

A collection of approximately 15 squares in various shades of blue and grey, scattered across the top half of the slide.

Introducción a la Acústica

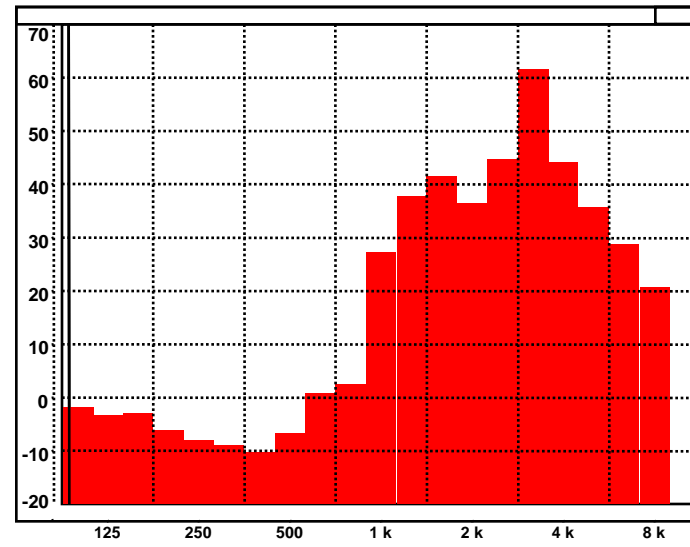
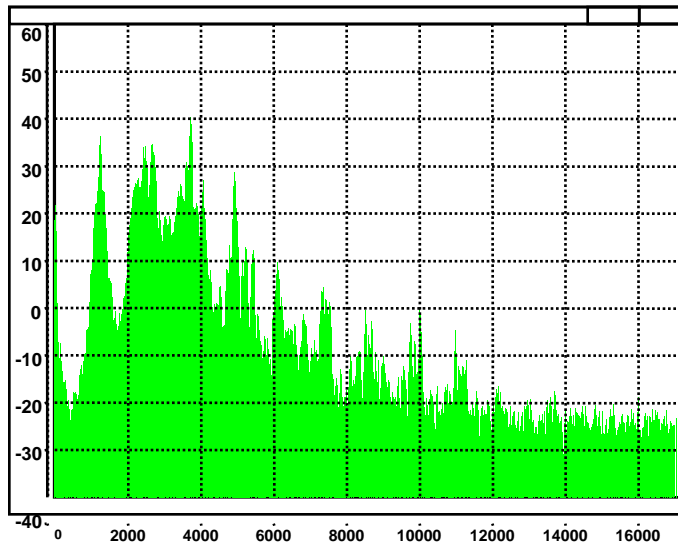
Visión en frecuencia

Sergi Soler Rocasalbas

sergi@aurea-acustica.com

Visión en frecuencia:

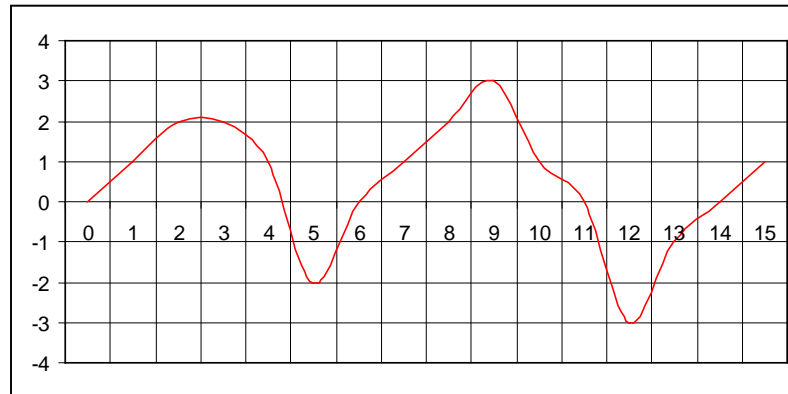
- Pocas señales contienen una sola frecuencia. Por ello es muy interesante poder obtener su contenido espectral, o lo que es lo mismo: como se reparte la energía entre las diferentes frecuencias.
- El gráfico que muestra esta información se llama espectro.
- El espectro de una señal se puede obtener de varias formas. Las más usuales son por Fourier (FFT) y por filtros (CPB).



La FFT (Fast Fourier Transform):

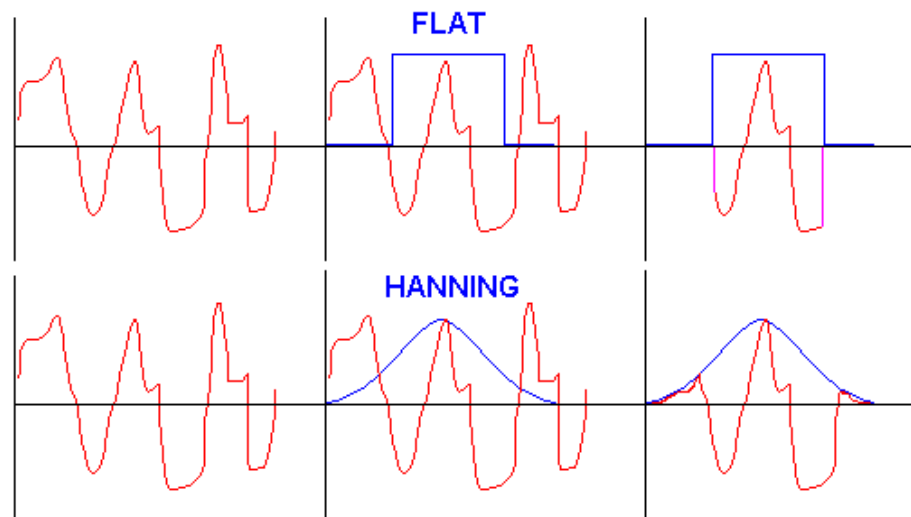
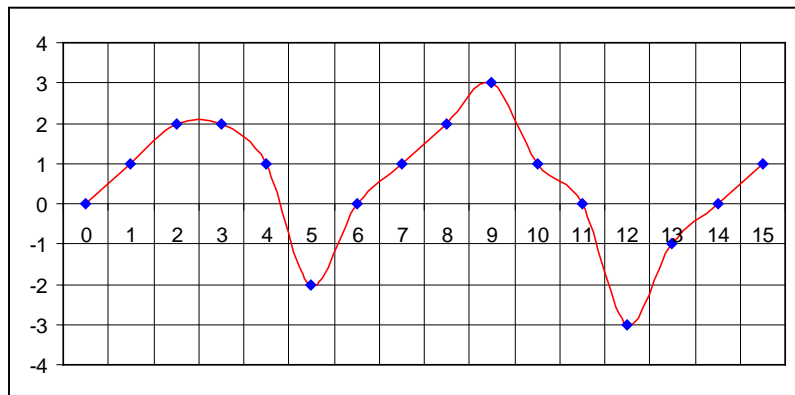
El proceso de la FFT:

- DISCRETIZACIÓN DE LA SEÑAL.
- VENTANEO DE LA SEÑAL.
- APLICAR ALGORITMO DFT.
- REPRESENTACIÓN DEL ESPECTRO.



