

# Nueva técnica para medidas de retardo de grupo sin acceso al OL

Rohde & Schwarz España

Artículo cedido por —  
 Laura Gonzalo, Product  
 Manager Rohde &  
 Schwarz España



## Problema y enfoque

Las demandas en sistemas modernos para la transmisión de señales de banda ancha con alta calidad de señal se hacen más rigurosas tanto en usos civiles como militares. Aspectos, como una característica de atenuación constante y una fase lineal en función de la frecuencia en la banda útil, son cruciales para el funcionamiento de estos sistemas.

Especialmente en aplicaciones de microondas, una señal banda base de banda ancha al final del transmisor se convierte en una señal de alta frecuencia. Al final del receptor, la señal de alta frecuencia pasa a banda base. El retardo de grupo relativo o absoluto es una medida de la linealidad de fase en función de la frecuencia. Por tanto, la medida del retardo de grupo absoluto o relativo en mezcladores o convertidores es de mayor importancia.

El retardo de grupo relativo se puede caracterizar utilizando la técnica del mezclador de referencia o mezclador de oro, siempre que esté accesible el oscilador local del mezclador o al menos la frecuencia de referencia. Sin embargo, numerosas aplicaciones requieren diferentes enfoques, especialmente en el campo aeroespacial y de defensa, donde no se puede acceder ni al oscilador local ni a la frecuencia de referencia.

Aquí se describe una técnica desarrollada por Rohde & Schwarz para los analizadores de redes de la familia R&S® ZVA: permite medidas de retardo de grupo de alta precisión en convertidores y mezcladores incluso sin tener acceso al oscilador local o señal de referencia. Esta técnica usa una señal de dos tonos para estimular el mezclador o el convertidor. Se mide la diferencia de fase entre estas dos portadoras en la entrada y en la salida del DUT para calcular el retardo de grupo a partir del cambio de fase causado por el dispositivo bajo prueba (DUT).

En contraste con los métodos utilizados en análisis de redes hasta ahora, la precisión de la medida es independiente de la estabilidad del oscilador local interno del dispositivo.

## Métodos comunes de medida de retardo de grupo

### Medida de fase de parámetros S

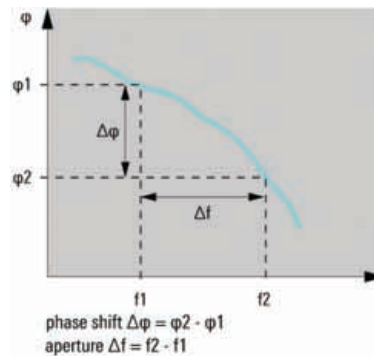
El retardo de grupo se define como la derivada negativa de la fase del DUT en función de la frecuencia [ver referencia 1].

$$\tau_{gr} = \frac{1}{360^\circ} \cdot \frac{d\phi}{df}$$

Los analizadores de redes vectoriales miden el cociente de diferencia de fase del coeficiente de transmisión S21 en vez de la derivada.

$$\tau_{gr} = \frac{1}{360^\circ} \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta f}$$

Esto ofrece una buena aproximación del retardo de grupo deseado si el cambio de fase en el intervalo de frecuencia  $\Delta f$  no es excesivamente no lineal.  $\Delta f$  se define como la apertura.



El método basado en la medida de fase de parámetros S proporciona resultados muy precisos debido a que la precisión de la medida del analizador de redes se puede

incluso mejorar usando técnicas de calibración apropiadas. Por tanto, este método es ideal para dispositivos sin conversión en frecuencia, tales como amplificadores, filtros u otros componentes pasivos.

Sin embargo, en el caso de dispositivos con conversión en frecuencia, como mezcladores, la fase entre la señal de entrada y salida no se puede medir directamente debido a que las frecuencias son diferentes. Además, la fase de la señal de salida está influenciada, no sólo por el dispositivo, sino por la variación de fase y frecuencia del oscilador local (OL).

