

Notas sobre Software Defined Radio

Observe sus señales I y Q

Original Steve Ireland (VK6VZ) y Phil Harman (VK6APH) "Watch your I & Q Signals"

Artículo aparecido en RadCom Enero 2007

Traducido al español por Pedro Colla (LU7DID/H)

Todas las *Software Defined Radios* (SDR, Radio Definida por Software en español) que hemos visto hasta ahora, desde el SDR-1000 de Flex-Radio hasta los distintos receptores del tipo Soft Rock hasta el método sin IF de G3PLX tienen una cosa en común, todos ellos procesan dos señales, una llamada "I" por *In-Phase* (en Fase) y otra llamada "Q" por *Quadrature* (en Cuadratura).

Porque necesitamos dos señales cuando quizás a primera vista solo necesitamos una de ellas?. En este artículo usaremos una serie de diagramas para mostrarle porque son necesarias ambas.

La **Figura 1** muestra un diagrama en bloques de un receptor de conversión directa.

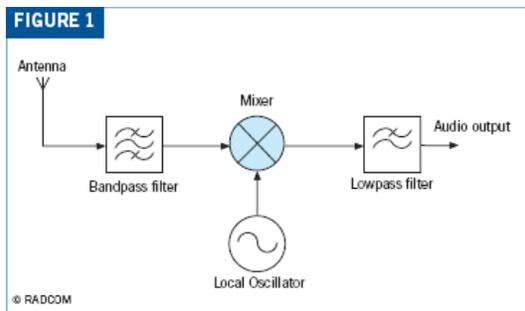


FIGURA 1

Las señales tomadas por la antena son filtradas primero para asegurar que solamente aquellas dentro de la banda de frecuencias de interés pasan. Luego las señales son aplicadas a un mezclador. La otra señal que ingresa al mezclador es un oscilador local, que en el caso de una señal de CW debe ser unos pocos Hz diferente de la señal deseada para que nos dé la nota de batido audible que nuestros oídos necesitan para descifrar la señal. Finalmente, la salida del mezclador es filtrada para preservar la diferencia entre la señal de entrada y la señal del oscilador local. Dado que esta señal resultante está en el rango de frecuencias de audio puede ser pasada a una placa de sonido en

nuestra PC para continuar su procesamiento.

Las SDR que consideramos tienen dos cadenas de recepción idénticas. Como puede verse en la **Figura 2**; estas tienen un segundo mezclador que toma la misma señal de antena la que tiene también un oscilador local en la misma frecuencia que el anterior y posee un filtro a su salida también igual al primer caso.

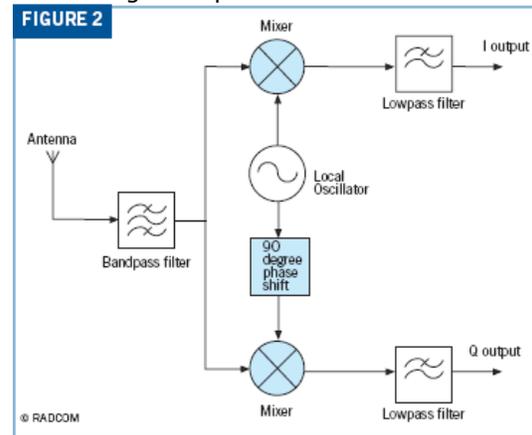


FIGURA 2

La salida de esa segunda cadena es aparentemente la misma señal de audio que provee la primera. Pero mirando con más atención estas dos señales de audio no son la misma. Si mira con atención la **Figura 2** verá que la conexión del oscilador local del segundo mezclador está pasando por un bloque marcado como "90 degree phase shift" (filtro defasador de 90 grados).

Esto significa que mientras la *frecuencia* del oscilador local que alimenta al segundo mezclador es exactamente la misma que la del primer mezclador su fase ha sido corrida en 90 grados. Este corrimiento, o diferencia, de fase en 90 grados estará también presente en cualquier señal que pase por el segundo mezclador. Por lo tanto la señal de audio de salida del segundo mezclador también estará desplazada 90 grados en fase respecto a la que produce el primer mezclador.

Un osciloscopio de dos canales conectado a la salida de los dos mezcladores mostraría

un trazo similar al de la **Figura 3A**. Estas dos señales pueden también ser representadas como vectores con iguales amplitudes y separados por un ángulo de 90 grados entre ellos (**Figura 3B**).

