

Especificaciones del Analizador de Espectro



DT-MJ-010-04 | Julio 04

1

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com



Especificaciones del Analizador de Espectro

Agenda:

- ◆ Generalidades
- ◆ Especificaciones

Las hojas de características de un analizador de espectro son las herramientas más adecuadas para comparar diferentes equipos. Para decidir si un determinado analizador de espectro cumple las necesidades de una aplicación determinada, primero es necesario entender las especificaciones para poder decidir qué modelo se adecúa más a nuestras necesidades. Este documento pretende mostrar los parámetros clave de un analizador de espectro como ayuda para comprender mejor su funcionamiento.

Comprender la hoja de características de un analizador de espectro es importante para decidir si éste es el más adecuado para una aplicación en particular.

Los analizadores de espectro ofrecen una gran variedad de funciones. Por ejemplo, en los analizadores de espectro de R&S, los equipos de gama alta como el FSU y el FSQ, y los equipos de propósito general, como el FSP, ofrecen prácticamente las mismas funciones en la mayoría de las aplicaciones. La diferencia entre los equipos en la mayoría de los casos, está en las especificaciones, que son totalmente diferentes.

Para comprender las diferencias, primero hay que entender las especificaciones técnicas de la hoja de características. En las páginas siguientes, se ofrece una guía para entender la hoja de características de un analizador de espectro y poder decidir entre diferentes instrumentos.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Generalidades

- ◆ ¿Cuáles son las especificaciones más importantes de un analizador de espectro?
- ◆ ¿Cuál es el rango de frecuencias?
 - ◆ El analizador de espectro tiene que cubrir todas las frecuencias de interés de la aplicación, por ejemplo hasta el 10º armónico.
- ◆ ¿Cuál es el rango de niveles? (Del nivel de ruido al nivel máximo)
 - ◆ El nivel máximo de entrada debe ser superior al nivel de salida del DUT, mientras que el nivel de ruido debe ser lo suficientemente bajo para medir señales con niveles bajos.
- ◆ ¿Cuál es el rango dinámico necesario?
 - ◆ El analizador de espectro debe ser capaz de medir señales espúreas o armónicos de bajo nivel mientras que al mismo tiempo en la entrada hay señales con niveles altos.
- ◆ ¿Cuál es la precisión de medida?
 - ◆ La precisión de la medida siempre es importante, y es un parámetro difícil de encontrar en las hojas de especificaciones ya que suele representarse utilizando varios parámetros. Hay que decidir qué parámetro se aplica a la medida en cada caso para realizar un análisis de los errores.

¿Qué especificaciones de las hojas de características son importantes para su aplicación?

Por supuesto, el rango de frecuencias del analizador de espectro tiene que cubrir las frecuencias de la aplicación. Por ejemplo, en el caso de telefonía móvil, el rango de frecuencias iría desde varios cientos de MHz hasta 3GHz. Pero hay que tener en cuenta que en muchas aplicaciones es necesario medir armónicos, por lo que el rango de frecuencias puede ir hasta las microondas. También puede ocurrir que sea necesario realizar medidas en banda base o en frecuencia intermedia (baja frecuencia).

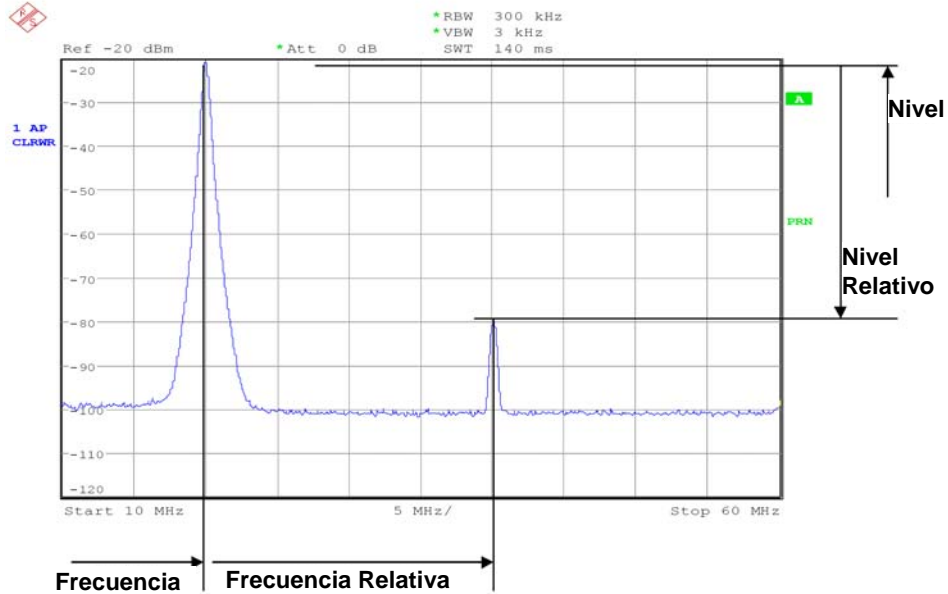
En el eje de nivel, el analizador debe ser capaz de manejar señales de alta potencia. Hay que asegurarse de que la potencia total de entrada no excede los límites marcados en las especificaciones. Para medidas con sensibilidad, el nivel de ruido interno del analizador de espectro tiene que ser lo suficientemente bajo. Es en este aspecto donde destacan los analizadores de R&S. Hay que tener en cuenta que una señal que tenga un nivel superior al nivel máximo de entrada se puede atenuar fácilmente, pero es más difícil ganar sensibilidad ya que hay que utilizar preamplificadores que son bastante más caros que un atenuador.

El rango dinámico es una característica clave que siempre da lugar a debate. Hay que asegurarse de ver sobre qué rango dinámico estamos hablando. Hay varias definiciones de rango dinámico, tal y como veremos a continuación.

Tampoco hay que olvidar que una medida puede ser errónea debido a la falta de precisión del instrumento. Ésta es una característica clave que puede obtenerse a partir de la hoja de características.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Generalidades



DT-MJ-010-04 | Julio 04

4

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com



La precisión es un aspecto muy importante. A todos los usuarios de un analizador de espectro les interesa conocer la precisión de las medidas que están realizando.

Se puede dividir la precisión en varias clases:

- Precisión de frecuencia (todo lo relacionado con el eje de frecuencias).
- Precisión de nivel (todo lo relacionado con el eje de nivel).

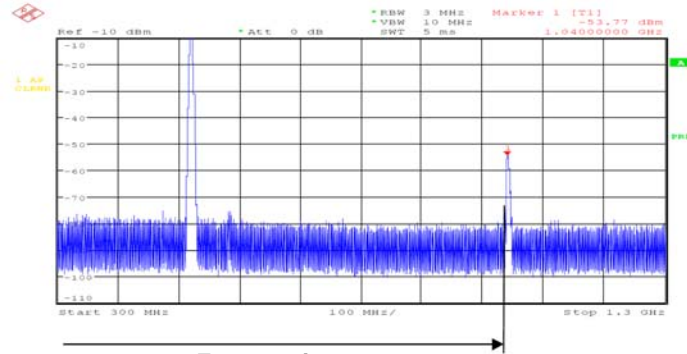
Para la precisión de nivel, hay dos términos:

- Medidas de nivel absolutas
- Medidas de nivel relativas

La precisión relativa normalmente es mejor que la absoluta ya que se ve afectada por menos fuentes de error. Un ejemplo de precisión absoluta es la precisión en la medida de una señal con una marca. Si se usa una delta para medir el nivel de un armónico relativo a una señal, normalmente el nivel absoluto del armónico no es de mucho interés.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Precisión de frecuencia



Frecuencia

Internal reference frequency (nominal)	
Aging per year ¹⁾	1 × 10 ⁻⁶
Temperature drift	1 × 10 ⁻⁶
with option FSP-B4 (OCXO)	
Aging per year ¹⁾	1 × 10 ⁻⁷
Temperature drift	1 × 10 ⁻⁸
Count accuracy (S/N > 25 dB)	±(frequency × reference frequency + ½ (last digit))

Primeramente echemos un vistazo a la precisión de frecuencia.