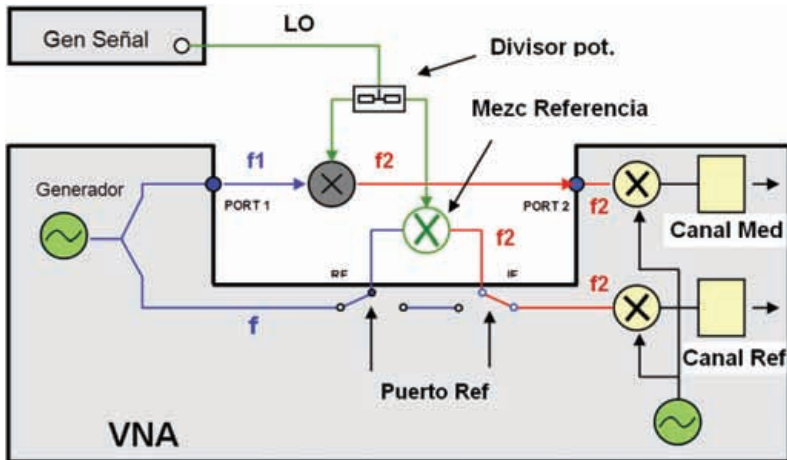
### Técnica de mezclador de referencia/oro

Por los motivos mostrados hasta ahora, las medidas de retardo de grupo y fase en mezcladores con acceso al OL se pueden llevar a cabo usando la técnica de mezclador de referencia o técnica de mezclador oro [ver referencia 2]. El mezclador de referencia obtiene el mismo OL que el mezclador del DUT para convertir la señal de referencia del analizador de redes a la señal de IF del DUT. Esto compensa los efectos de frecuencia o fluctuaciones de fase del OL interno del DUT.

El resultado obtenido es la fase y el retardo de grupo relativo al mezclador de oro que fue medido para la calibración en vez del DUT. El mezclador de oro normalmente se asume que es ideal, por lo que la fase y el retardo de grupo del DUT se puede comparar con él. En muchas aplicaciones no es el retardo de grupo absoluto lo más importante, sino las fluctuaciones del retardo de grupo alrededor de un valor constante en el rango de frecuencias de interés.

Si para la calibración se utiliza un mezclador con retardo de grupo constante, la desviación relativa del retardo de grupo al mezclador de oro normalmente se corresponde

Figura 1. Definición del desplazamiento de fase y de la apertura de un DUT



**La técnica de dos tonos del R&S® ZVA**

Figura 2. Configuración para medidas de mezclador usando la técnica de mezclador de referencia.

La clave de la nueva técnica: El DUT se estimula mediante una señal de dos tonos. El analizador de redes mide la diferencia de fase entre las dos portadoras en la entrada y la salida del DUT. Similar a la técnica de medida clásica de parámetros S, el retardo de grupo se calcula a partir de estas diferencias de fases y el offset de frecuencia de portadora.

Figura 4. Medida de retardo de grupo usando la técnica de dos tonos.

con la desviación del retardo de grupo absoluto con suficiente precisión. La Fig. 3 muestra el retardo de grupo de un mezclador medido mediante técnica vectorial. El retardo de grupo absoluto es 320 ps y la desviación estándar 15 ps.

Si el OL del DUT no está accesible, la técnica del mezclador de referencia normalmente da como resultado medidas de retardo de grupo con estabilidad insuficiente. Por lo tanto, un método común usa una señal modulada en amplitud, frecuencia o fase que pasa a través del DUT y se demodula posteriormente. El siguiente paso es medir la fase entre la señal demodulada y la señal de modulación original para determinar  $\Delta\phi$  en el punto de frecuencia de interés. En este caso, la apertura es dos veces la frecuencia de modulación.

Otra propuesta es aplicar la técnica de mezclador de referencia e intentar simular el OL del DUT. Se

utiliza un generador externo como OL para el mezclador de referencia. Su frecuencia se ajusta hasta que la variación de fase de la señal de salida es mínima. Incluso una pequeña variación de frecuencia y fase del OL interno influye en el resultado de medida.

Este fenómeno causa problemas especialmente en convertidores con múltiples etapas de conversión. La nueva técnica de R&S está basada en un enfoque completamente diferente que evita los problemas asociados con los métodos descritos hasta ahora.

