

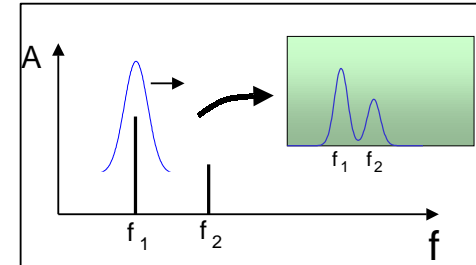
Analizadores de espectros de barrido

1. Tipos de analizadores de espectros
2. Analizadores de barrido
 - 2.1 Analizador de filtro sintonizado
 - 2.2 Analizador superheterodino
 - 2.2.1 Diagrama de bloques
 - 2.2.2 Especificaciones
 - Resolución
 - Sensibilidad
 - Distorsión
 - Margen dinámico
 - 2.2.3 Medidas con el analizador
 - Cálculo de la incertidumbre en las medidas
 - Medidas de ruido
 - Filtro preselector y detector de cuasi-pico

1. Tipos de analizadores de espectro

Analizadores de barrido

- Analizadores de filtro sintonizado
- Analizadores de barrido superheterodinicos

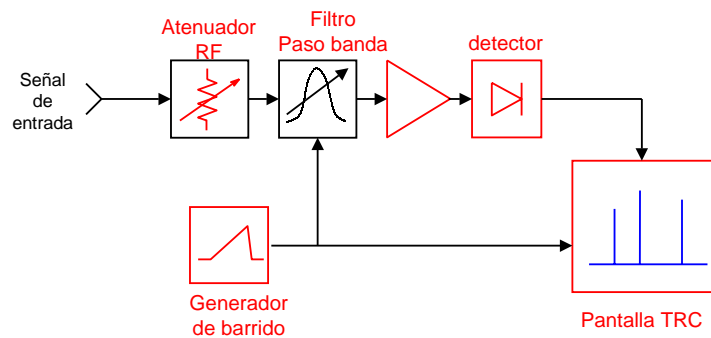


Analizadores de tiempo real

- Analizadores de banco de filtros
- Analizadores de Fourier

2. Analizadores de barrido

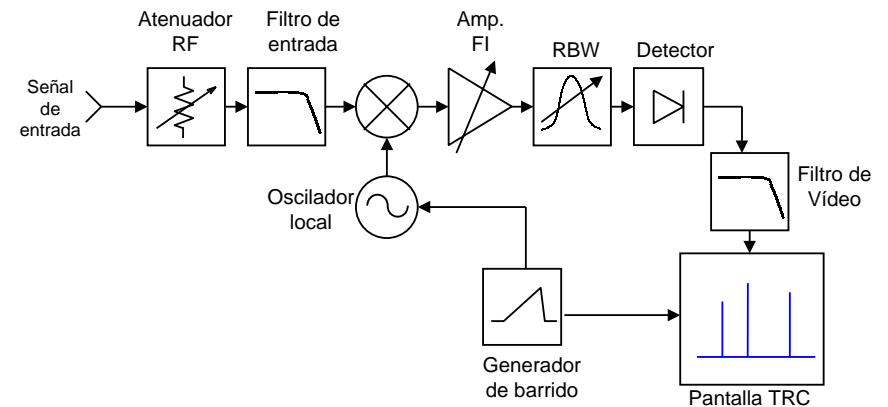
2.1 Analizador con filtro sintonizado



2. Analizadores de barrido

2.2 Analizador de barrido superheterodino

–Diagrama de bloques



2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.1 Diagrama de bloques

–Etapa de entrada

- Atenuador

- Limitar la potencia de entrada máxima al mezclador
valores típicos: 0 a -10 dBm (sobre 50 Ω)
224 mV_{ef} a 70,7 mV_{ef} (sobre 50 Ω)

- Filtro de entrada

- Filtro paso bajo
Rechazar señales interferentes (frecuencia imagen)