La FFT (Fast Fourier Transform):

Discretización de la señal y ventaneo

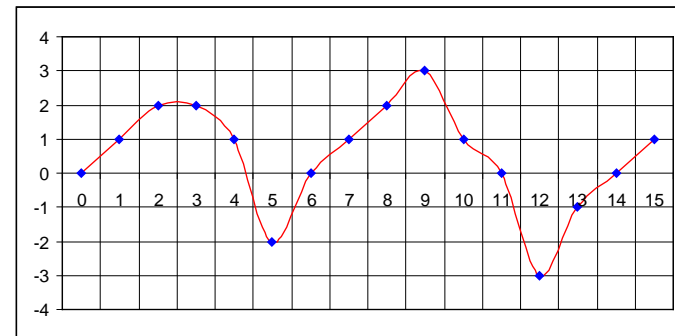


La FFT (Fast Fourier Transform):

Aplicación del algoritmo DFT (Discrete Fourier Transform)

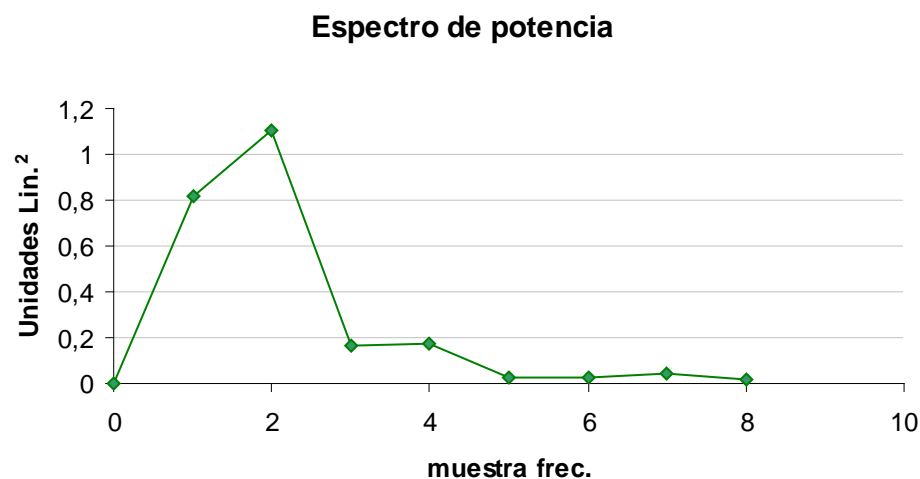
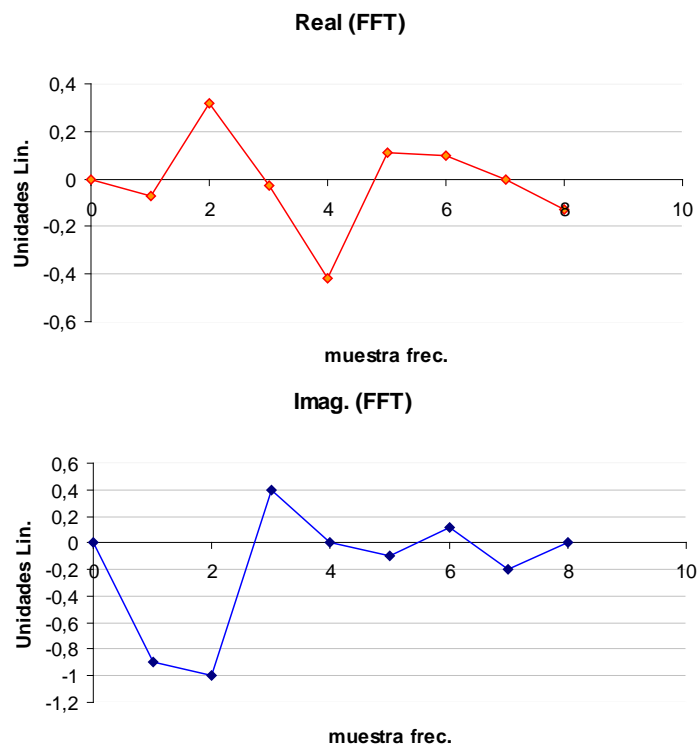
En el ejemplo tenemos 16 puntos. (Muestras)

- $F_0 = 1/16 (0+1+2+2+1-2+0+1+2+3+1+0-2-1+1)$
- $F_0 = 0,5625$
- $F_1 = 1/16((p_0 + p_1 e^{-j2\pi \cdot 1 \cdot 1/16}) + p_2 e^{-j2\pi \cdot 1 \cdot 2/16} + \dots + p_{15} e^{-j2\pi \cdot 1 \cdot 15/16})$
- Formula de Euler: $e^{-jx} = \cos x - j \sin x$
- $F_1 = 1/16((\cos \pi / 8 - j \sin \pi / 16) + 2(\cos \pi / 4 - j \sin \pi / 4) + \dots + (\cos 15\pi / 16 - j \sin 15\pi / 16))$
- $F_1 = 1/16((0,924 - j0,383) + 2(0,707 - j0,707) + \dots + (0,924 - j0,195))$
- $F_1 = -0,078 + j0,105$



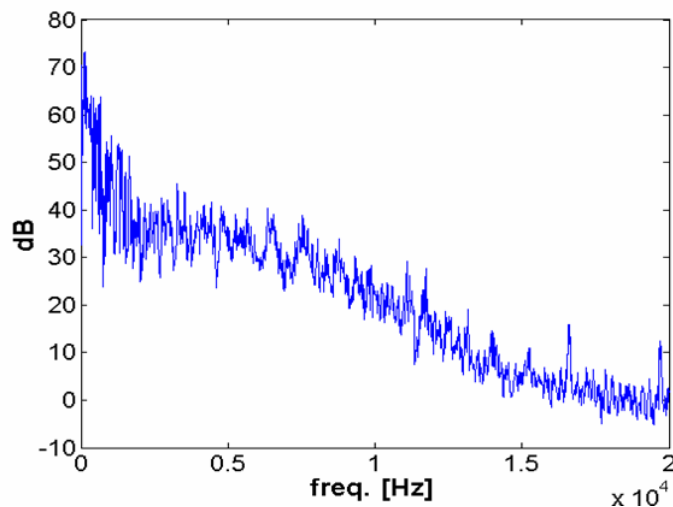
La FFT (Fast Fourier Transform):