Los analizadores de espectro modernos utilizan un principio de funcionamiento basado en la utilización de osciladores enganchados en todas las etapas. Por ello, la precisión de frecuencia está relacionada con la precisión de la referencia de frecuencia. En la hoja de características, se puede encontrar un bloque en el que se define esta precisión de la referencia, de tal forma que la precisión de la medida de frecuencia se puede calcular a partir de este dato.

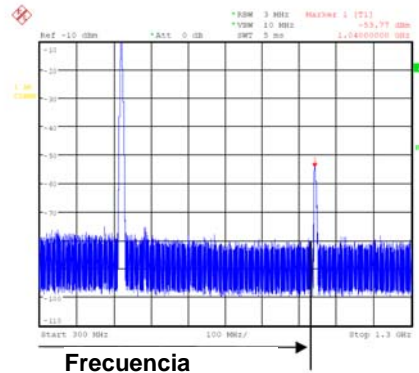
La precisión de frecuencia depende principalmente de la referencia interna de frecuencia, que en la mayoría de los casos es un OVCO. Esto da como resultado una precisión de unos 100Hz para una señal de entrada de 1GHz ($1\text{GHz} \times 10^{-7} = 100\text{Hz}$).

Nota: Este valor no muestra la precisión de la lectura con los marcadores. Este número sólo es aplicable en medidas de frecuencia o con utilizando el contador. En una medida típica utilizando un barrido, la medida de frecuencia se realiza mediante la utilización de marcadores.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Precisión de frecuencia

Frequency display	with marker or frequency counter
Marker resolution	span/500
Max. deviation (sweep time >3 x auto sweep time)	\pm (frequency x reference frequency + 0.5% x span + 10% x resolution bandwidth + 1/2 (last digit))



Ejemplo:

◆ ¿Cuál es la precisión de la medida?

◆ Ejemplo: Frecuencia 1GHz, Span 10MHz, RBW 300kHz (automático)

$$\begin{aligned} \text{◆ Máxima Desviación} &= 1\text{GHz} * 2 * 10^{-7} + 0.5\% \text{ de } 10\text{MHz} + 10\% \text{ de } 300\text{kHz} \\ &= 200\text{Hz} \quad + 50\text{kHz} \quad + 30\text{kHz} \\ &= 80.2\text{kHz} \end{aligned}$$

DT-MJ-010-04 | Julio 04
6

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com



En el caso de un barrido en frecuencia utilizando una marca, la precisión se define mediante la suma de varias fuentes de error. Estos errores incluyen la precisión de la frecuencia, pero más importante es la resolución limitada de la pantalla (los puntos de la traza) y las marcas, el error del span y la precisión del filtro de resolución (RBW).

Información adicional a las especificaciones:

-La resolución de la marca depende del número limitado de puntos de medida de la pantalla. La marca salta de punto a punto, no se pueden leer valores que se encuentren entre dos píxeles (incluso aunque se aumente el número de puntos del barrido).

-La precisión del barrido se debe al hecho de que el barrido se realiza mediante un número de segmentos no lineales. El número de segmentos depende del span, de tal forma que se ha de mantener la precisión del mismo.

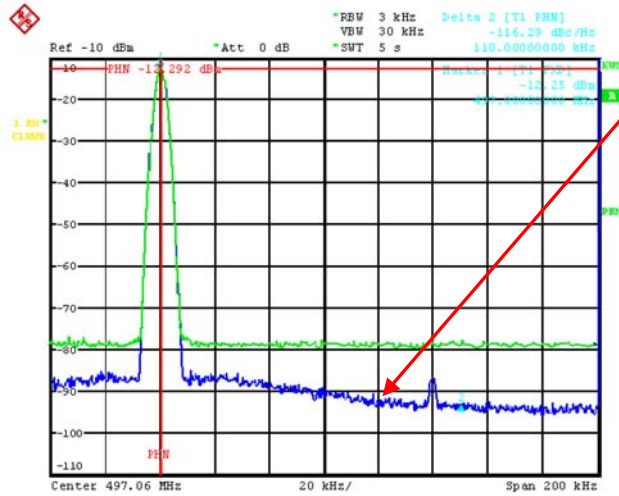
-La precisión del filtro de resolución (RBW) es debido a que la respuesta de los filtros analógicos se corrige mediante ajustes internos para corregir la respuesta en frecuencia y de nivel. Existen ligeros errores después de la calibración debido a la deriva por temperatura y al envejecimiento.

El ejemplo muestra la influencia de los diferentes parámetros en la precisión total:

- la aportación principal está causada por el span y el filtro de resolución (RBW), por lo que se puede despreciar el error de la referencia de frecuencia.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Ruido de fase



Ruido de fase:

- ◆ Parámetro clave
- ◆ Determina la clase de un analizador de espectro

Spectral purity (dBc (1 Hz))	
SSB phase noise, f = 500 MHz	
Carrier offset	
100 Hz	<-84, typ. -90
1 kHz	<-100, typ. -108
10 kHz	<-106, typ. -113
100 kHz ²⁾	<-110, typ. -113
1 MHz ²⁾	<-120, typ. -125
10 MHz	typ. -145

Otro de los parámetros que define la calidad de un analizador de espectro es el ruido de fase. El ruido de fase se manifiesta como un incremento en el ruido de fondo en las cercanías de la señal, y puede ocultar otras señales más pequeñas.

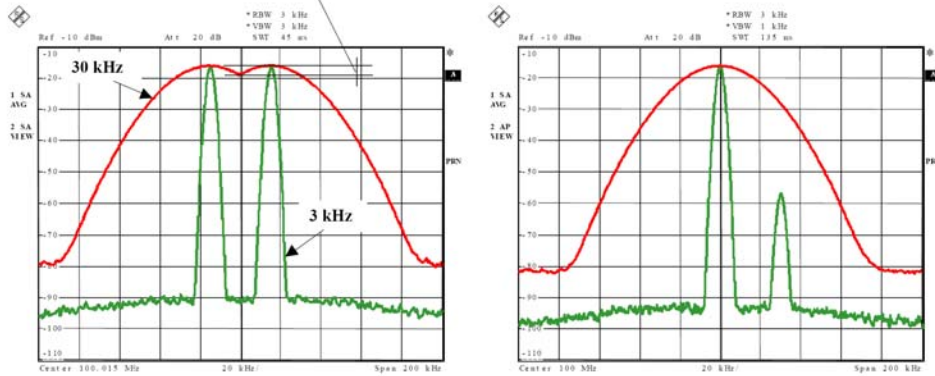
El ruido de fase se especifica relativo a una señal, y sólo se puede medir con la presencia de una señal con un nivel lo suficientemente elevado como para sobresalir del ruido de fondo. Las especificaciones para el ruido de fase normalmente están normalizadas para un ancho de banda de 1Hz. Para calcular el rango dinámico disponible, hay que corregir el dato del ruido de fase con un factor de corrección para el filtro de resolución (RBW) $\rightarrow 10 \cdot \log[\text{RBW}/1\text{Hz}]$