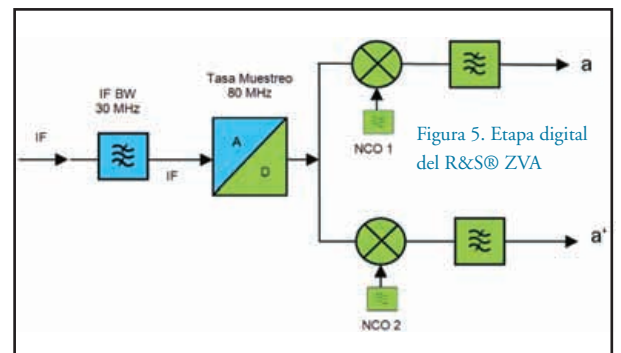
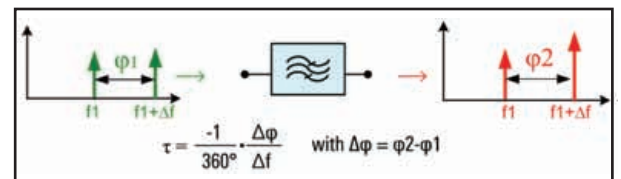


Figura 5. Etapa digital del R&S® ZVA

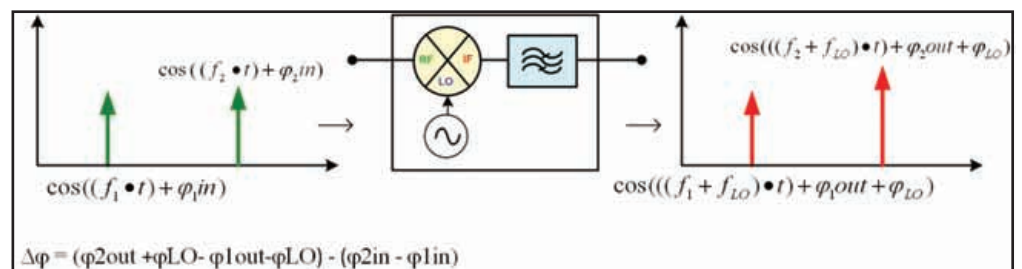


Figura 6. Medida de retardo de grupo en dispositivos convertidores de frecuencia usando la técnica de dos tonos.

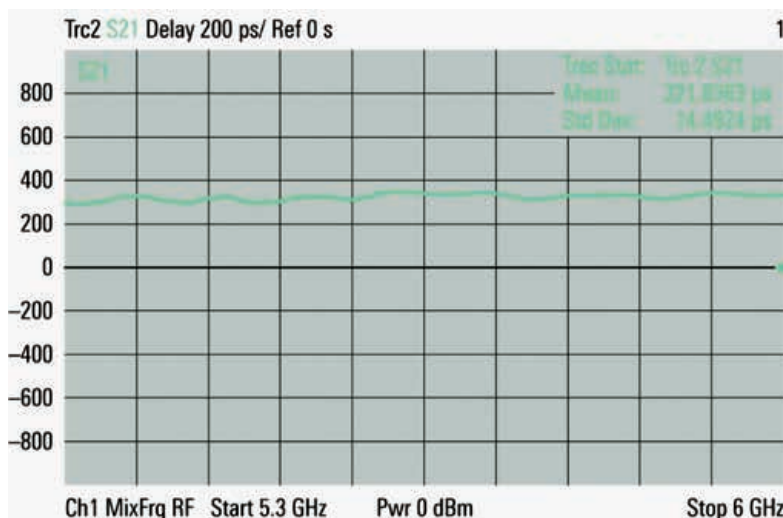


Figura 3. Retardo de grupo absoluto de un mezclador.

El offset de frecuencia  $\Delta f$  entre las dos portadoras, es la apertura.

Para medir la fase entre dos portadoras con frecuencias diferentes, Rohde & Schwarz tiene el R&S® ZVA con una etapa especial. Aquí, la señal en IF se digitaliza, se convierte a "0" mediante un oscilador local digital (oscilador controlado numéricamente, NCO) en una etapa de mezclado digital y así se filtra digitalmente. Cada receptor no tiene uno, sino dos etapas de mezclado y filtrado digital con dos NCOs independientes. Estos NCOs presentan el mismo offset de frecuencia que dos portadoras de RF de dos tonos. Por tanto, en cada etapa se pueden determinar

simultáneamente las relaciones de magnitud y fase de dos portadoras y usarlas para la medida de retardo de grupo.

Este método también funciona con dispositivos conversores de frecuencia debido a que las desviaciones de fase y frecuencia del OL interno del DUT se cancelan uno al otro cuando se calcula la diferencia de fase de las portadoras.

Además del retardo de grupo, el R&S® ZVA también calcula la fase y desviación relativa a partir de la fase lineal mediante la integración del retardo de grupo, y la derivada del retardo de grupo mediante la diferenciación del retardo de grupo.