Representación del espectro



La FFT (Fast Fourier Transform):

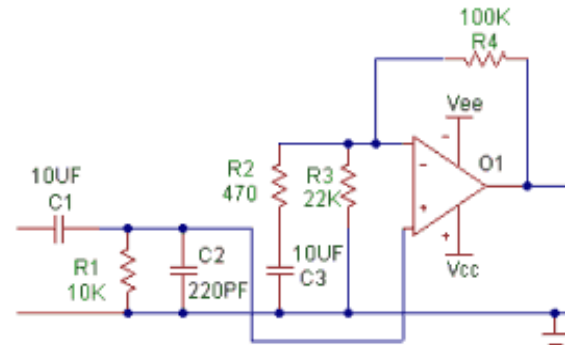
A la práctica este proceso se realiza con muchos más puntos (del orden de centenares o miles) con lo que se obtiene un espectro con mucha resolución.



El resultado es un espectro (gráfico) de cómo se reparte la energía en función de la frecuencia, representando el eje frecuencial de forma lineal.

El espectro CPB (Constant Percentage Band):

- **Que es un filtro?:**
 - Un filtro es un dispositivo que elimina o selecciona ciertas frecuencias de un espectro eléctrico, acústico, óptico o mecánico, como las vibraciones.

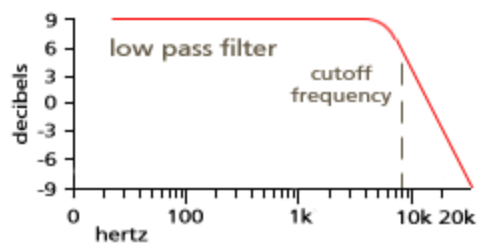


El espectro CPB (Constant Percentage Band):

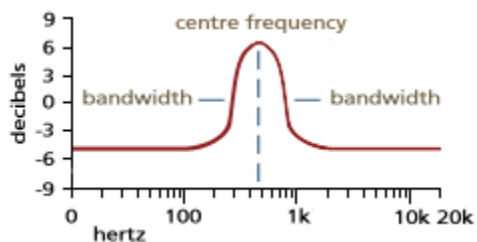
- Funcionamiento de un filtro:

Un filtro deja pasar algunas frecuencias y atenúa (o elimina) otras.

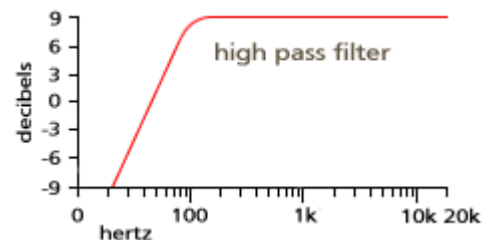
Según la forma de esta selectividad lo llamamos:



Paso-bajas



Paso-banda



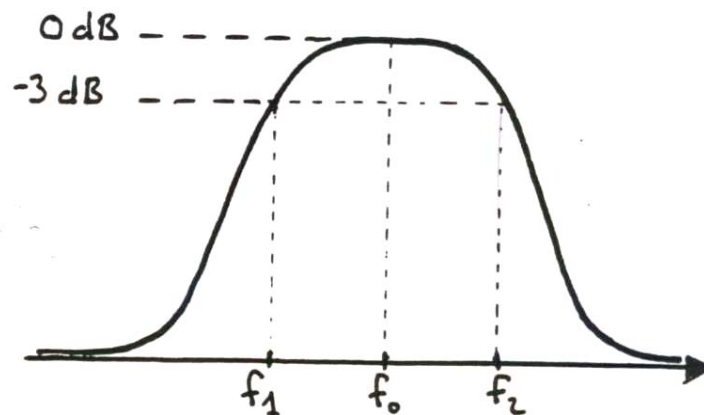
Paso-altas



El espectro CPB (Constant Percentage Band):

- Funcionamiento de un filtro paso-banda:

La banda de frecuencias que deja pasar un filtro paso-banda se llama banda pasante ($f_2 - f_1$) y la frecuencia intermedia se llama frecuencia central (f_0):

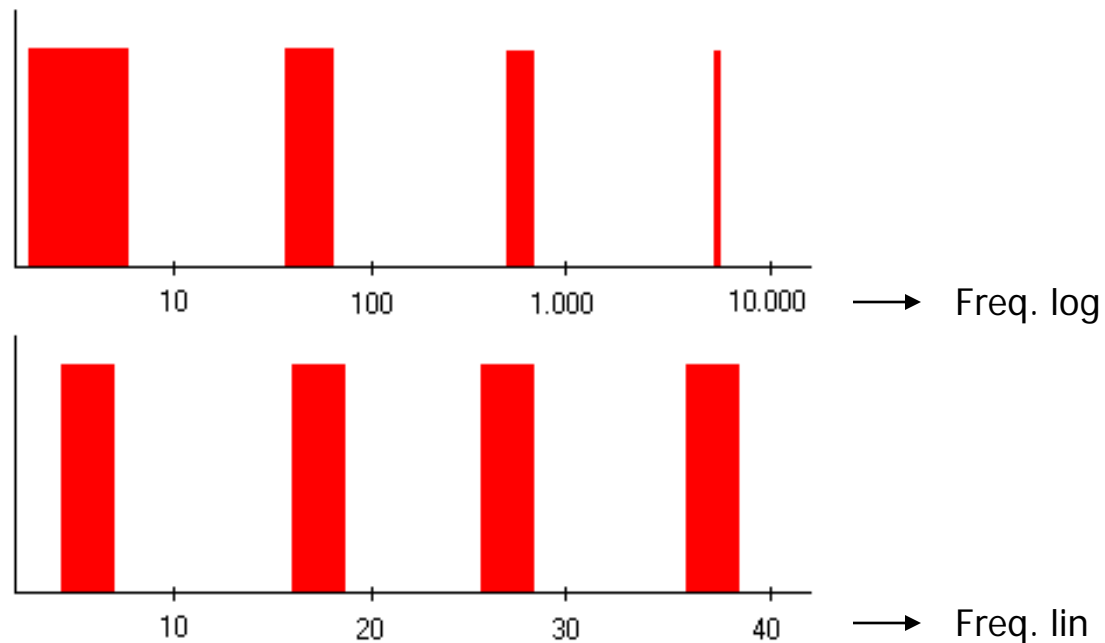


f_1 y f_2 se llaman frecuencias de corte inferior y superior.