2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.1 Diagrama de bloques

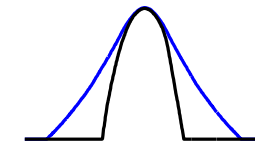
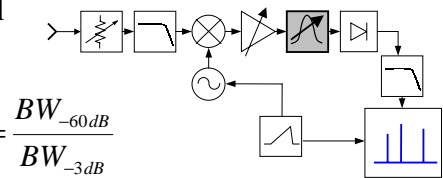
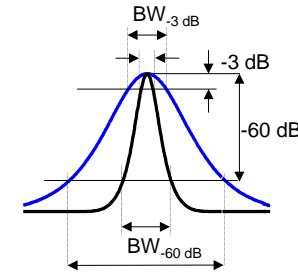
–Filtro de frecuencia intermedia

- Resolución frecuencial

- BW_{-3dB}

- Selectividad

$$Sel = \frac{BW_{-60dB}}{BW_{-3dB}}$$

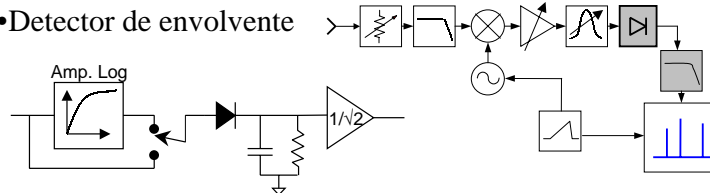


2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.1 Diagrama de bloques

–Detector y filtro de vídeo

- Detector de envolvente



- Amplificador logarítmico

Aumentar margen dinámico en pantalla

Ej. Señal con distorsión 0,1 %, pantalla (600x800 pixels)
Escala lineal: 600*0.1%=0.6 pixels (indetectable)
Escala logarítmica (10 dB/divx8 div)=80 dB (Margen dinámico en pantalla)
pixels= (80-60) dB/ (80 dB) x 600 pix =150 pixels

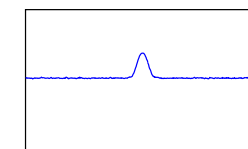
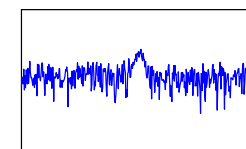
2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.1 Diagrama de bloques

–Detector y filtro de vídeo

- Filtro de vídeo y promediado

- Filtro de vídeo: suavizado del espectro (1 barrido)
Filtro paso bajo (analógico o digital)
- Promediado:
N barridos, reduce la variancia de la estimación (1/N)
Señal estacionaria



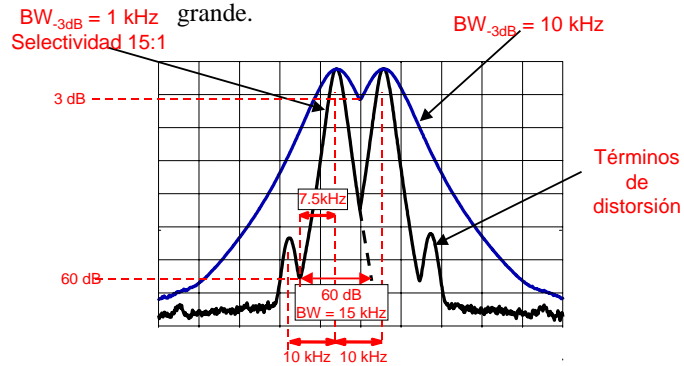
2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.2 Especificaciones

-Resolución frecuencial

- Ancho de banda y selectividad del filtro de FI

- Capacidad de detectar señales de bajo nivel próximas a una grande.



2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.2 Especificaciones

-Resolución frecuencial

- Relación entre resolución y tiempo de barrido

- Tiempo de subida (respuesta a un escalón error < 0.01 dB)

$$t_{subida} = k / BW_{-3 \text{ dB}}$$

- Tiempo de barrido mínimo:

$$\text{Tiempo en la banda de paso: } t_{bp} = BW_{-3 \text{ dB}} / (\text{Span} / t_{barrido})$$