Especificaciones del Analizador de Espectro

Resolución en frecuencia

Espaciado entre portadoras = RBW →

Caída de 3dB



La resolución en frecuencia queda definida por el RBW (Filtro de resolución)

- La resolución en frecuencia queda definida por el ancho de banda a 3dB del filtro de IF (=RBW)

DT-MJ-010-04 | Julio 04

8

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com

 **ROHDE & SCHWARZ**

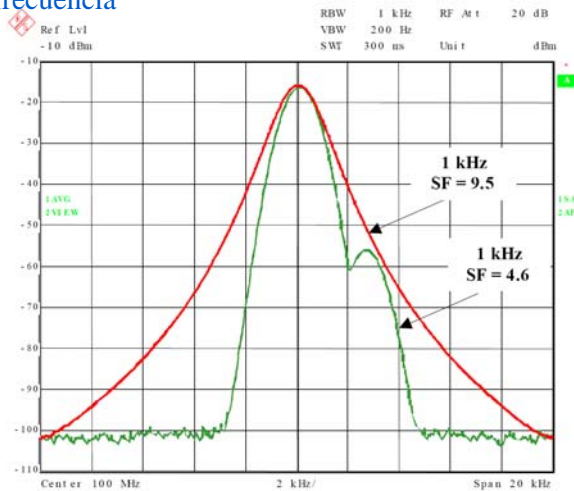
La resolución en frecuencia es uno de las siguientes especificaciones en la hoja de características.

La resolución queda definida por el filtro de IF utilizado en el analizador de espectro, y por lo tanto el filtro de IF se conoce como filtro de resolución (RBW, Resolution BandWidth filter). La resolución no queda determinada únicamente por el ancho de banda del filtro, si no también por el factor de forma.

El ancho de banda del filtro define el RBW. Un valor típico es el ancho de banda a 3dB, pero también hay filtros que se definen con el ancho de banda a 6dB (por ejemplo, en EMI). El valor del RBW es un valor importante que define la separación mínima que puede haber entre dos señales para que queden representadas como dos señales y no como una.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Resolución en frecuencia



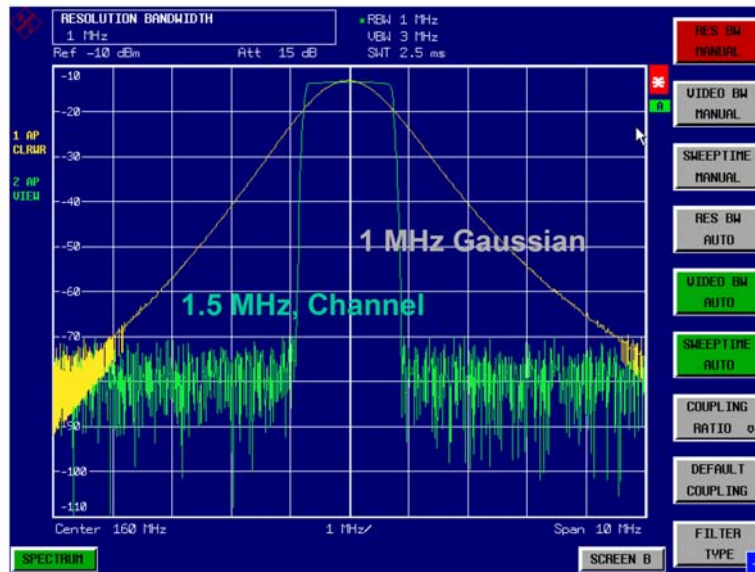
En la resolución en frecuencia también influye el Factor de Forma (Shape Factor)

- El factor de forma (SF) del RBW es la relación entre los ancho de banda de 60dB y 3dB
- Los filtros digitales tienen factores de forma más bajos y proporcionan mayor velocidad de barrido

Además del ancho de banda, el factor de forma también define la resolución. Si se miden dos señales de amplitudes diferentes, un filtro que tenga un factor de forma elevado puede ocultar una señal que tenga un nivel más bajo. Los valores típicos para este parámetro en los analizadores de espectro modernos es de 12 a 15 para RBW analógicos. Los analizadores de espectro que usan filtros digitales, tienen factores de forma de 4 a 5, siendo mucho más selectivos. Esto es especialmente importante en aquellas medidas en las que hay señales débiles en las cercanías de una señal fuerte, como es el caso de las medidas de intermodulación. Estos filtros digitales, no sólo tienen mejor factor de forma, si no que además proporcionan una mejor velocidad de medida en comparación con los filtros analógicos.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Resolución



DT-MJ-010-04 | Julio 04

10

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com



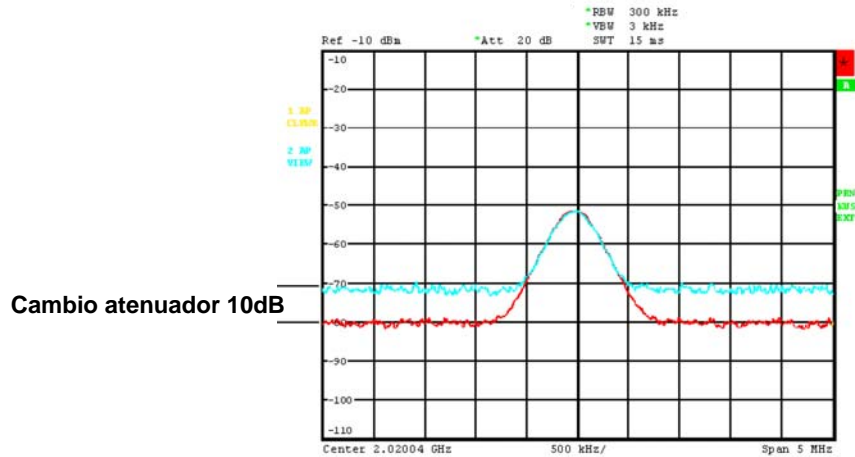
Al utilizar filtros de IF digitales, se puede modificar la forma del filtro.

Tal y como se muestra en el ejemplo, el filtro de resolución se puede implementar como un filtro rectangular. Esta es la mejor respuesta posible, pero el tiempo de barrido necesario es mayor si lo comparamos con un filtro gaussiano estándar que es el que se usa en los analizadores de espectro.