El espectro CPB (Constant Percentage Band):

- Tipos de filtros paso-banda:

1.- Filtros de banda constante:

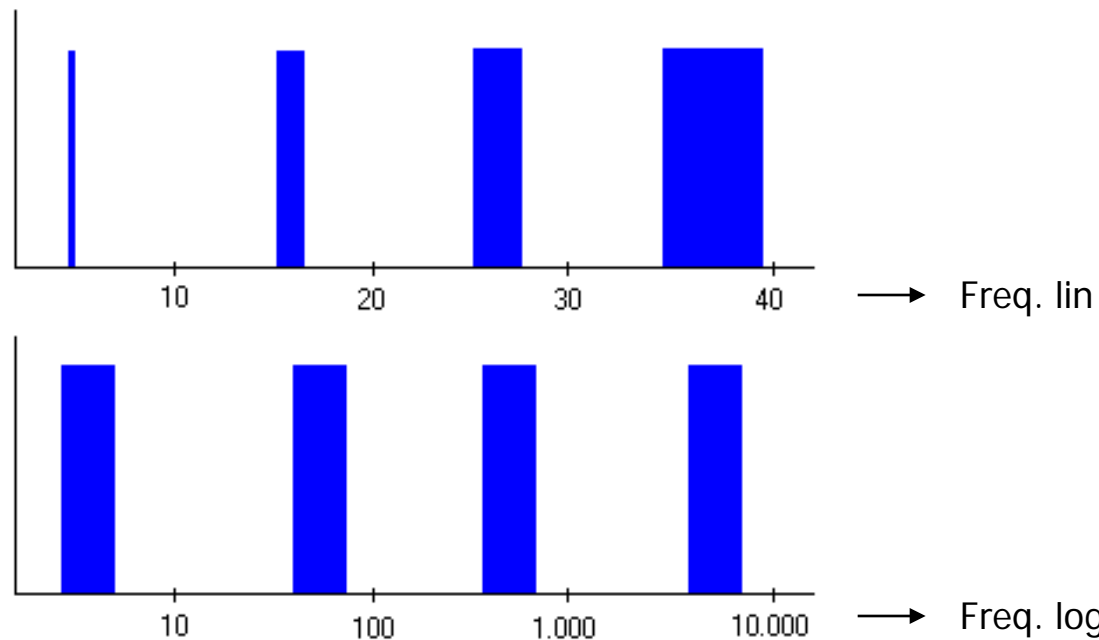


Sea cual sea su frecuencia central su banda pasante es siempre la misma.

El espectro CPB (Constant Percentage Band):

- Tipos de filtros paso-banda:

1.- Filtros de porcentaje constante:



No mantienen constante su banda pasante sino la relación de ésta con la frecuencia central.

El espectro CPB (Constant Percentage Band):

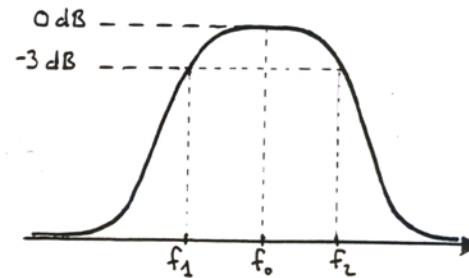
- Tipos de filtros paso-banda:

1.- Filtros de porcentaje constante:

Matemáticamente:

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

$$f_2 = 2^{\text{porcentaje}} \cdot f_1$$

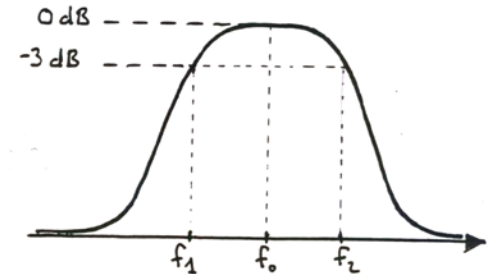


Conocido f_0 podemos deducir f_1 y f_2 (2eq/2inc.)

El espectro CPB (Constant Percentage Band):

- Tipos de filtros paso-banda:

1.- Filtros de porcentaje constante:



Filtros de Octava:

$$f_2 = 2 \cdot f_1$$

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = f_1 \cdot \sqrt{2}$$

$$\frac{f_2 - f_1}{f_0} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 70\%$$

Filtros de Tercio de octava:

$$f_2 = 2^{1/3} f_1$$

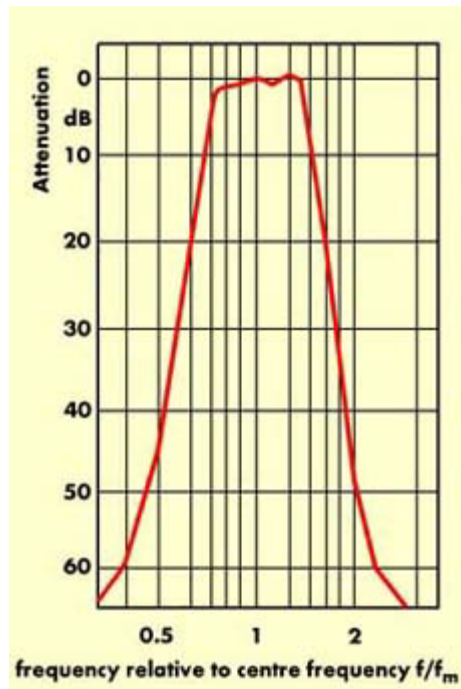
$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = 1.122 \cdot f_1$$

$$\frac{f_2 - f_1}{f_0} = 23\%$$

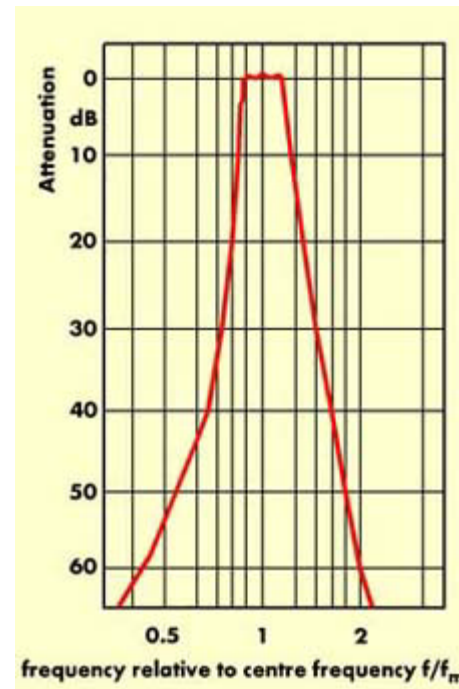
El espectro CPB (Constant Percentage Band):