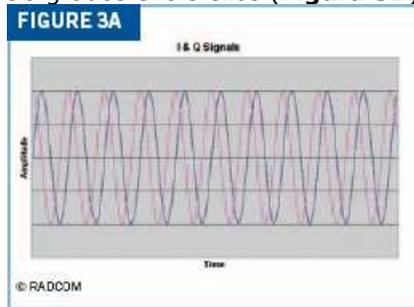


FIGURA 3A

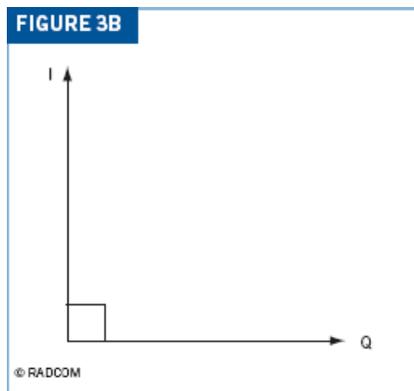


FIGURA 3B

Estos vectores pueden verse como "rotando" a la diferencia en frecuencia entre la señal de entrada a los mezcladores y la correspondiente al oscilador local. Pero la **Figura 3B** muestra una "snapshot" (vista instantánea) en un momento en el tiempo, por lo que aparece como estacionaria. En general la representación de las señales I y Q como vectores es muy útil.

Las dos señales de audio se dicen que están "en cuadratura" o en "cuadratura de fase" y son denominadas por convención "I" (por In-Phase o En Fase) y "Q" (por cuadratura). La convención es que la primera señal que alcanza un pico positivo es designada como "I" ^[1] Este par I y Q es también referido como una "señal compleja" ^[2].

¹ NdT: Esta convención es arbitraria, en la práctica cualquiera de las dos señales puede ser denominada "I" y la restante "Q".

² NdT: La acepción "compleja" no proviene de ser "difícil" sino que es debido a que

Pero para que tomarse todas las molestias de generar dos señales defasadas en 90 grados una de la otra?.

Se le atribuye a Gerald Youngblood (K5SDR), uno de los promotores iniciales del SDR e inventor del módulo conocido como Flex-Radio SDR1000, el haber dicho "denme un par I/Q y podré demodular cualquier señal".

Esta frase ha sido repetido numerosas veces con los años pues es, literalmente, la razón para tomarse todas las molestias. Si tiene un par I/Q puede demodular cualquier señal (AM, FM, SSB, CW, PSK31, etc) así como cualquier sistema de modulación que cualquiera pueda imaginar en el futuro!!!

Similarmemente, en el caso de transmitir una señal basta generar las señales I y Q apropiadas para transmitir cualquier forma de modulación!!

Demodulación AM

Miremos ahora algunos sistemas de modulación para ver como pueden demodularse si están disponibles las señales I y Q y con que ventajas.

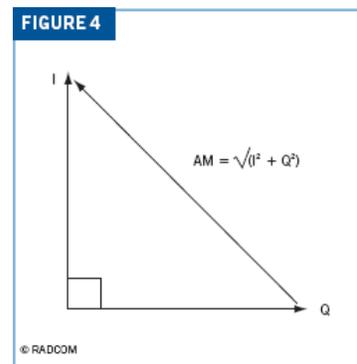


FIGURA 4

Para demodular una señal de AM simplemente recurriremos al famoso teorema de Pitágoras sobre los triángulos, el cuadrado de la hipotenusa (el lado más largo del triángulo rectángulo) es igual a la suma de los cuadrados de los otros dos lados. Recurriendo a la Figura 4 esto equivaldrá a la raíz cuadrada de la suma de I al cuadrado más Q al cuadrado ^[3] como se muestra en la **Figura 4**.

matemáticamente la señal puede manipularse como un número complejo en el formato $I+jQ$.

³ NdT: Nótese que mientras los mezcladores proporcionan señales I y Q la operación matemática con sus magnitudes para obtener la

$$AM = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

Tanto el valor del vector I como de Q varia en magnitud (módulo) con la modulación en amplitud de la señal de entrada. La hipotenusa formada por los vectores I y Q también variará con la modulación. La matemática es simple y puede ser implementada como una operación simple. A esta altura se estará preguntando porque si I y Q son señales moduladas en si mismas porque simplemente no tomamos una de ellas y medimos su magnitud directamente, esto nos debería dar la modulación original. Sin embargo, hay una buena razón para no hacerlo de esta forma y tomarse el trabajo de utilizar I y Q en cambio.