Especificaciones del Analizador de Espectro

DANL (Sensibilidad)

La configuración del atenuador influye en el ruido de fondo (DANL)



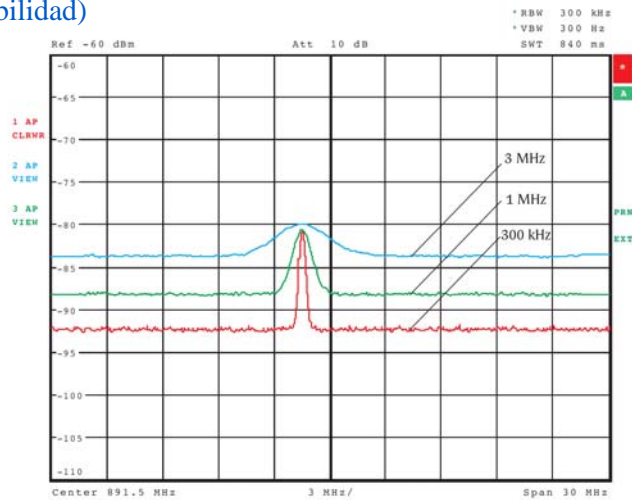
El atenuador de RF influye en el nivel de ruido de fondo debido al cambio del valor de la ganancia de IF para compensar el valor de atenuación

La sensibilidad de un analizador de espectro es un parámetro importante ya que da información del nivel mínimo que tiene que tener una señal para poder ser medida. La sensibilidad normalmente se especifica como nivel de ruido promedio mostrado (DANL, **D**isplayed **A**verage **N**oise **L**evel). El primer elemento del analizador de espectro es, normalmente, el atenuador de RF que tiene una influencia directa en la sensibilidad del analizador. La señal de entrada se atenúa, mientras que el nivel de ruido del mezclador permanece constante. Debido a que el analizador de espectro compensa las pérdidas adicionales del atenuador con la ganancia del amplificador de IF, el nivel de señal permanece constante mientras que el nivel de ruido aumenta.

La sensibilidad del analizador de espectro es mayor cuanto menor sea la atenuación del atenuador de RF, siempre y cuando no se sobrecargue la entrada del mezclador. Esta configuración proporciona el mayor rango dinámico.

Especificaciones del Analizador de Espectro

DANL (Sensibilidad)



La configuración del RBW afecta al DANL

- Regla general: El nivel de ruido mostrado por el analizador de espectro aumenta 10dB cuando el RBW aumenta diez veces
- El DANL puede depender del tipo de RBW

DT-MJ-010-04 | Julio 04

12

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com



La sensibilidad de un analizador de espectro también puede verse influenciada por el RBW. El ruido generado en el analizador de espectro es ruido térmico con respuesta en frecuencia plana. La cantidad de potencia de ruido medida con el detector está directamente influenciada por el ancho de banda del filtro de IF.

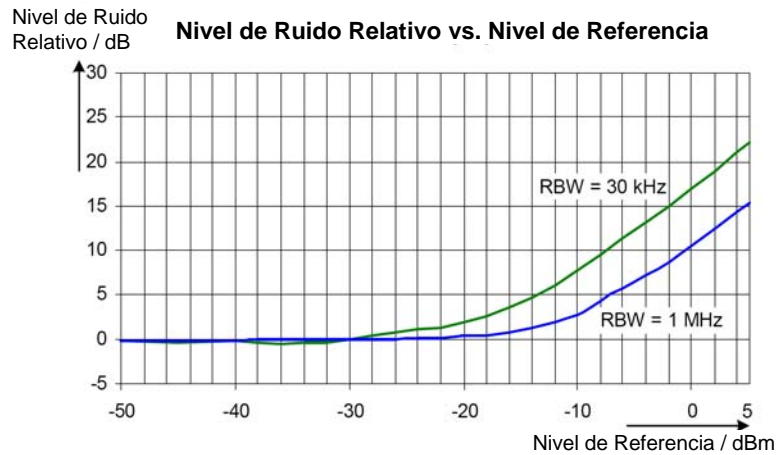
Debido a que el ruido es puramente térmico, la cantidad de potencia de ruido medida en el detector es proporcional al ancho de banda. Con un filtro de resolución 10 veces más ancho, el detector medirá 10 veces más, lo que equivale a un incremento de 10dB en el DANL.

El DANL en un analizador de espectro siempre se especifica para un determinado RBW. Si no se conoce el RBW para el cual está especificado el DANL, no se puede comparar la sensibilidad. Por lo tanto, antes de hacer ninguna comparación es importante asegurarse de que el dato de DANL está normalizado para el mismo ancho de banda.

La mayoría de los analizadores de espectro de R&S especifican el DANL con un RBW de 10Hz si está disponible, mientras que otros fabricantes utilizan el filtro de 1Hz para el DANL en las hojas de características.

Especificaciones del Analizador de Espectro

DANL (Sensibilidad)



La configuración del nivel en el mezclador afecta al DANL

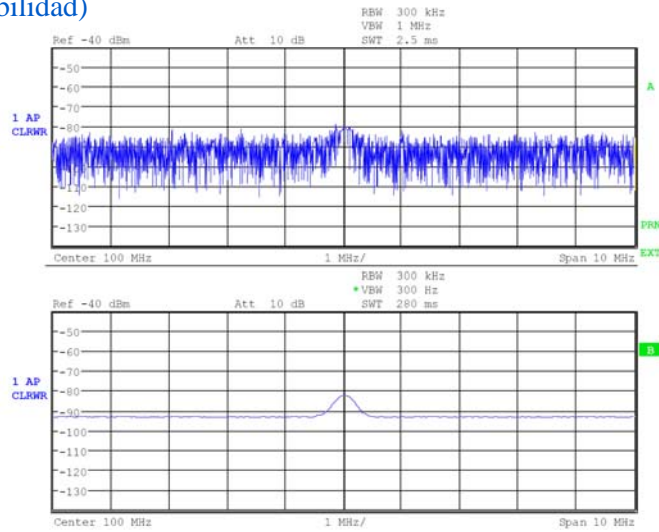
El ruido del analizador de espectro aumenta con el nivel en el mezclador

La sensibilidad de un analizador de espectro también se ve afectada por la configuración del nivel de referencia. La dependencia con este parámetro es debida a la ganancia del amplificador de IF al cambiar el nivel de referencia. Como se muestra en el gráfico, no sólo influye el nivel de referencia sino también el tipo de filtro de resolución (digital/analógico).

En la hoja de características de un analizador de espectro siempre se especifica para el valor más alto de ganancia IF, que normalmente está activada para niveles de referencia menores de -50dBm y un valor de atenuador de RF de 0dB .

Especificaciones del Analizador de Espectro

DANL (Sensibilidad)



El promediado o el filtro de video (VBW) no afecta al DANL
El promediado y el filtro de video (VBE) sólo suavizan la traza, pero no influyen en el DANL

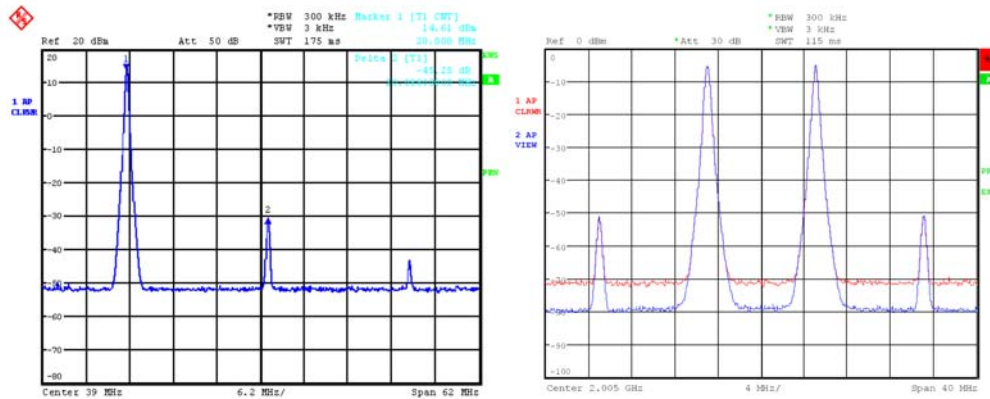
El filtro de video (VBW) no tiene influencia directa en el nivel de ruido de un analizador de espectro. El VBW actúa como un filtro paso bajo justo después de la etapa de detección. La configuración típica del VBW en un analizador de espectro es igual a la del RBW, en este caso, el VBW no afecta a la medida.

