señales y varíe la frecuencia, haciendo un barrido arriba y abajo hasta que vea un peak de señal en su voltmetro de radiofrecuencia o el S meter.

Recuerde que al mover el émbolo hacia adentro baja la frecuencia de paso (passband). Moviendo el émbolo hacia fuera sube la frecuencia . Ponga la salida del generador para mantener el instrumento (meter), en la porción lineal de la escala.

Todo lo estamos haciendo es un sintonía gruesa primero. De manera que no intente que quede perfecto de inmediato Conecte la próxima cavidad en la cadena y repita el proceso para poner la frecuencia de paso (passband). En seguida ponga el segundo set de cavidades para su frecuencia de paso (bandpass). Aquí es fácil que uno se confunda y porqué es importante tener las frecuencias marcadas en las cavidades. Haciendo eso se evitará un montón de problemas.

Cuando ambos set de cavidades, las de transmisión y las de recepción hayan pasado la sintonización gruesa de las frecuencias que debe pasar (bandpass), conecte todos los cables en el conjunto de Duplexers. Conecte el wattmetro y el dummy load (carga fantasma), tal como indica la Figura 5 a la conexión de la antena. Ponga su equipo en baja potencia a la frecuencia de paso (bandpass) de las cavidades del transmisor. En mi ejemplo es 145.370 Mhz. Presione el Ptt y sintonice las cavidades para máxima salida.

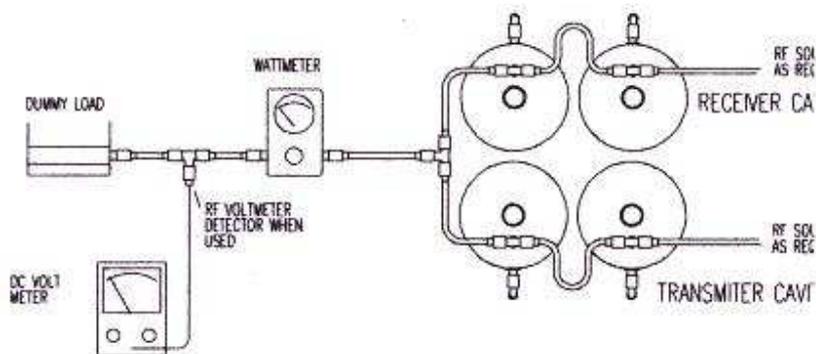


FIG. 5 TUNING SET UP

Conecte el transmisor a las cavidades del receptor y ponga la frecuencia a 144.770 y ajuste para máxima salida de radio frecuencia en el wattmetro. Nótese que si por accidente la frecuencia de rechazo esta demasiado cerca de la frecuencia de paso Ud. no podrá sintonizar la cavidad adecuadamente. Si Ud. sospecha esto, mueva la barra de ajuste de la frecuencia de rechazo levemente e intente de nuevo el ajuste del pasabanda.

### SINTONIZANDO LOS RECHAZOS (NOTCHES)

Sintonizar los rechazos o notches es un poco más difícil. Ud. necesita un detector ampliamente más sensitivo que el Wattmetro que hemos usado hasta ahora. Si su generador de señales puede poner suficiente radiofrecuencia en las cavidades

una simple punta de prueba de radiofrecuencia servirá. Remueva el wattmetro y reemplácelo por un conector tipo barril. Sus cavidades estarán ahora apropiadamente terminadas con una carga de 50 ohms y Ud. podrá medir el voltaje de radiofrecuencia a través de esa carga. Pruebe con baja potencia. Cuidado su equipo no verá 50 ohms de carga cuando la señal esta rechazada. Asegúrese que pueda soportar un alta Roe.

Presione el Ptt del transmisor y ajuste la primera cavidad para rechazar apropiadamente la frecuencia de rechazo. Puede que tenga que aumentar la sensibilidad del meter o la potencia de radiofrecuencia para ver claramente el rechazo (notch). Debería ser muy agudo Repita este proceso en la próxima cavidad. Mas allá de cambiar la frecuencia el procedimiento será el mismo para el otro set de cavidades.

Si todo va bien. Ud. tendrá el 99% de la sintonía lista. Vuelva atrás y retoque la sintonía del passband y de los rechazos una vez más. Calcule la pérdida sufrida al pasar por las cavidades. No debería ser menos de 2 decibels y no más 3 db. Si la pérdida es excesiva revise la sintonización de nuevo. Si ese no es el problema, revise la pérdida ofrecida por los cables coaxiales y los conectores.

La principal razón que prefiero el diseño band pass / band reject es su facilidad de sintonizarlo. Rara vez necesita retoques cuando están conectados al repetidor En algunos casos muy raros Ud. puede querer retocar el ajuste notch (rechazo) para eliminar el último trazo de desensitización (ruido blanco en el receptor).Necesitará una señal no modulada recibida en su antena para hacer esto y un medidor de AC conectado en el parlante monitor de la repetidora. .

Yo utilizo una antena látigo en mi monitor de servicio para producir esta señal débil .Ajuste la salida hasta que Ud. tenga cerca de 10 db. con el squelch abierto. Encienda y apague el transmisor y observe la diferencia en el ruido. Cualquier hiss adicional que se escuche cuando el transmisor esté encendido y con el Ptt apretado es ruido blanco desde el transmisor, Si Ud. estima que es demasiado, retoque los rechazos.

## **RUIDO BLANCO**

La mayoría de los repetidores que he escuchado tienen un sonido de ruido blanco audible en el receptor. Perfección es difícil de conseguir en el mundo real. Preocúpese solamente. Si el nivel de ruido es alto y que impide que las señales débiles no activen la repetidora que Ud. normalmente esperarías escucharlas bien.(en este caso decimos que la repetidora está sorda). Por ejemplo, supongamos que Ud. puede escuchar claramente una señal de 0.25 microvolts con el transmisor apagado. Con el trasmisor encendido el nivel del ruido aumenta en 2 db.

Esto Ud. podrá aceptarlo después que sintonice todo. Si la misma señal desaparece completamente cuando el transmisor se enciende, entonces la desensitización es excesiva y todavía hay problemas en el sistema.

RAMON FREIRE DONOSO  
CE3BWT

PIRQUE 22 de Junio de 2011