El tiempo de barrido limitado por $t_{subida} < t_{bp} \Rightarrow$

$$t_{barrido} = k \cdot \text{Span} / (BW_{-3 \text{ dB}})^2$$

Filtro:	$BW_{-60 \text{ dB}} / BW_{-3 \text{ dB}}$	$t_{subida} = k / BW_{-3 \text{ dB}}$
- Aprox. gaussiana	4,46	$2 < k < 3$
- Butterworth	31,6	$k = 1,00$
- Uniforme	1	$k \approx 15,9$

2.2 Analizador de barrido superheterodino

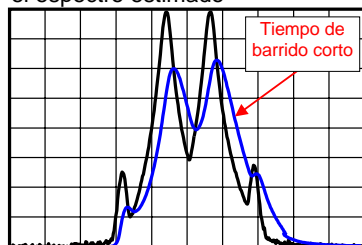
2.2.2 Especificaciones

-Resolución frecuencial

- Errores en frecuencia y amplitud debidos a un tiempo de barrido corto

- Señales de corta duración (no estacionarias)

Efecto del tiempo de barrido sobre el espectro estimado



$$\frac{BW_{aparente}}{BW_{señal}} = \left[1 + 0,195 \left(\frac{\text{Span}}{T_{barrido} (BW_{-3db})^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

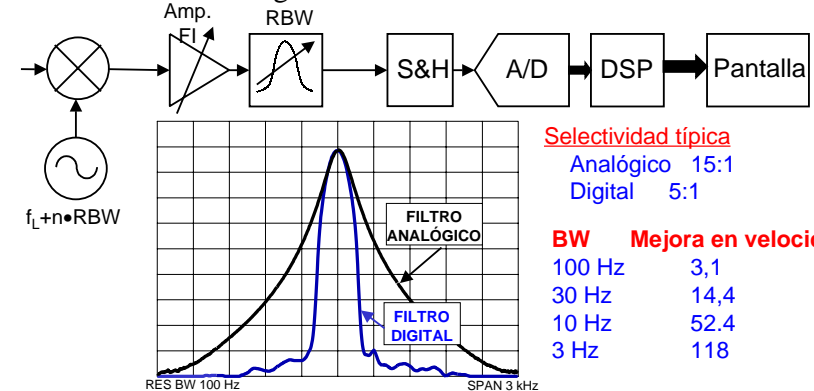
$$\frac{A_{aparente}}{A_{señal}} = \left[1 + 0,195 \left(\frac{\text{Span}}{T_{barrido} (BW_{-3db})^2} \right)^2 \right]^{-1/4}$$

2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.2 Especificaciones

-Resolución frecuencial

- Filtros digitales de FI



Selectividad típica

Analogico 15:1

Digital 5:1

BW Mejora en velocidad

100 Hz 3,1

30 Hz 14,4

10 Hz 52,4

3 Hz 118

2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.2 Especificaciones

-Sensibilidad

•Nivel de ruido

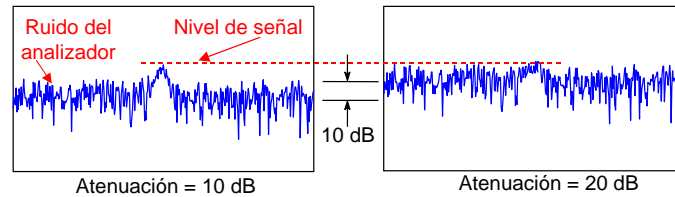
- Ruido de fondo mínimo referido a la entrada

Se especifica con $A_t=0$ dB, mínimo RBW ($RBW=BW_{-3db}$)

Valores típicos: -145 dBm ÷ -90 dBm (sobre 50Ω)

12,6 nV_{ef} a 7,07 μV_{ef} (sobre 50Ω)