En el caso de una señal ruidosa, el VBW se puede utilizar para suavizar la traza. El efecto es el mismo si se utiliza un promediado en varios barridos.

Nota: El VBW y el promediado no deben utilizarse junto con el detector RMS debido a que pueden obtenerse resultados erróneos. En lugar de usar el promediado o un VBW estrecho, hay que reducir el tiempo de barrido.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Distorsión



Los parámetros más influyentes son la distorsión de 2^o y 3^{er} orden

La distorsión de 2^o orden es debida a los armónicos de la señal de entrada generados en la entrada del mezclador (una sola señal en la entrada)

La distorsión de 3^{er} orden es el resultado de la mezcla de al menos dos tonos en la entrada del mezclador

DT-MJ-010-04 | Julio 04

15

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com

 **ROHDE & SCHWARZ**

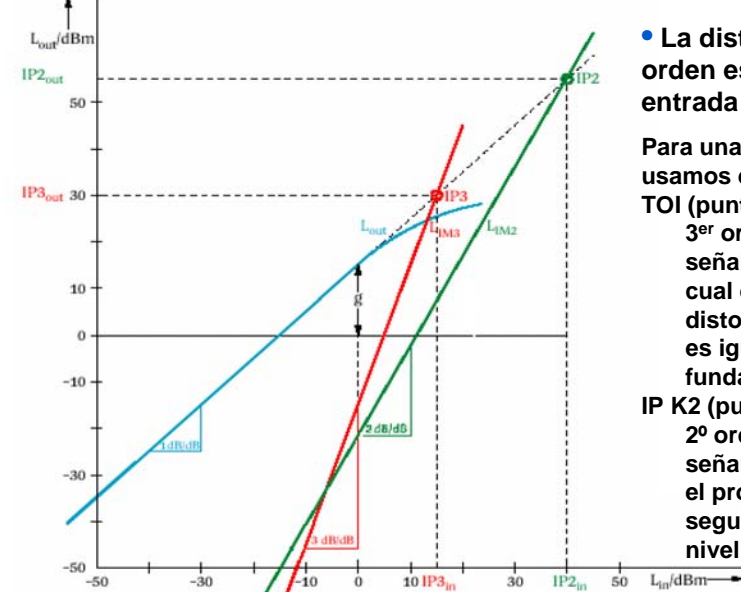
La distorsión es una de las medidas más comunes realizadas con un analizador de espectro. Hay que saber que un analizador de espectro genera productos de distorsión en el mezclador interno que se añadirán a la señal de salida. Si el analizador de espectro no se configura de forma adecuada, estos productos de distorsión internos pueden ser superiores a la señal de entrada.

Los productos de distorsión siempre están relacionados con la potencia de entrada. En la especificación de estos productos siempre hay que conocer el nivel de la señal de entrada para poder comparar las hojas de características de diferentes analizadores de espectro.

Para resolver este problema a la hora de ver las especificaciones de la distorsión, hay algunas hojas de características que incluyen el nivel fundamental y dan el valor absoluto para los productos de segundo y tercer orden. Estos datos son el TOI (intercepción de tercer orden) o IP3 (punto de intercepción de tercer orden) y el punto de intercepción K2 (HSOI, **H**armonic **S**econd **O**rders Intercept, punto de intercepción del segundo armónico).

Especificaciones del Analizador de Espectro

Distorsión



Distorsión armónica:

- La distorsión de 2^o y 3^{er} orden es función del nivel de entrada

Para una mejor comparación usamos el TOI y el K2

TOI (punto de intersección de 3^{er} orden) es el nivel de la señal de entrada para el cual el producto de distorsión de tercer orden es igual al nivel del fundamental

IP K2 (punto de intersección de 2^o orden) es el nivel de la señal de entrada para el cual el producto de distorsión de segundo orden es igual al nivel del fundamental

DT-MJ-010-04 | Julio 04

16

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com



Para entender la definición del IP3 y del K2, es necesario tener claras las relaciones entre los productos de intermodulación y el fundamental.

Para la distorsión debida al segundo armónico, el nivel del producto de distorsión aumenta el doble que el nivel de la señal de entrada. Esto quiere decir que si el nivel del fundamental aumenta en 1dB, el nivel del segundo armónico aumentará 2dB. Esto da como resultado que la distorsión armónica se incremente en 1dB por cada dB de cambio.

Para la distorsión de tercer orden, el nivel del producto de distorsión aumenta el triple que el nivel de la señal de entrada. Esto quiere decir que si el nivel del fundamental aumenta en 1dB, el nivel de los productos de distorsión de tercer orden aumentará 3dB. Esto da como resultado que la distorsión de tercer orden se incremente en 2dB por cada dB de cambio.

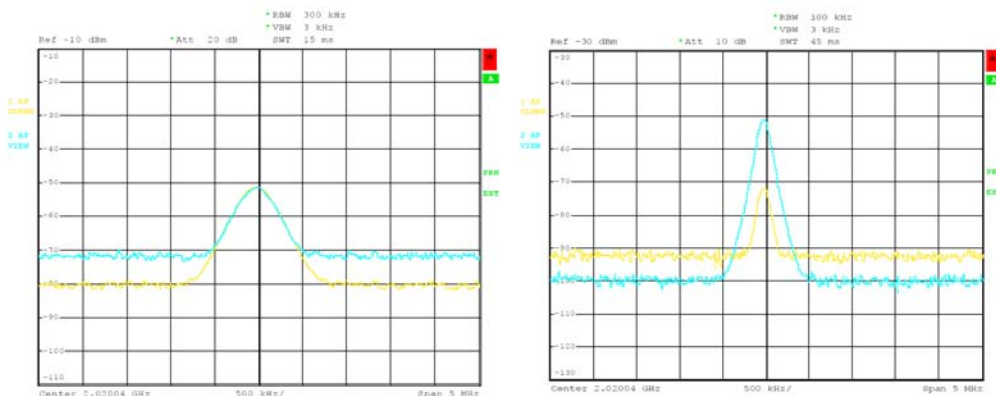
El nivel de entrada al cual el nivel del producto de distorsión de 3^{er} orden se hace igual al nivel del fundamental se denomina TOI o IP3. La misma definición se aplica para el IP K2 en el caso del 2^o armónico.

Estos son puntos teóricos que nunca se alcanzan en la práctica, ya que el mezclador entra en compresión antes de que alcancen estos niveles.

Al comparar hojas de características es muy común utilizar estos puntos, ya que no se necesita conocer el nivel en valor absoluto. En teoría se pueden medir estos puntos con diferentes niveles de entrada.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Distorsión



- **Identificación de la distorsión: ¿se está midiendo la señal deseada o la distorsión interna del analizador?**

Cambiar el valor del atenuador de RF: Si el nivel de la señal permanece constante, se está midiendo la señal de entrada. Si el nivel cambia, entonces parte de la señal está generada por el analizador de espectro en forma de producto de distorsión.