Supongamos que hemos mezclado la señal de entrada a una frecuencia dentro del rango que puede manejar la placa de sonido de la PC, digamos 10 o 20 Khz.

Asumamos que la mezcla há sido convertida a 10 Khz y es modulada por una señal sinusoidal de 1Khz. Como resultado tendremos a la entrada de la placa de sonido una señal que lucirá como la **Figura 5A**.

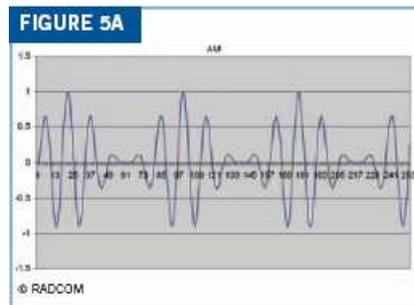


FIGURA 5A

Dentro de la placa de sonido convertiremos la señal analógica en una serie de muestras representadas por los puntos en la **Figura 5B**.

Podemos entonces calcular la magnitud de cada muestra lo que resulta en una señal como la que puede ver en la **Figura 5C**.

Si nosotros alimentáramos esta señal directamente al *convertor Digital/Analógico* (Convertor D/A) en la placa de sonido

señal remodulada es realizada por el software en la PC que implementa el SDR. La placa de sonido se utiliza mayormente para obtener una versión digital (procesable por el programa) de la señal analógica (provista por los mezcladores).

terminaríamos con un componente muy fuerte en 10 Khz. Por supuesto que siempre podemos procesar la señal digitalmente con un filtro pasa-bajos antes de enviarla a la salida de la placa de sonido; pero veamos primero que pasa si utilizamos las señales I y Q tal como hemos propuesto antes.

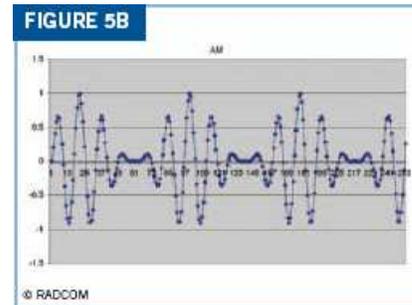


FIGURA 5B

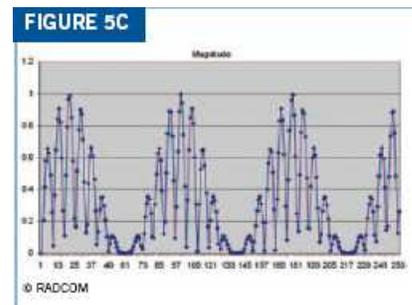


FIGURA 5C

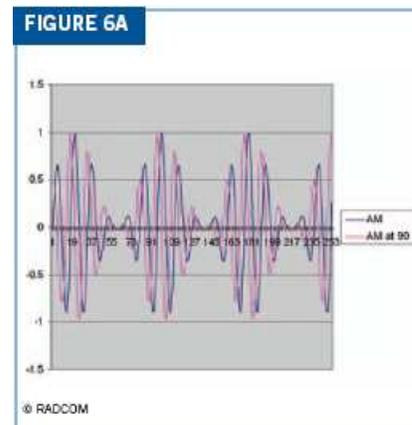


FIGURA 6A

La Figura **6A** muestra las señales I y Q siendo alimentadas a la placa de sonido, cada portadora de 10 Khz está 90 grados fuera de fase con la otra. Como en el caso anterior se muestrea la señal dentro de la placa de sonido lo que resulta en los

valores como los mostrados como puntos negros en la **Figura 6B**.

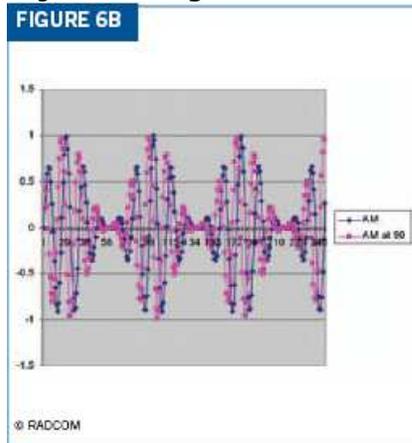


FIGURA 6B

Si ahora aplicamos el teorema de Pitágoras como propusimos antes las señales resultantes de esa operación matemática pueden verse en la **Figura 6C**.