Figuras. 7 y 8. Diagrama de bloques y setup de medida para medida de retardo de grupo mediante la técnica de dos tonos

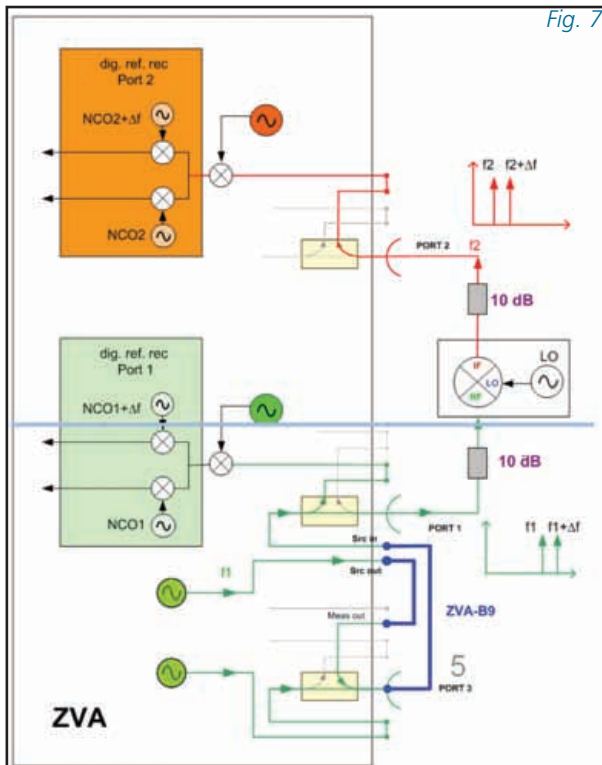


Fig. 7

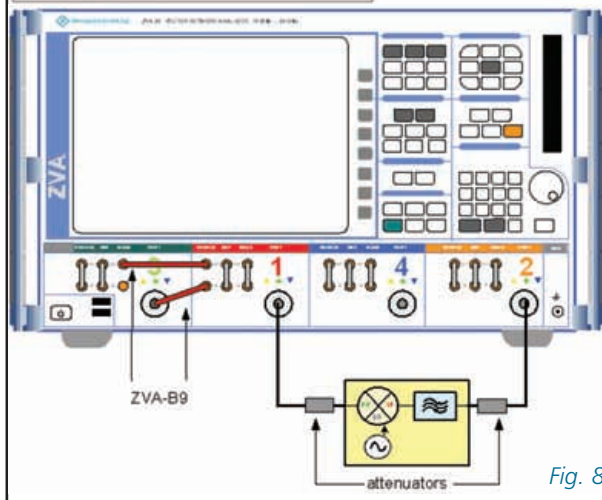


Fig. 8

### El setup de medida en detalle

#### Offset de frecuencia preciso

Para obtener resultados precisos, la señal de dos tonos se debe generar con un offset de frecuencia preciso. Una solución ideal para esto es usar las dos fuentes internas del R&S® ZVA. Esto asegura que el offset de frecuencia entre las dos portadoras de RF y los osciladores digitales (NCO) es idéntico.

Usando uno de los acopladores del analizador de redes (puerto 3 en Fig. 7), las dos portadoras se combinan en una señal de dos tonos y alimenta de nuevo el setup

Si es suficiente medir el retardo de grupo relativo o la desviación del retardo de grupo de un valor absoluto, no se requiere un retardo de grupo conocido mientras que sea constante. El algoritmo de calibración entonces asume que el retardo de grupo de este mezclador es „0” por lo que la medida revela el retardo de grupo referenciado a este mezclador.

#### Ejemplos de medida

##### Medida en dispositivos no conversores de frecuencia

Para verificar la nueva técnica, se mide un dispositivo sin conversión en frecuencia, como un filtro o un cable,



Figura 9. Calibración usando un mezclador conocido

de medida (puerto 1 en Fig. 7). Esto significa que la señal de dos tonos se encamina al DUT mediante el receptor de referencia en el puerto 1.

La señal de salida del mezclador se evalúa mediante el receptor en el puerto 2.