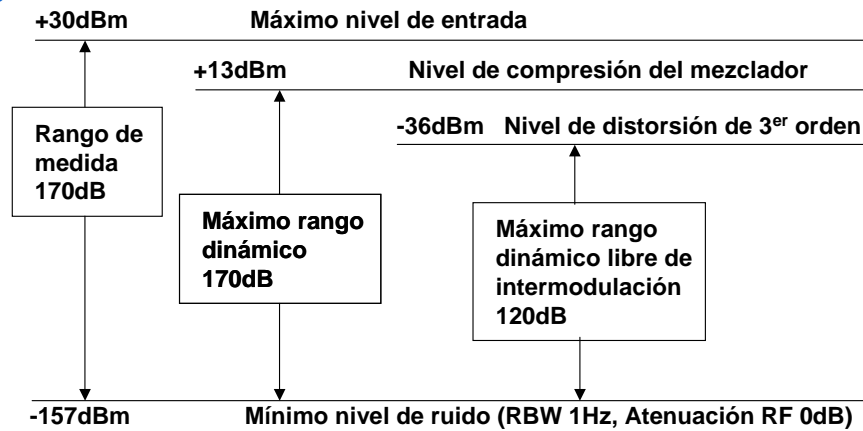
El principal problema de las medidas de distorsión es identificar si se está midiendo realmente los productos de distorsión de la señal de entrada o la distorsión generada por el propio analizador de espectro.

Existe una prueba sencilla para distinguir entre ambos casos. El atenuador de RF no tiene influencia en la medida de cualquier señal de entrada, ya que el valor de atenuación se compensa para mostrar el nivel correcto.

Si se cambia el valor del atenuador de RF mientras que se está realizando una medida de distorsión, el nivel en el mezclador también cambiará, lo que da como resultado un cambio en la potencia de distorsión generada internamente. Como resultado, si se produce un cambio en el nivel de distorsión al cambiar el valor del atenuador se puede concluir que parte de la distorsión que se está midiendo está causada por el propio analizador de espectro.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Rango Dinámico



- **Rango Dinámico ¿Qué rango dinámico?**

Se pueden definir diferentes rangos dinámicos en un analizador de espectro, desde el rango de medida al rango libre de intermodulación...

El parámetro rango dinámico normalmente es un parámetro que da lugar a discusión.

Existen diferentes definiciones de rango dinámico, por lo que hay que tener claro a qué rango dinámico nos estamos refiriendo.

Típicamente, el rango dinámico es la máxima diferencia entre dos señales de medida aplicadas a la entrada del analizador de espectro de forma simultánea y que puedan ser medidas con suficiente precisión.

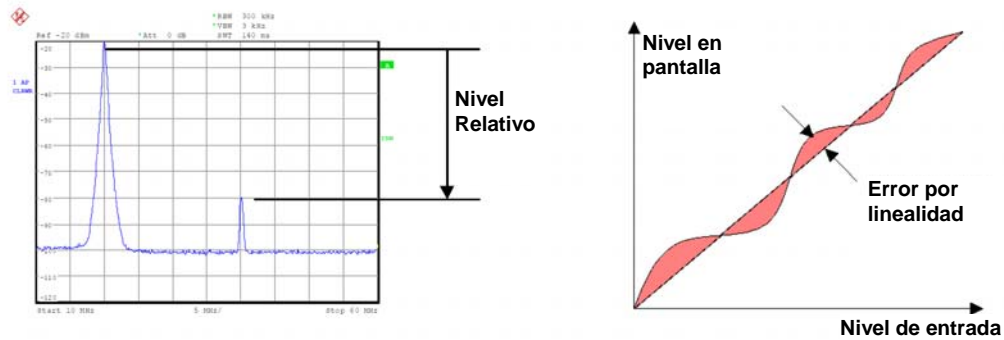
El rango de niveles más amplio es la diferencia entre el nivel máximo de entrada y el mínimo nivel de ruido. Ambos valores no están disponibles al mismo tiempo, debido que el nivel máximo de entrada está relacionado con la configuración del atenuador (al menos unos cuantos dB) mientras que el nivel de ruido está especificado para una atenuación de 0dB.

Las otras definiciones de rango dinámico están medidas con el mismo atenuador de RF por lo que sí son rangos dinámicos. El rango más amplio es aquel donde se aplica una sola señal y se mide el nivel. Esta señal puede variar desde el máximo nivel en el mezclador hasta el nivel de ruido.

La definición de rango dinámico de más interés es el rango dinámico libre de intermodulación. En este rango dinámico se puede medir una señal débil en presencia de una señal de nivel alto en el mezclador. Una aplicación típica es la medida de potencia en canal adyacente, donde se mide la potencia en el canal adyacente en relación con el canal de transmisión. El rango dinámico disponible está limitado por el ruido de fondo en el ancho de banda del canal y a la intermodulación de 3er orden.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Precisión Relativa de Nivel, Linealidad



La linealidad es importante en aquellas medidas en las que las señales tienen niveles diferentes

- **La linealidad depende del amplificador logarítmico (error de pendiente)**
Es posible mejorar la respuesta mediante una corrección digital de la pendiente (FSE)
Las nuevas generaciones de analizadores de espectro usan conversión A/D y amplificadores logarítmicos digitales (HW/SW)

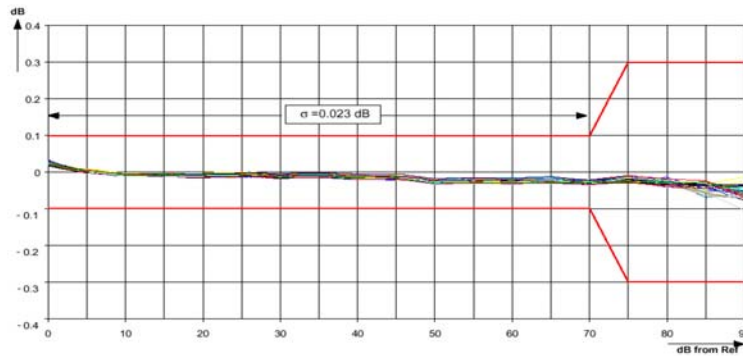
La linealidad describe la precisión del analizador de espectro cuando el nivel de la señal varía. La principal razón para esta incertidumbre es el circuito de detección. Para el display logarítmico, el analizador de espectro usa un amplificador logarítmico. Este tipo de amplificadores tiene una incertidumbre periódica en función del nivel de entrada. Es importante saber que todo el error ocurre en un par de dB's.

Para mejorar este error los analizadores de espectro modernos usan técnicas digitales de corrección. La pendiente del amplificador logarítmico es medida y corregida mediante hardware o software. El error remanente que queda no es despreciable debido al hecho de que la respuesta del amplificador varía con la temperatura.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Precisión Relativa de Nivel, Linealidad

Display non linearity	+20 °C to +30 °C, mixer level ≤-10 dBm)	
Logarithmic level display	RBW ≤ 100 kHz, S/N >20 dB 0 dB to -70 dB -70 dB to -90 dB	<0.1 dB ($\sigma = 0.03$ dB) <0.3 dB ($\sigma = 0.1$ dB)



Precisión por linealidad con conversión A/D y amplificador logarítmico digital (HW/SW)

- La linealidad es un término de error pequeño en la incertidumbre total

DT-MJ-010-04 | Julio 04
21

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com



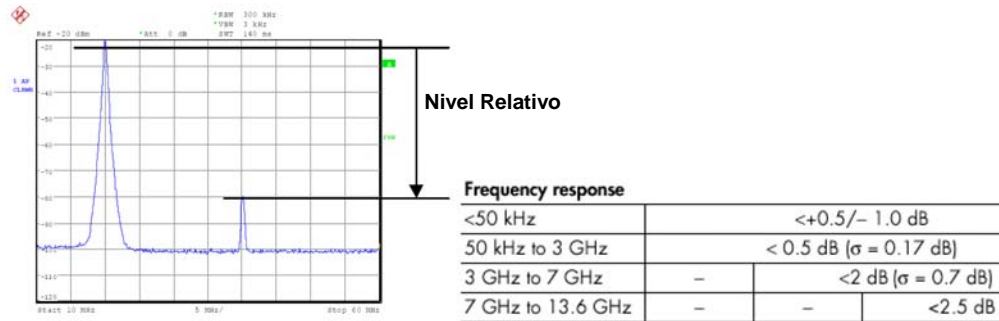
Las nuevas generaciones de analizadores de espectro utilizan procesamiento digital de la señal en todo el proceso. La etapa IF final está después del convertidor A/D, y el nivel logarítmico se calcula en el amplificador logarítmico, bien hardware o bien software.