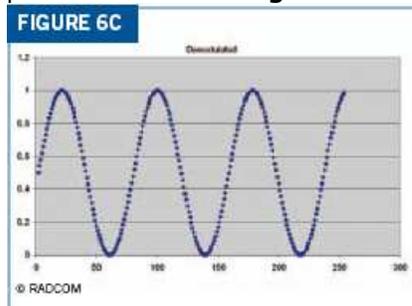


FIGURA 6C

Noten que la componente de portadora de 10 Khz no está más presente en la señal de salida. Mediante el uso de las señales I y Q hemos efectivamente eliminado la necesidad de filtrar la señal demodulada!! Lo que es incluso más útil es observar que hubiera pasado si hubiéramos mezclado la señal original a una FI aún más baja, digamos 1 Khz. Puesto que la portadora hubiera sido indistinguible en frecuencia de la señal típica de AM hubiera sido imposible aplicar filtro alguno a la señal remodulada!! Sin embargo, cuando se utiliza la técnica previamente explicada con las señales I y Q la frecuencia portadora no aparece en la señal demodulada. En el extremo esta técnica trabaja incluso si se utiliza 0 Hz como FI (i!).

Demodulación de CW y SSB

Miremos ahora como demodular señales de CW y SSB. Nosotros podríamos

simplemente sintonizar el oscilador local de la Figura 1 para que nos dé un tono de batido para la recepción de CW o la frecuencia de la portadora suprimida en el caso de la señal de SSB. Si bien esto funcionaría nuevamente hay beneficios en usar las señales I y Q en cambio.

Hagamos un análisis más detallado. Si asumimos que la señal deseada de CW es en 14.101 Mhz y queremos obtener un tono de batido de 1 Khz entonces tendremos que sintonizar el oscilador local en 14.100 Mhz puesto que

$$14.101 \text{ Mhz} - 14.100 \text{ Mhz} = 1 \text{ Khz.}$$

Sin embargo, si nosotros tenemos una señal adicional no deseada en 14.099 Mhz entonces también producirá un tono de batido de 1 Khz puesto que:

$$14.100 \text{ Mhz} - 14.099 \text{ Mhz} = 1 \text{ Khz}$$

Si en cambio tomamos las señales I y Q que resultan de aplicar una señal de 14.101 Mhz al receptor SDR en Figura 2 veremos dos señales sinusoidales de 1 Khz con 90 grados de diferencia de fase entre ellas (ver **Figura 7A**).

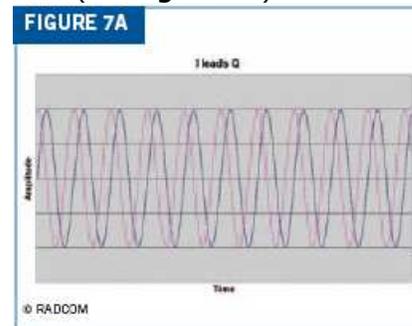


FIGURA 7A

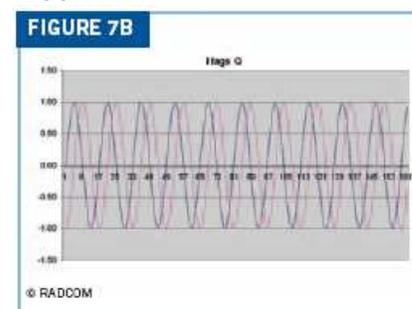


FIGURA 7B

Nótese que la señal I está en avanzada (lidera) a la señal Q en el tiempo.

Si ahora introducimos la señal no deseada en 14.099 Mhz veremos nuevamente las dos ondas sinusoidales de 1 Khz separadas en fase 90 grados (ver **Figura 7B**). Pero en este caso la señal I retrasará respecto de la señal Q, hecho que nos da un elemento para remover la señal no deseada usando el siguiente procedimiento.