- Tipos de filtros paso-banda:

1.- Filtros de porcentaje constante:



Filtro de Octava

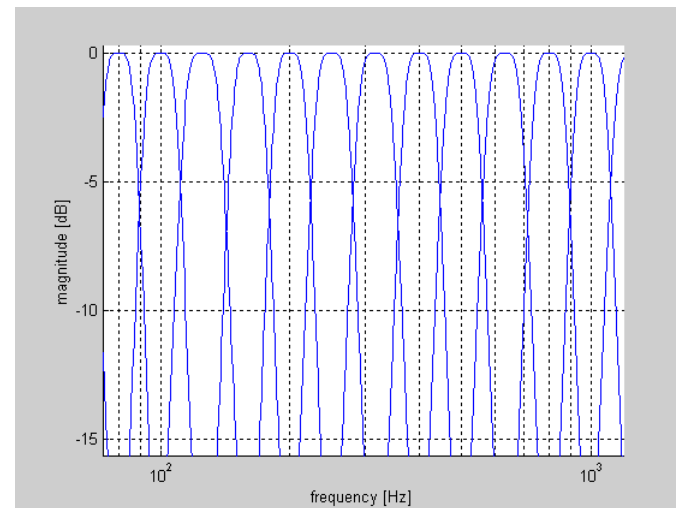


Filtro de Tercio de octava

El espectro CPB (Constant Percentage Band):

- El banco de filtros:

De cara a analizar el contenido espectral de las señales nos va a interesar utilizar muchos filtros paso-banda adjuntos, que entre todos cubran toda la zona del espectro que queramos estudiar.

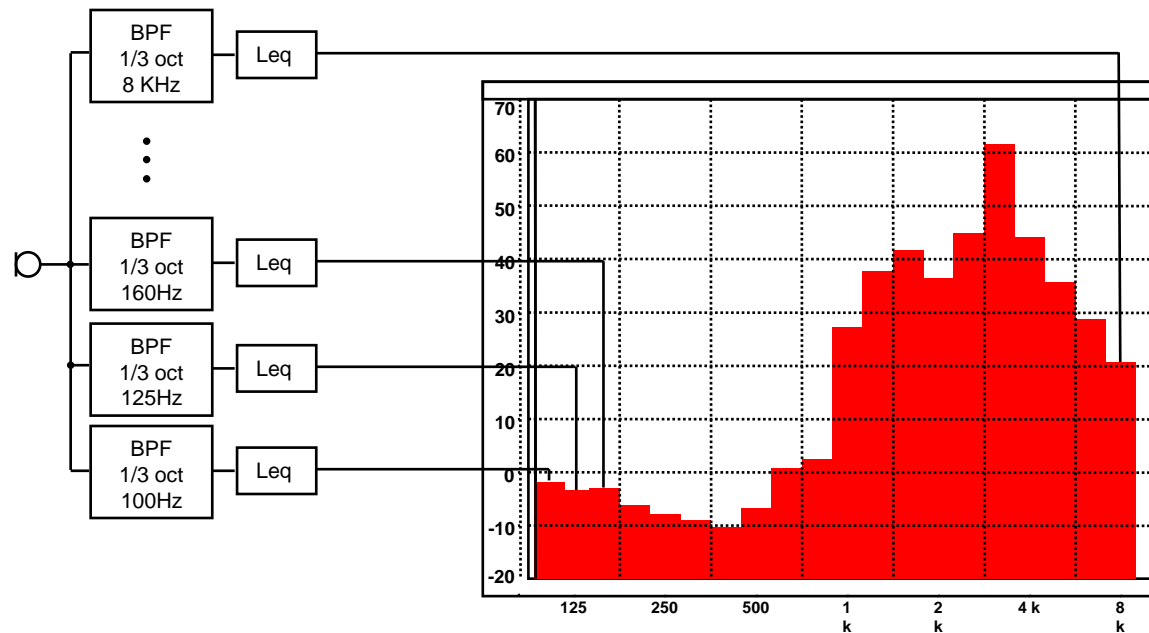


Este conjunto de filtros concatenados que acaban abarcando toda la banda frecuencial de interés se llama **Banco de filtros**.

El espectro CPB (Constant Percentage Band):

- El gráfico resultante del CPB:

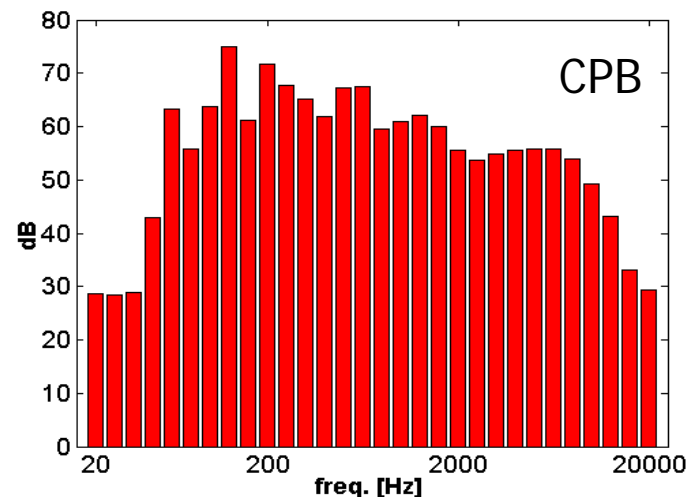
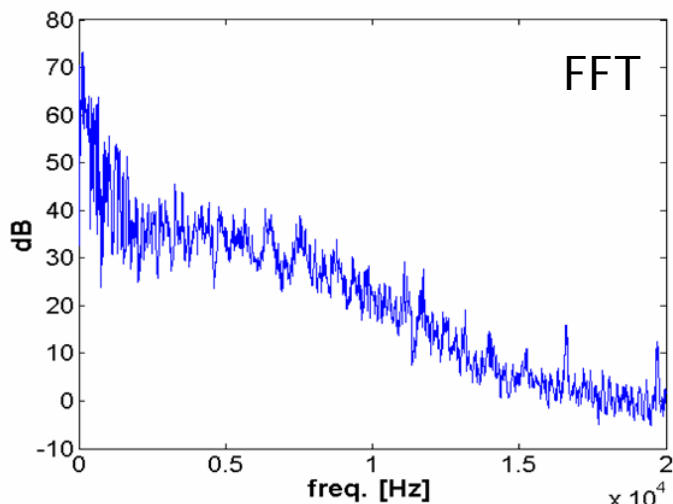
Para obtener el espectro mediremos el nivel (RMS) de la señal de salida de cada filtro y entre todos estos niveles formaran el espectro.