Gracias a este concepto, los analizadores de espectro modernos como el FSP o el FSU tienen muy buenas especificaciones en cuanto a la linealidad (<0.1 dB).

La principal limitación para la especificación de linealidad no es el convertidor A/D, si no el resto del sistema.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Precisión Relativa de Nivel, Respuesta en Frecuencia



La respuesta en frecuencia es importante en aquellas medidas en las que las señales están separadas en frecuencia

- **La respuesta en frecuencia es el resultado de las pérdidas de los cables, del VSWR... Las mejoras se realizan mediante correcciones digitales (patentado por R&S) La respuesta en frecuencia se especifica relativa a la frecuencia del calibrador en los analizadores de R&S**

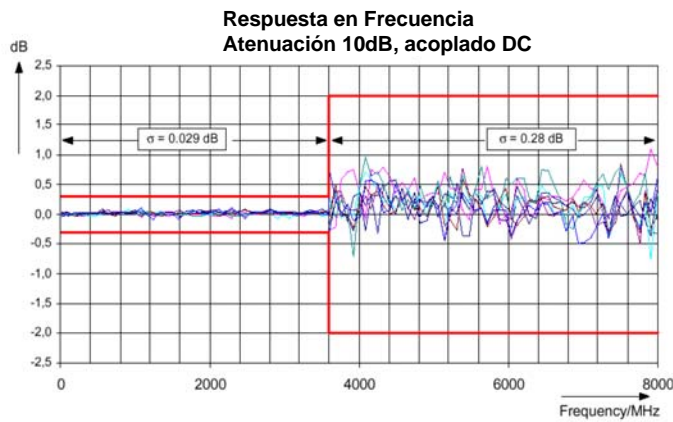
La respuesta en frecuencia es una especificación que describe la precisión del analizador de espectro a la hora de medir señales en diferentes frecuencias.

Las causas de este error es la dependencia de las pérdidas de los circuitos de RF y las desadaptaciones de la frecuencia.

Para comprar las especificaciones de la respuesta en frecuencia, es importante destacar que las especificaciones que dan los analizadores de R&S está definida como una medida relativa a la frecuencia del calibrador (FSP, FSU, FSQ: 128MHz) mientras que otros fabricantes dan esta respuesta en frecuencia por bandas.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Precisión Relativa de Nivel, Respuesta en Frecuencia



Importante: la respuesta en frecuencia depende del rango de frecuencias

- Los analizadores de espectro utilizan diferentes etapas receptoras (frontend)
Los receptores de microondas tienen preselección por tracking → mucha dispersión en los resultados

DT-MJ-010-04 | Julio 04
23

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com



Para compensar la respuesta en frecuencia, se miden las características del analizador y se almacenan en el instrumento. La especificación de respuesta en frecuencia cubre las derivas por temperatura y envejecimiento.

La respuesta en frecuencia depende del rango de frecuencias. En las bandas de RF el error por respuesta en frecuencia es muy pequeño, mientras que en las bandas de microondas el instrumento con la corrección todavía tiene unos 3dB de incertidumbre debido al filtro de preselector por tracking.

En las medidas de microondas hay que tener en cuenta todas las fuentes de error. En una medida relativa, ambas señales pueden estar cada una en un extremo de la respuesta en frecuencia, lo que dará como resultado el doble de incertidumbre.

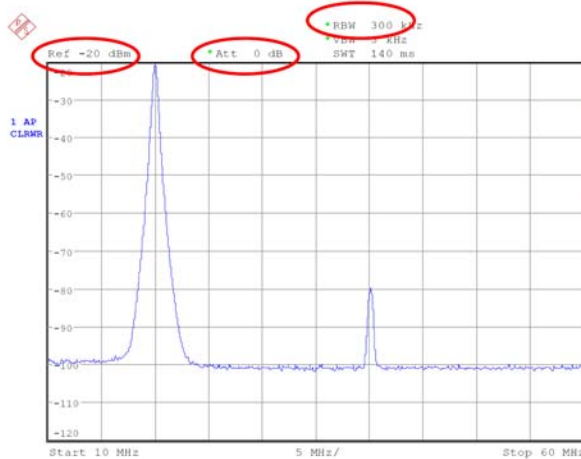
Ejemplo:

Asumamos que medimos una señal en 3.7GHz y el segundo armónico en 7.4GHz.

Ambas señales tendrán una incertidumbre debido a la respuesta en frecuencia de 2dB, pero los errores pueden ser opuestos. Como resultado, la incertidumbre de medida relativa es de 4dB.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Precisión Relativa de Nivel



Parámetros que definen la precisión de la medida

- Conmutación atenuador RF
- Conmutación del nivel de referencia
- Conmutación del ancho de banda de resolución
- Escala LIN/LOG (??)

Attenuator	<0.2 dB ($\sigma = 0.07$ dB)
Reference level switching	<0.2 dB ($\sigma = 0.07$ dB)
Bandwidth switching uncertainty (ref. to RBW = 10 kHz)	
10 Hz to 100 kHz	<0.1 dB ($\sigma = 0.03$ dB)
300 kHz to 10 MHz	<0.2 dB ($\sigma = 0.07$ dB)
1 Hz to 3 kHz, FFT	<0.2 dB ($\sigma = 0.03$ dB)

Además de la respuesta en frecuencia y de la linealidad, hay otros elementos que influyen en la precisión relativa de nivel, si se utilizan durante las medidas:

-La incertidumbre asociada a la conmutación del atenuador de RF es una de las fuentes más grandes de error ya que el atenuador cubre todo el rango de frecuencias del instrumento. En los instrumentos modernos como el FSP y el FSU se mide la respuesta en frecuencia del atenuador y se almacena en el propio instrumento para su corrección.

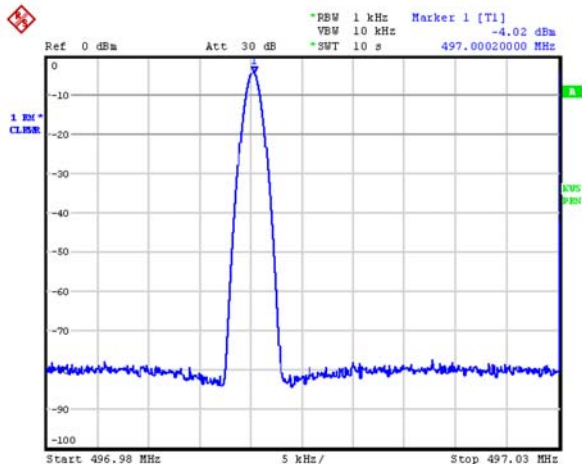
-La conmutación del filtro de resolución puede causar errores de nivel debido al hecho de que cada filtro de resolución tiene unas pérdidas de inserción ligeramente diferentes. En el caso de los filtros digitales, este error se puede despreciar ya que es inferior a 0.03dB.

