

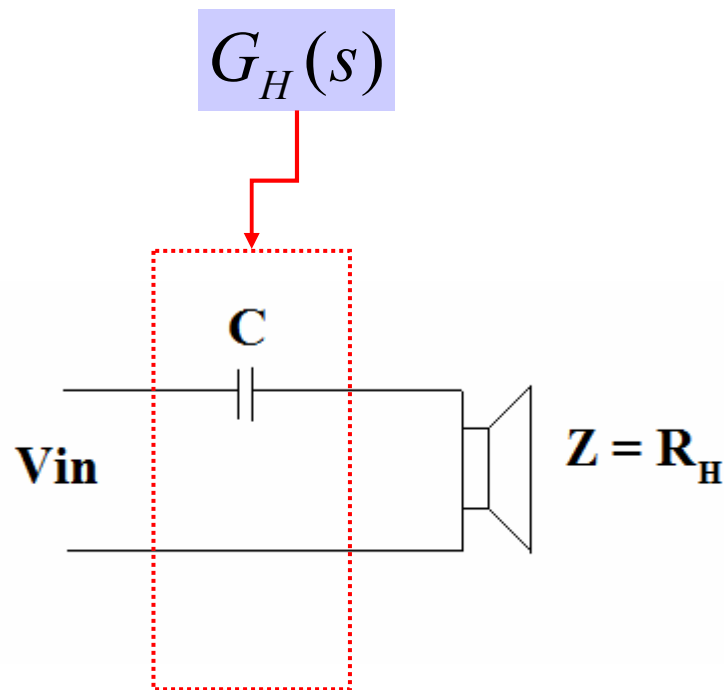
Crossovers

Recinto para Altavoces

Prof. Ing. Andrés Barrera A.

2010

1.- Cálculo de los componentes para filtros pasivos



- La función de transferencia del circuito:

$$G_H(s) = \frac{sCR_H}{sCR_H + 1}$$

1.- Cálculo de los componentes para filtros pasivos

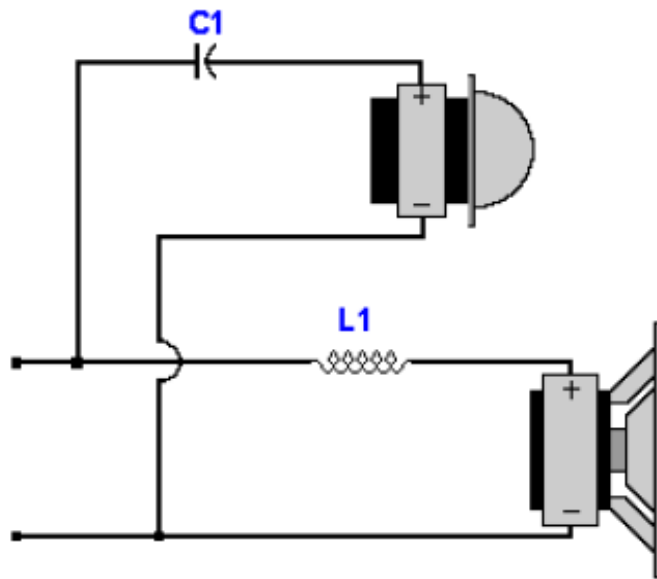
- Alineamos con la función de transferencia de un filtro B1:

$$G_H(s) = \frac{sCR_H}{sCR_H + 1} \Leftrightarrow G_H(s_n) = \frac{s_n}{s_n + 1}$$

- De donde encontramos:

$$C = \frac{1}{2\pi f_C R_H} = \frac{0,159}{f_C R_H}$$

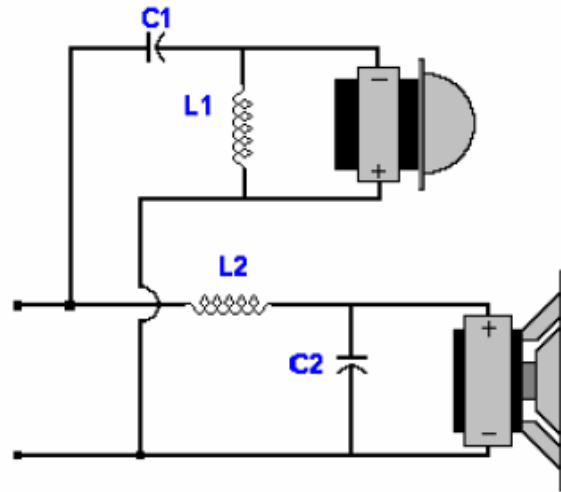
2.- Crossovers 2 vías 1º orden



B1 en fase (filtro de
voltaje constante)