Efecto del atenuador entrada sobre el nivel de ruido



2.2 Analizador de barrido superheterodino

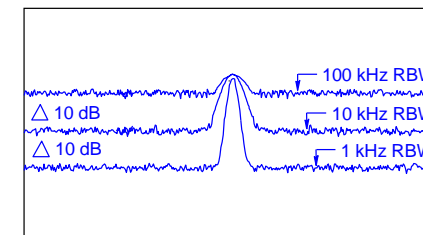
2.2.2 Especificaciones

-Sensibilidad

•Nivel de ruido

- Efecto del ancho de banda de resolución

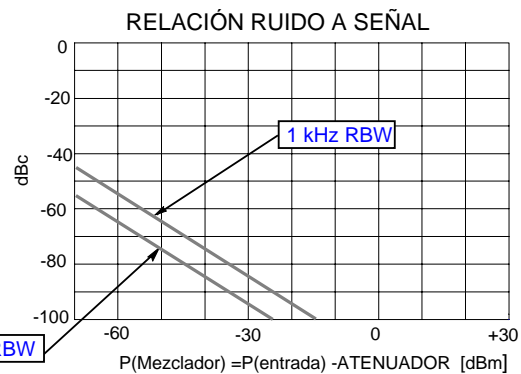
$$\Delta N(dB) = 10 \log \left(\frac{BW_2}{BW_1} \right)$$



2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.2 Especificaciones

-Sensibilidad



2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.2 Especificaciones

-Sensibilidad

•Ruido de fase del analizador: dBc/Hz

- Debido al Oscilador Local y Oscilador de referencia

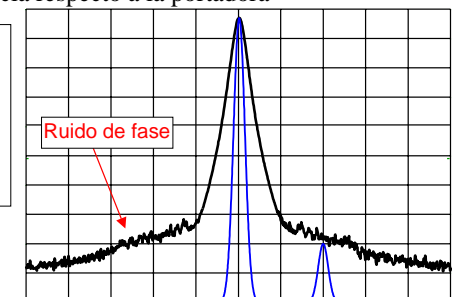
- Depende del RBW \Rightarrow Ruido(dBc) = dBc/Hz + 10 log(RBW)

- Depende de la frecuencia respecto a la portadora

Ej: Medir una señal 50 dB por debajo de la portadora a 10 kHz con un RBW = 1kHz

Ruido de fase máximo a 10 kHz:

$$-50 \text{ dBc} - [10 \log(1 \text{ kHz})] = -80 \text{ dBc/Hz}$$



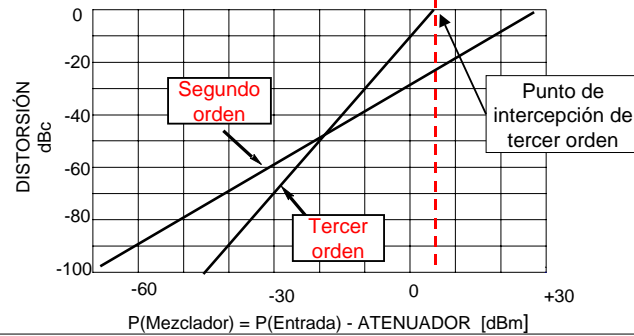
2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.2 Especificaciones

-Distorsión

- Potencia n^{ésimo} armónico: $P_{n^{ésimo}} = k_{dist_n} (A_{señal}^2)^n$

$$10 \log \left(\frac{P_{n^{ésimo}}}{P_{señal}} \right) = 10 \cdot [\log(k_{dist_n}) + (n-1) \log(P_{señal})]$$