El espectro CPB (Constant Percentage Band):

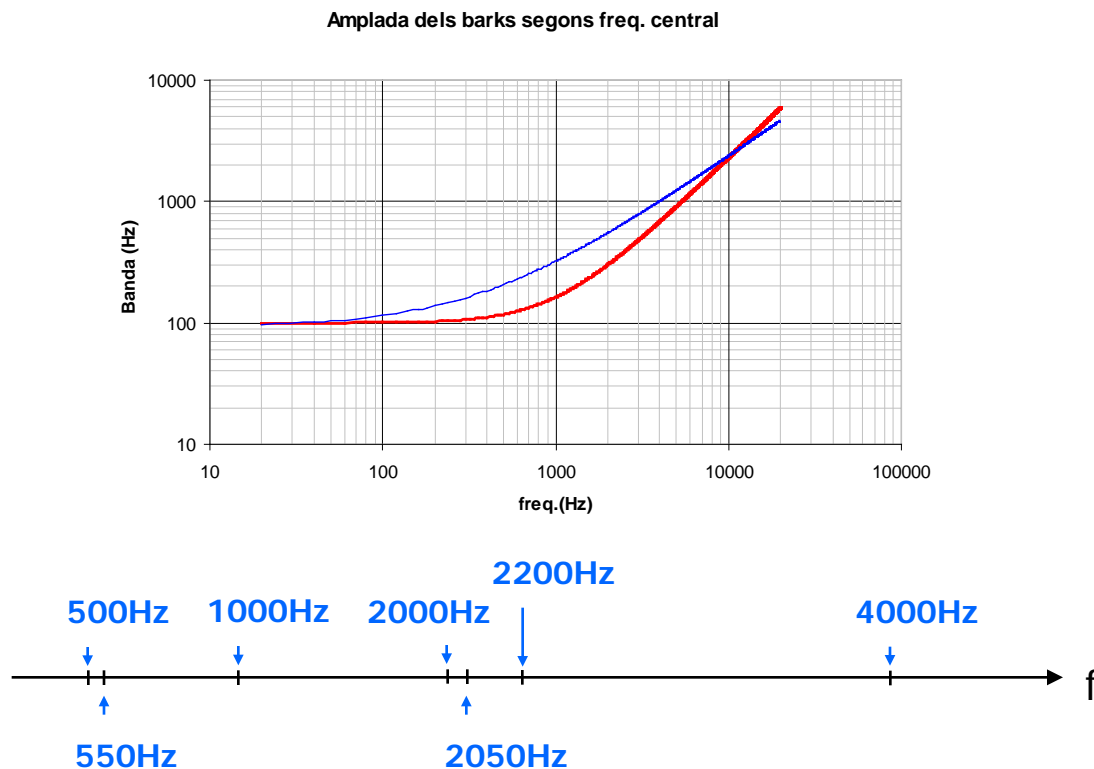
A la práctica se utilizan más los filtros de porcentaje constante (y especialmente los de 1/3 Oct) por seguir mejor el comportamiento del sistema auditivo humano.

El efecto de utilizar filtros de porcentaje constante es que el eje frecuencial queda logarítmico.



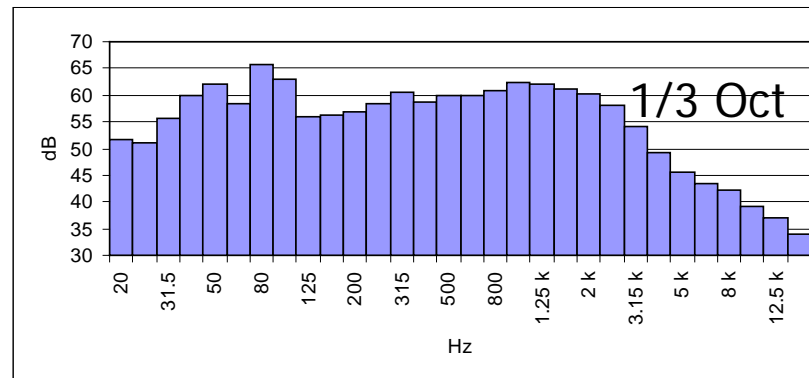
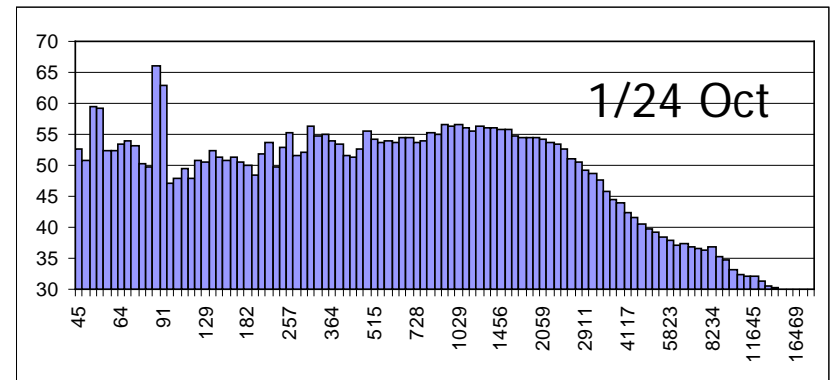
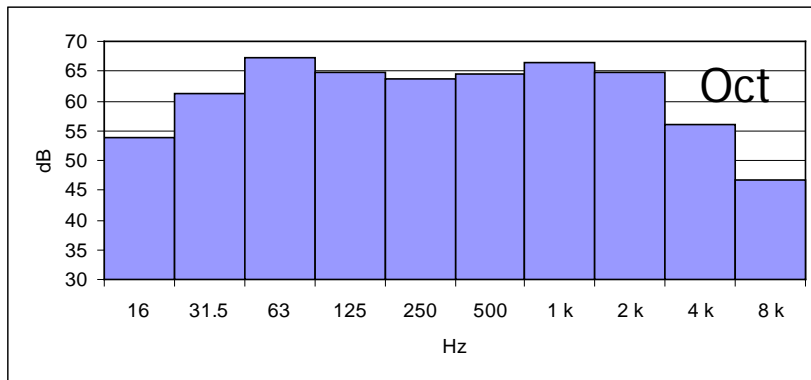
El espectro CPB (Constant Percentage Band):