-La incertidumbre asociada a la conmutación del nivel de referencia está causada por el cambio de la ganancia del amplificador de IF asociado al cambio del nivel de referencia. La ganancia de IF se ajusta en la calibración, y los números que aparecen en las hojas de características reflejan la estabilidad de los circuitos analógicos relacionados con la ganancia de IF.

-La escala del display era un error en el pasado ya que la escala se hacía mediante circuitos analógicos. En los analizadores de espectro modernos, la escala y la conversión LIN/LOG se hace mediante operaciones matemáticas y no lleva asociada ninguna incertidumbre.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Precisión Absoluta de Nivel



Precisión medida absoluta de nivel

- Precisión absoluta Calibrador
- +
- Precisión relativa
Linealidad
Respuesta en frecuencia
Conmutación del atenuador
Conmutación del nivel de referencia
Conmutación del ancho de banda de resolución

Max. uncertainty of level measurement	
at 128 MHz, -30 dBm (RF attenuation 10 dB, RBW 10 kHz, ref. level -20 dBm)	<0.2 dB ($\sigma = 0.07$ dB)

DT-MJ-010-04 | Julio 04
25

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com



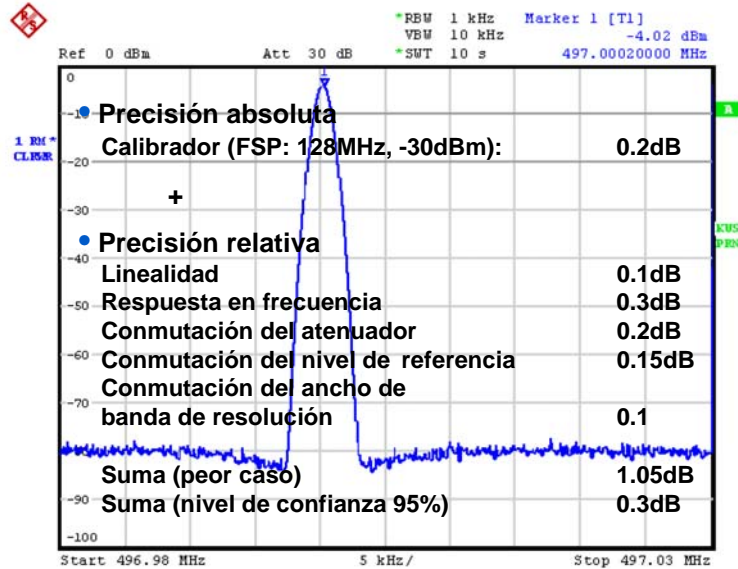
La precisión de las medidas absolutas está relacionada con la precisión de la señal de calibración utilizada en el analizador de espectro. La mayoría de los analizadores de espectro modernos utilizan una señal muy estable como señal de referencia.

Todas las medidas realizadas con un analizador de espectro se pueden considerar medidas relativas a este calibrador ya que normalmente se realizan a diferentes frecuencias y niveles.

Para calcular la precisión de la medida absoluta hay que tener en cuenta todas las fuentes de error ya que la frecuencia, el nivel y la configuración del analizador al medir la señal es diferente de las condiciones de la señal del calibrador.

Especificaciones del Analizador de Espectro

Precisión Absoluta de Nivel



DT-MJ-010-04 | Julio 04
26

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com



Esto es un ejemplo sencillo para mostrar la precisión absoluta de nivel:

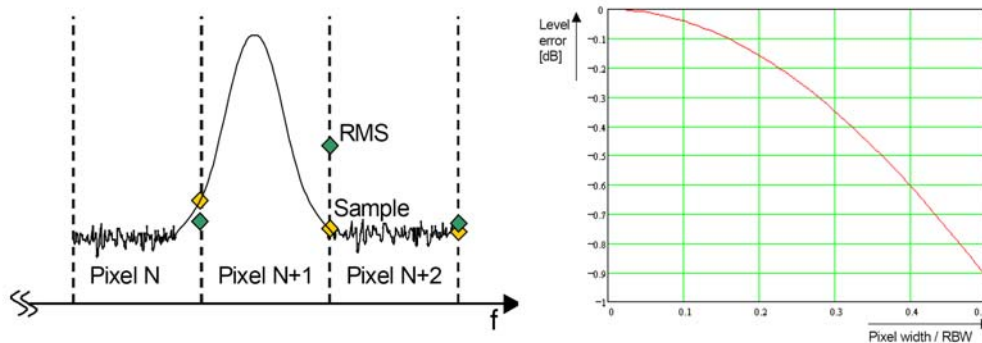
La señal está en 500MHz con un nivel de -4dBm , onda continua. Debido a que la frecuencia y el nivel son diferentes de la señal del calibrador, se aplican las siguientes fuentes de incertidumbre:

- Error absoluto de la señal del calibrador.
- Respuesta en frecuencia.
- Conmutación del atenuador (cambio de 10 a 30dB)
- Conmutación del nivel de referencia (cambio de -30 a 0dBm)
- Conmutación del filtro de resolución (1kHz en lugar de 10kHz)

El peor caso no ocurre nunca. Normalmente sólo se aplican partes del error a la medida, y por lo tanto el cálculo de la incertidumbre total se realiza mediante modelos matemáticos como el cálculo RSS (Root Sum of Squares, raíz cuadrada de la suma de los cuadrados).

Especificaciones del Analizador de Espectro

Precisión de Nivel, Detectores



Claves del detector RMS

- El detector RMS mide potencia en el píxel
- Si $RBW < \text{píxel}$, la potencia RMS tiende a caer → **incertidumbre**
- FSP/U/Q ofrecen funciones para incrementar el número de puntos por barrido
- El error para $\text{Span}/RBW = 50, 500$ puntos → $\approx 0.05\text{dB}$

DT-MJ-010-04 | Julio 04
27

Especificaciones del Analizador de Espectro
Maria.jimenez@rses.rhode-schwarz.com



Un efecto no muy bien conocido es la influencia en la precisión del detector. Normalmente la detección en un analizador de espectro no es una fuente de incertidumbre si se utiliza correctamente.

El detector RMS se utiliza en muchas aplicaciones de comunicaciones inalámbricas. Debido a su función de ponderado, una medida de un tono en onda continua puede dar resultados erróneos si el analizador de espectro no se configura adecuadamente.

Los analizadores de espectro modernos miden la potencia de la señal tomando datos en un período de tiempo o en una frecuencia fija, que es el span (de frecuencia o tiempo) dividido por el número de puntos de medida. El detector RMS calcula la potencia a partir de todas las muestras tomadas en uno de estos puntos (denominados píxeles o bins)

La aplicación más común de la utilización del detector RMS son las señales moduladas en amplitud, donde es necesario medir la potencia media. En el caso de que se mida un tono (CW) y que el RBW sea más estrecho que la amplitud de uno de estos píxeles, la curva del RBW se muestreará en la anchura de ese píxel y se usarán todas las muestras para calcular la potencia RMS. Como resultado, el valor obtenido será demasiado bajo dependiendo de la relación entre el RBW y la anchura del píxel.