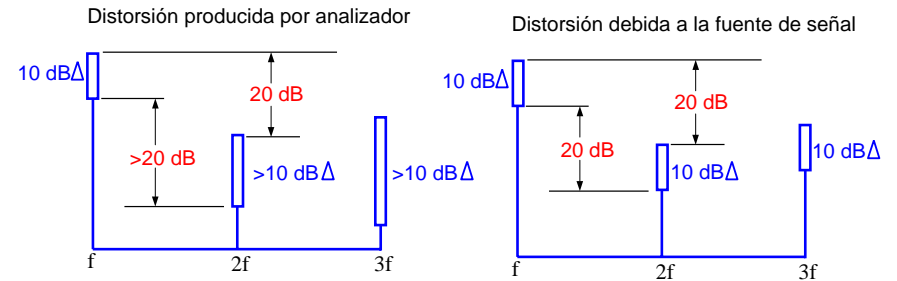


2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.2 Especificaciones

-Distorsión

- Identificación de la fuente de distorsión

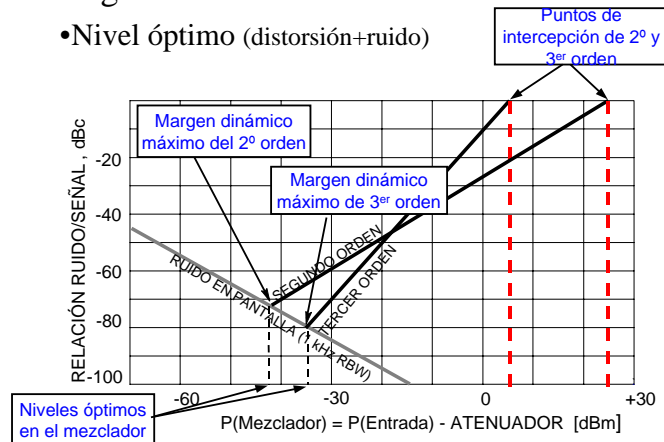


2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.2 Especificaciones

-Margen dinámico

- Nivel óptimo (distorsión+ruido)



2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.3 Medidas con el analizador

-Cálculo de la incertidumbre en las medidas

- Incertidumbre en frecuencia

$$U_f = \pm (f_{medida} \cdot \alpha_{f_{ref}} + a \text{ SPAN} + b \text{ RBW} + c \text{ Hz})$$

Ej:	
f= 2 GHz	
Span=400 kHz	
3 kHz RBW	
$\pm (f_{medida} \cdot \alpha_{f_{ref}} + 1\% \text{ SPAN} + 15\% \text{ RBW} + 10 \text{ Hz})$	
Cálculos	$2 \cdot 10^9 \text{ Hz} \times (1,3 \cdot 10^{-7} / \text{año} \times 1 \text{ año})$
	0,26 kHz
$1\% \times 400 \text{ kHz}$	4,0 kHz
$15\% \times 3 \text{ kHz}$	0,45 kHz
10 Hz	0,01 kHz
	TOTAL= ±4,7 kHz

2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.3 Medidas con el analizador

–Cálculo de la incertidumbre en las medidas

•Incertidumbre en amplitud

- Fidelidad pantalla
 - Amplificador logarítmico y detector
- Respuesta frecuencial
 - Absoluta
 - Relativa
- Atenuador de entrada
- Nivel de referencia
- Ancho de banda de resolución
- Escala TRC

2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.2 Medidas con el analizador

–Incertidumbre en las medidas de amplitud

	Factores de Incertidumbre	Aplicar	Aplicable
1	Cambio de banda	R	Si las señales están en bandas distintas
2	Respuesta frecuencial	R	Si la separación en frecuencia es grande
		A	Si la señal no está en el valor de referencia
3	Cambio RBW	R	Si las señales se miden con diferentes RBW (no hay error cuando RBW igual)
		A	Si no se mide a la frecuencia de referencia
4	Exactitud amplitud absoluta	A	Siempre
5	Cambio atenuación de entrada	R	Si dos señales se miden con atenuaciones diferentes
		A	Si la atenuación no está al valor de referencia
6	Escala vertical	R	Si las señales no están al nivel de referencia
		A	Si la señal no está al nivel de referencia
7	Nivel de referencia (Ganancia FI)	R	Si las señales se miden con diferentes niveles de referencia
		A	Si el nivel de referencia no está al valor de referencia para las especificaciones
8	Cambio de lineal a Log	R	Si cambia la escala al cambiar de lineal a Log
		A	Si la medida es en escala logarítmica

2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.3 Medidas con el analizador

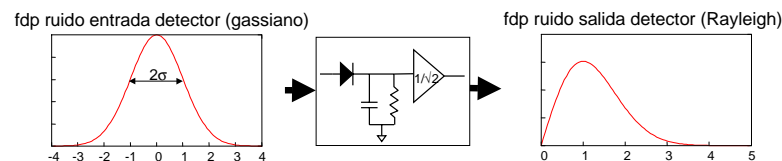
–Medidas de ruido

•Detector de envolvente

- Suponiendo ruido gaussiano a la entrada del detector

$$V = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \Rightarrow V_{OUT} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\text{Corrección} = +1.05 \text{ dB}$$