Experimento:



El espectro CPB (Constant Percentage Band):

El efecto de utilizar porcentajes diferentes es la diferente resolución:



El espectro CPB (Constant Percentage Band):

Las frecuencias centrales de los espectros CPB están estandarizadas:

ISO Band Numbers	Octave Band Center Frequency	One-Third Octave Band Center Frequencies
11, 12, 13	16 Hz	12.5 Hz, 16 Hz, 20 Hz
14, 15, 16	31.5 Hz	25 Hz, 31 Hz, 40 Hz
17, 18, 19	63 Hz	50 Hz, 63 Hz, 80 Hz
20, 21, 22	125 Hz	100 Hz, 125 Hz, 160 Hz
23, 24, 25	250 Hz	200 Hz, 250 Hz, 315 Hz
26, 27, 28	500 Hz	400 Hz, 500 Hz, 630 Hz
29, 30, 31	1000 Hz	800 Hz, 1000 Hz, 1250 Hz
32, 33, 34	2000 Hz	1600 Hz, 2000 Hz, 2500 Hz
35, 36, 37	4000 Hz	3150 Hz, 4000 Hz, 5000 Hz
38, 39, 40	8000 Hz	6300 Hz, 8000 Hz, 10000 Hz
41, 42, 43	16000 Hz	12500 Hz, 16000 Hz, 20000 Hz

El espectro CPB (Constant Percentage Band):

El nivel global es el que mediríamos si hubiéramos calculado el nivel de presión (NP) de la señal sin filtrar.

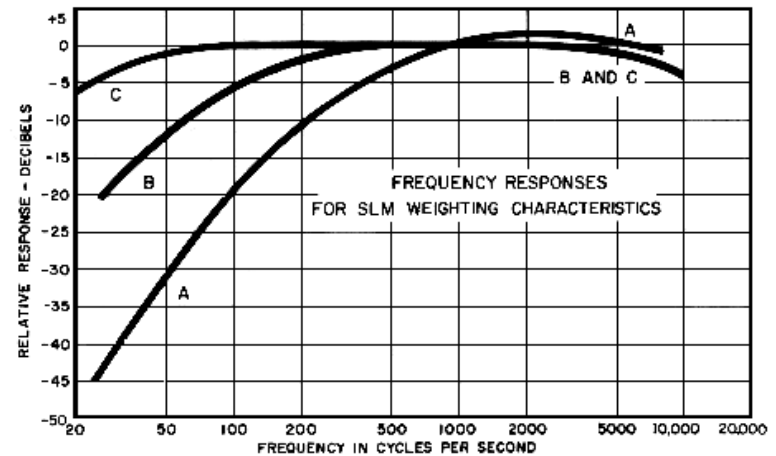
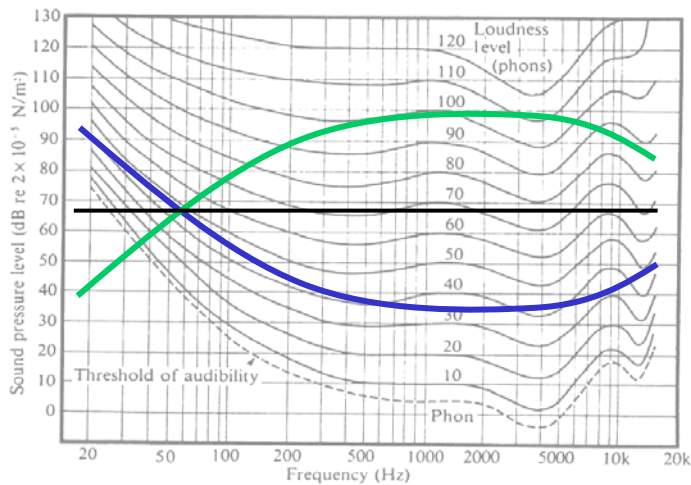
A partir del espectro podemos obtener el nivel global sumando las intensidades (nunca los dB!) de todas las bandas que componen el espectro.

Ejemplo:

125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz	16KHz	Lin
65dB	58dB	57dB	46dB	42dB	35dB	34dB	23dB	66.4dB

El espectro CPB (Constant Percentage Band):

Los valores globales también se pueden ponderar según la curva fisiológica llamada Ponderación A:



**Ponderación A
en Octavas:**

125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz	16KHz
-16.1 dB	-8.6 dB	-3.2 dB	0 dB	+1.2 dB	+ 1 dB	-1.1 dB	-6.6 dB

El espectro CPB (Constant Percentage Band):

	Curva-A	Curva-B	Curva-C
Frecuencia	Corrección	Corrección	Corrección
10	-70.4	-38.2	-14.3
12.5	-63.4	-33.2	-11.2
16	-56.7	-28.5	-8.5
20	-50.5	-24.2	-6.2
25	-44.7	-20.4	-4.4
31.5	-39.4	-17.1	-3.0
40	-34.6	-14.2	-2.0
50	-30.2	-11.6	-1.3
63	-26.2	-9.3	-0.8
80	-22.5	-7.4	-0.5
100	-19.1	-5.6	-0.3
125	-16.1	-4.2	-0.2
160	-13.4	-3.0	-0.1
200	-10.9	-2.0	0
250	-8.6	-1.3	0
315	-6.6	-0.8	0
400	-4.8	-0.5	0

	Curva-A	Curva-B	Curva-C
Frecuencia	Corrección	Corrección	Corrección
500	-3.2	-0.3	0
630	-1.9	-0.1	0
800	-0.8	0	0
1000	0	0	0
1250	+0.6	0	0
1600	+1.0	0	-0.1
2000	+1.2	-0.1	-0.2
2500	+1.3	-0.2	-0.3
3150	+1.2	-0.4	-0.5
4000	+1.0	-0.7	-0.8
5000	+0.5	-1.2	-1.3
6300	-0.1	-1.9	-2.0
8000	-1.1	-2.9	-3.0
10000	-2.5	-4.3	-4.4
12500	-4.3	-6.1	-6.2
16000	-6.6	-8.4	-8.5
20000 Hz	-9.3	-11.1	-11.2