#### Calibración

Para la calibración se utiliza un mezclador con retardo de grupo conocido. Este mezclador se puede caracterizar de antemano, por ejemplo usando el método de medida que la opción R&S® ZVA-K5 ofrece para determinar la fase absoluta y el retardo de grupo de mezcladores.

y los resultados obtenidos mediante el método del parámetro S se comparan con los de la técnica de dos tonos. Se hace evidente que la técnica de dos tonos proporciona resultados que difieren de los resultados de medida por el método de parámetro S pero sólo unos cien picosegundos.

- Ejemplo 1: Medida filtro (ver figura 10)

- Ejemplo 2: Medida Cable (ver figura 11)

#### Medida en un convertidor con conversión de frecuencia simple

El siguiente ejemplo investiga los efectos que la inestabilidad de frecuencia del OL tiene sobre la medida de retardo de grupo de un converti-

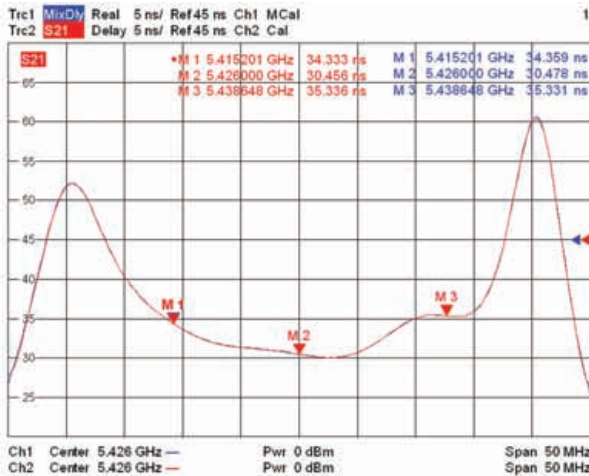
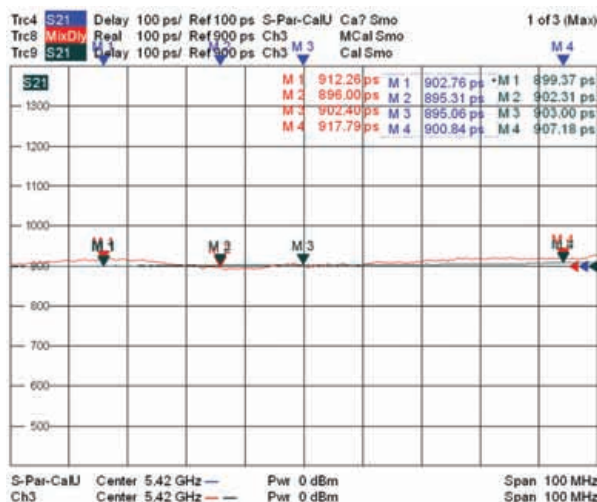


Figura 10. Comparación de medidas de retardo de grupo. Azul: técnica de tonos. Rojo: Técnica parámetros S

dor usando la técnica de dos tonos. El ancho de banda de medida es 1 kHz. En el ejemplo 2, la frecuencia del OL se modifica en 1 kHz, mientras que el OL en el ejemplo 3 se modula con una frecuencia de 10 kHz. Se puede ver en los ejemplos 2 y 3, que las desviaciones e inestabilidades de frecuencia tienen una influencia considerable en la medida de pérdida de conversión tal como era de esperar: El error de medida es 20 dB. Sin embargo, esto no tiene impacto sobre el resultado de medida de retardo de grupo porque los cambios del OL tienen un efecto idéntico en ambas portadoras de la señal de dos tonos. Debido a que la técnica de dos tonos usa la diferencia de fase de los dos tonos para determinar el retardo de

Figura 11. Comparación de medidas de retardo de grupo. Azul: Parámetro S, calibración completa de dos puertos. Rojo: Técnica dos tonos. Verde: parámetro S normalizado.



grupo, compensa las desviaciones e inestabilidades de la frecuencia o fase del OL. Ejemplo 1: Medida de retardo de grupo y pérdidas de conversión (ver figura 12) Ejemplo 2: Medida de convertidor con una desviación de frecuencia de OL de 1 kHz (ver figura 13)

Ejemplo 3: Medida de convertidor con 10kHz frecuencia de modulación FM de OL (ver figura 14)

### Resumen

En muchos casos, las medidas de fase relativa y retardo de grupo en componentes con conversión de frecuencia sin acceso al OL eran posibles sólo si los OL internos de los dispositivos cumplían requisitos de alta estabilidad. Desviaciones de fase o frecuencia debidas a derivas, ruido de fase o modulación de frecuencia considerables limitan la precisión de los métodos disponibles.