2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.3 Medidas con el analizador

–Medidas de ruido

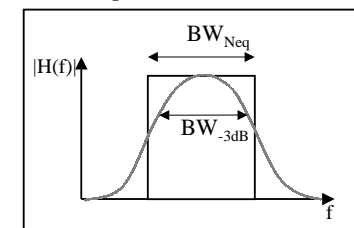
•Amplificador logarítmico

- Compresión de la señal: subestimación del ruido

$$\text{Corrección} = +1.45 \text{ dB}$$

•Filtro FI

- Ancho de banda equivalente de ruido $\neq BW_{-3dB}$



2.2 Analizador de barrido superheterodino

2.2.3 Medidas con el analizador

–Medidas de ruido

•Filtro de FI

– Ancho de banda equivalente de ruido

Tipo de filtro	$20 \log \left[\frac{BW_{Noq}}{BW_{-3dB}} \right]$
Gaussiano	0,27 dB
Butterworth	0,46 dB
Uniforme	0 dB

Ej. Cálculo de la densidad espectral de ruido

Medida AE: -90.0 dBm, $BW_{-3dB}=10$ kHz

Densidad espectral:

-90.0 dBm-10 log(10 kHz) - 0,52 dB +1,45 dB +1,05 dB=-128 dBm/Hz

2.2 Analizador de barrido superheterodino

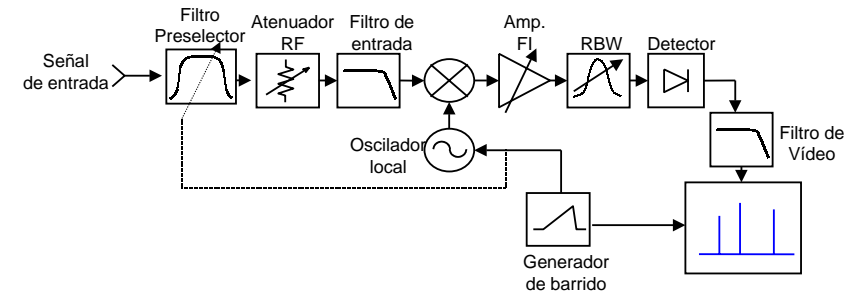
2.2.3 Medidas con el analizador

–Filtro preselector

•Medidas con señales interferentes de nivel alto

– Medias EMI

– Analizadores microondas



2.2 Analizador de barrido superheterodino

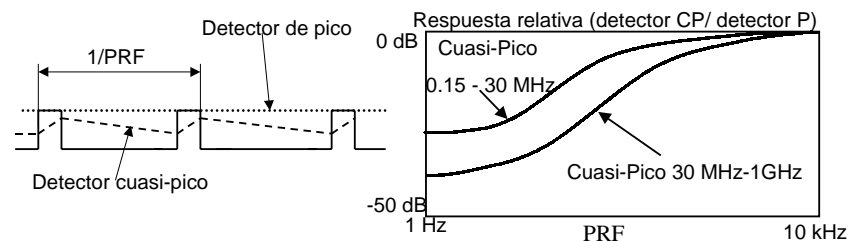
2.2.3 Medidas con el analizador

–Detector de Cuasi-Pico

•Medidas de CEM

– Pondera el efecto de una interferencia impulsiva en un canal de audio o vídeo

– Detector de pico con constantes de carga y descarga diferentes



Bibliografía

- Morris Engelson. *Modern Spectrum Analyzer Theory and Applications*. Artech House, Inc., Norwood, MA. 1984.(2ª edición)
- Morris Engelson. *Modern Spectrum Analyzer Measurements*. JMS, Portland, OR. 1991
- Robert A. Witte. *Spectrum & Network Measurements*. Prentice Hall, New Jersey. 1993
Cap. 5: Swept Spectrum Analyzers
Cap. 8: Noise and Noise Measurements
- *Spectrum Analysis. Application Note 150*. Hewlett Packard, 1989
- *Spectrum Analyzer Measurements and Noise*. Application Note 1303. Hewlett Packard, 1998