El espectro CPB (Constant Percentage Band):

Ejemplo anterior, ahora calculando el nivel global en dBA:

125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz	16KHz
65	58	57	46	42	35	34	23
-16.1	-8.6	-3.2	0	+1.2	+ 1	-1.1	-6.6
48.9	49.4	53.8	46	43.2	36	32.9	16.4dB

125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz	16KHz	A
48.9	49.4	53.8	46	43.2	36	32.9	16.4	56.7 dBA

Señales para medidas acústicas:

Las dos señales mas utilizadas para hacer medidas acústicas son:

Ruido blanco

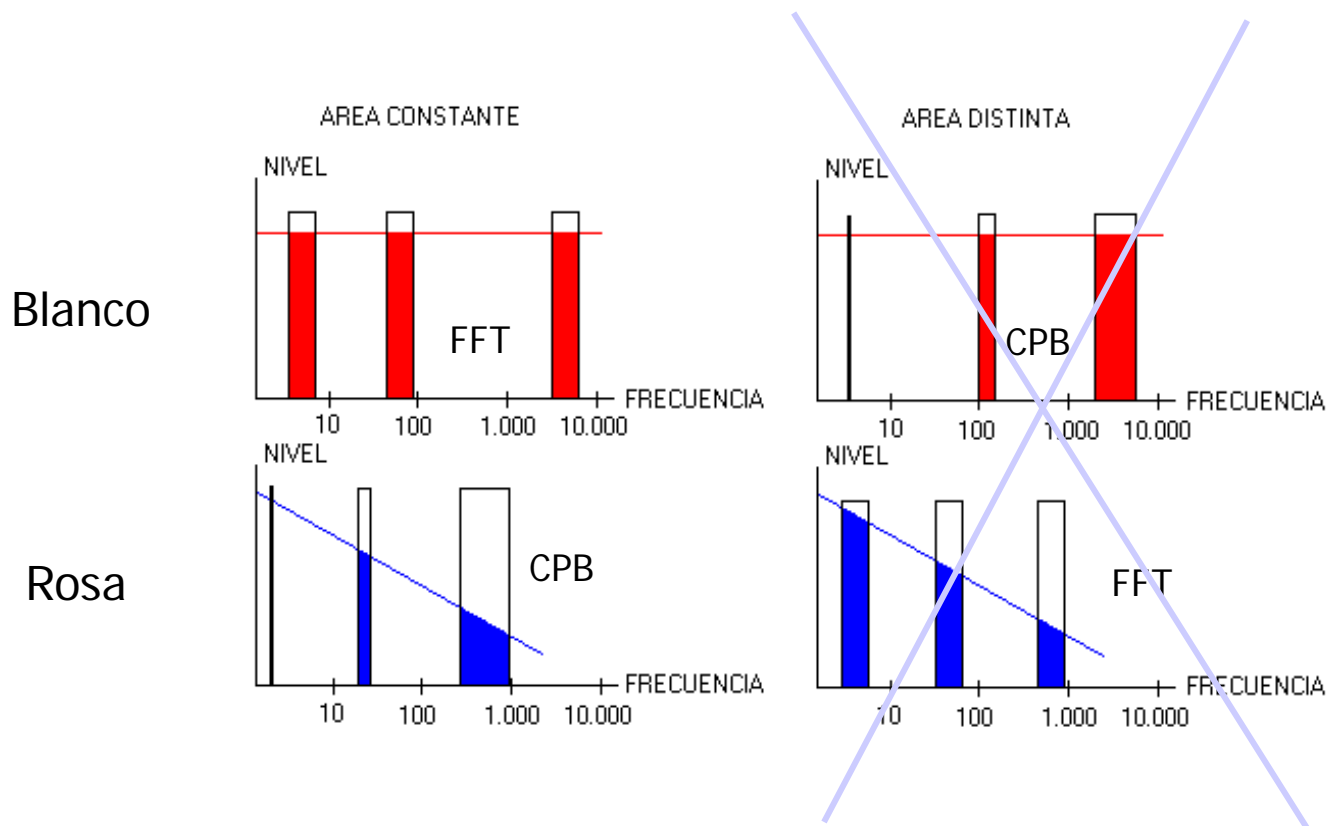
Ruido rosa

- 3dB/oct

3dB/oct

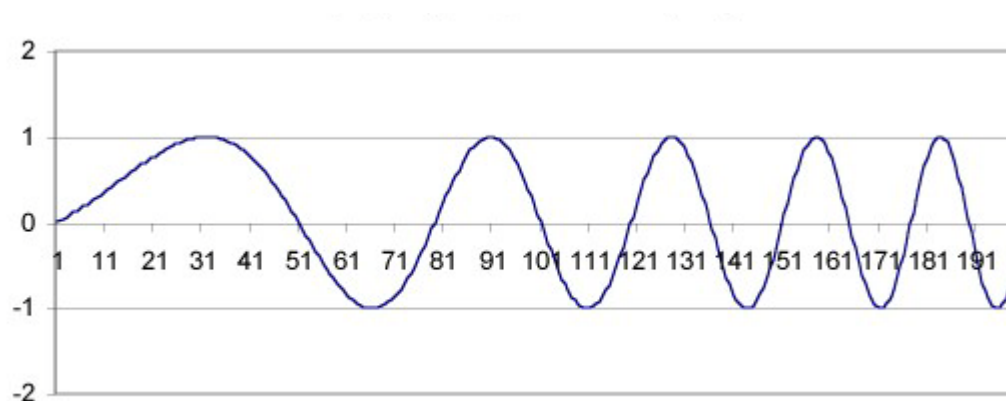
Señales para medidas acústicas:

El ruido blanco se acostumbra a usar en combinación con el análisis FFT y el ruido rosa cuando se trabaja con espectros de porcentaje constante (CPB):



Señales para medidas acústicas:

Otra señal utilizada en medidas acústicas es el **barrido en frecuencia** o **sweep**. Consiste en una señal senoidal que incrementa de frecuencia a medida que pasa el tiempo, pero mantiene la amplitud constante:



Señales para medidas acústicas:

El contenido espectral de la señal sweep equivale al de un ruido blanco:

FFT

Así como el ruido blanco y rosa son señales estacionarios, el espectro del barrido en frecuencia evoluciona con el tiempo.

Su uso requiere promediado de espectros y sincronización con el equipo de medida.