Debido a la nueva técnica de dos tonos que Rohde & Schwarz ha implementado en los analizadores de redes de alta gama R&S® ZVA, las medidas de retardo de grupo sin pérdidas en prestaciones se pueden llevar a cabo incluso en convertidores con osciladores locales modulados en frecuencia. El R&S® ZVA estimula el DUT con una señal de dos tonos y mide las diferencias de fase de dos portadoras en la entrada y la salida. Una arquitectura especial con dos etapas mezcladoras digitales en cada receptor permite la medida de fase requerida en dos señales con frecuencias diferentes.

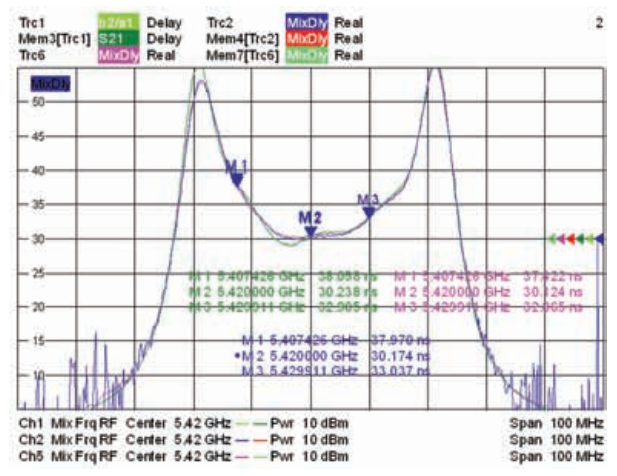


Fig. 12 Azul: pérdidas de conversión Rojo: retardo de grupo del convertidor

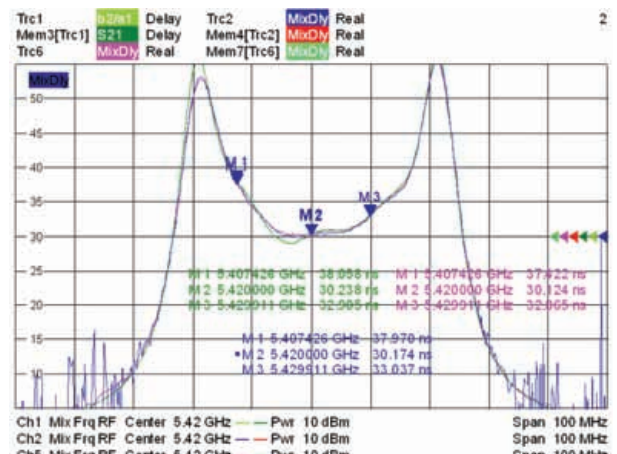
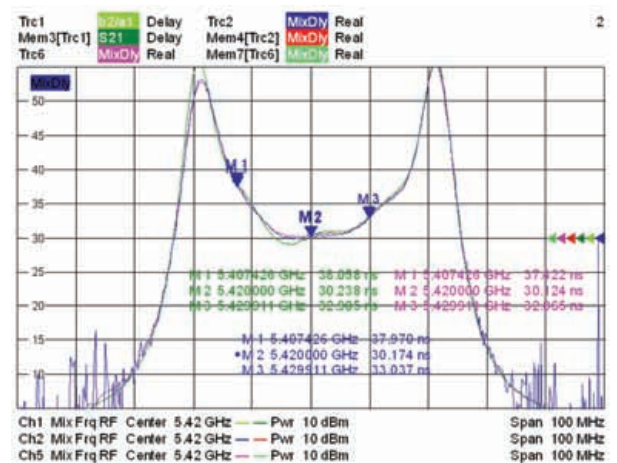


Fig. 13 Azul: pérdidas de conversión Rojo: retardo de grupo de un convertidor con una desviación de frecuencia de 1 kHz



### Referencias

[1] Michael Hiebel, "Fundamentals of Network Analysis", Rohde & Schwarz March 2007 ISBN - 10 3939837067. [2] Dr. Olaf Ostwald, "Group and Phase Delay Measurements with Vector Network Analyzer ZVR", Rohde & Schwarz Application Note 1EZ35\_1E, July 1997

Fig. 14 Azul: pérdidas de conversión Rojo: retardo de grupo de convertidor con una modulación de frecuencia 10kHz