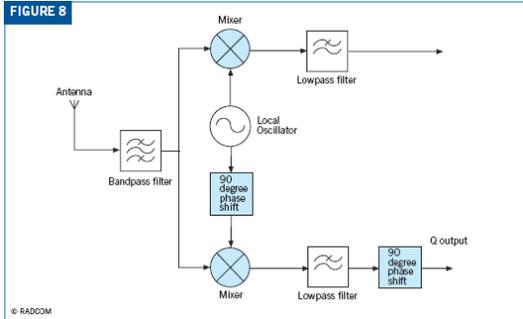


FIGURA 8

En la **Figura 8** las señales I y Q han sido pasadas por dos filtros pasa-bajos. Cada uno tiene la misma respuesta en frecuencia pero la fase de todas las señales pasando por el filtro correspondiente a la señal Q son corridas 90 grados.

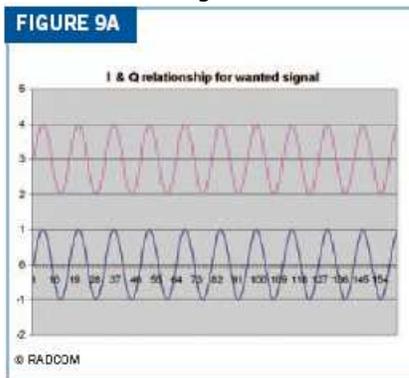


FIGURA 9 A

En la **Figura 9A** se muestra el resultado de I y Q para la señal deseada de 14.101 Mhz mientras que la **Figura 9B** muestra el resultado de las señales I y Q para la entrada no deseada en 14.099 Mhz.

Si las señales I y Q son sumadas el resultado será una señal del doble de la amplitud de I o Q en el caso de la señal deseada (**Figura 9C**) y la cancelación (amplitud cero) de la señal no deseada (**Figura 9D**).

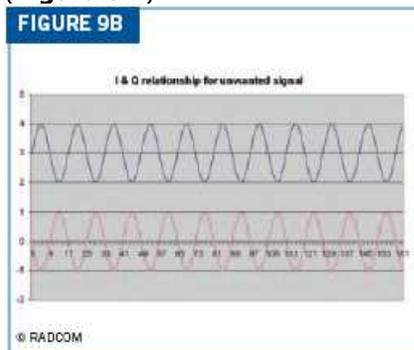


FIGURA 9B

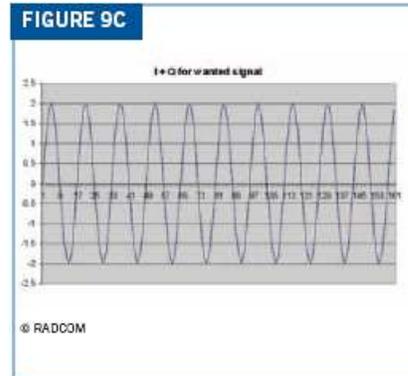


FIGURA 9C

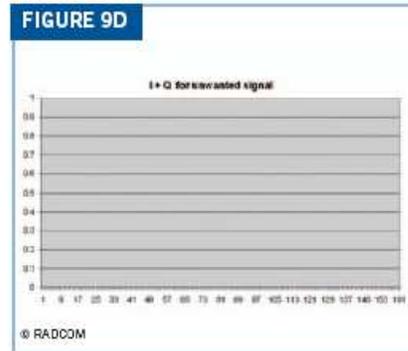


FIGURA 9D

Hemos producido entonces un receptor que responde a señales por sobre la frecuencia del oscilador local o *Banda Lateral Superior* (Upper Side Band) y rechaza las que están por debajo o *Banda Lateral Inferior* (Lower Side Band); si en lugar de sumar las señales I y Q las restamos tomamos la banda lateral opuesta.

Modulación de Fase y FM

Una vez que se disponen las señales I y Q una señal modulada en fase puede demodularse usando

$$PM = \text{tg}^{-1}\left(\frac{Q}{I}\right) = \text{arctg}\left(\frac{Q}{I}\right)$$

Y una señal de FM podrá ser demodulada mediante

$$FM = \frac{(Q_n \times I_{n-1}) - (I_n \times Q_{n-1})}{(I_n \times I_{n-1}) + (Q_n \times Q_{n-1})}$$

Donde las señales subfijadas como n corresponden a la muestra corriente mientras que las subfijadas como n-1 corresponden a la muestra anterior.

Como puede verse el procesamiento de las señales I y Q es fundamental para la operación de un *Software Defined Radio* (SDR).