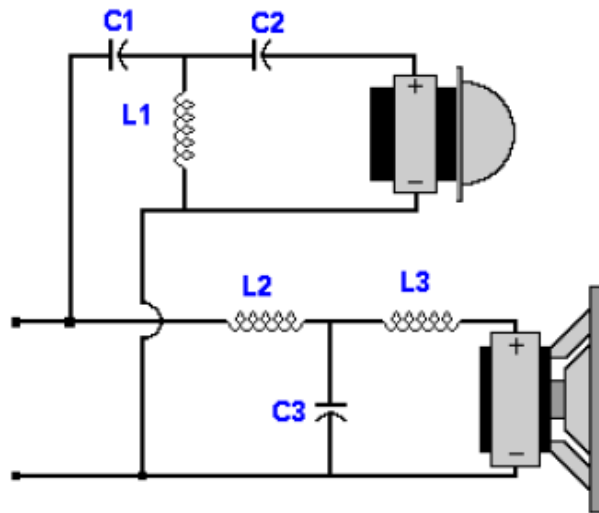
<u>Butterworth</u>
$C1 = \frac{0.159}{R_H \cdot f_c}$
$L1 = \frac{R_L}{6.28 \cdot f_c}$

2.- Crossovers 2 vías 2º orden



<u>Butterworth</u>	<u>Linkwitz-Riley</u>	<u>Bessel</u>	<u>Chebyshev</u>
$C1 = \frac{0.1125}{R_H \cdot f_c}$	$C1 = \frac{0.0796}{R_H \cdot f_c}$	$C1 = \frac{0.0912}{R_H \cdot f_c}$	$C1 = \frac{0.1592}{R_H \cdot f_c}$
$C2 = \frac{0.1125}{R_L \cdot f_c}$	$C2 = \frac{0.0796}{R_L \cdot f_c}$	$C2 = \frac{0.0912}{R_L \cdot f_c}$	$C2 = \frac{0.1592}{R_L \cdot f_c}$
$L1 = \frac{0.2251 \cdot R_H}{f_c}$	$L1 = \frac{0.3183 \cdot R_H}{f_c}$	$L1 = \frac{0.2756 \cdot R_H}{f_c}$	$L1 = \frac{0.1592 \cdot R_H}{f_c}$
$L2 = \frac{0.2251 \cdot R_L}{f_c}$	$L2 = \frac{0.3183 \cdot R_L}{f_c}$	$L2 = \frac{0.2756 \cdot R_L}{f_c}$	$L2 = \frac{0.1592 \cdot R_L}{f_c}$

2.- Crossovers 2 vías 3º orden



Butterworth

$$C1 = \frac{0.1061}{R_H \cdot f_c}$$

$$C2 = \frac{0.3183}{R_H \cdot f_c}$$

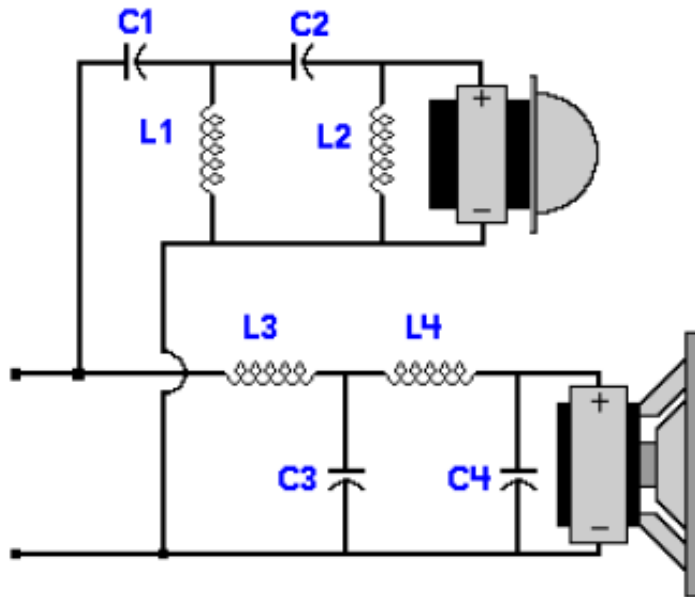
$$C3 = \frac{0.2122}{R_L \cdot f_c}$$

$$L1 = \frac{0.1194 \cdot R_H}{f_c}$$

$$L2 = \frac{0.2387 \cdot R_L}{f_c}$$

$$L3 = \frac{0.0796 \cdot R_L}{f_c}$$

2.- Crossovers 2 vías 4º orden



<u>Butterworth</u>	<u>Linkwitz-Riley</u>	<u>Bessel</u>
$C1 = \frac{0.1040}{R_H \cdot f_c}$	$C1 = \frac{0.0844}{R_H \cdot f_c}$	$C1 = \frac{0.0702}{R_H \cdot f_c}$
$C2 = \frac{0.1470}{R_H \cdot f_c}$	$C2 = \frac{0.1688}{R_H \cdot f_c}$	$C2 = \frac{0.0719}{R_H \cdot f_c}$
$C3 = \frac{0.2509}{R_L \cdot f_c}$	$C3 = \frac{0.2533}{R_L \cdot f_c}$	$C3 = \frac{0.2336}{R_L \cdot f_c}$
$C4 = \frac{0.0609}{R_L \cdot f_c}$	$C4 = \frac{0.0563}{R_L \cdot f_c}$	$C4 = \frac{0.0504}{R_L \cdot f_c}$
$L1 = \frac{0.1009 \cdot R_H}{f_c}$	$L1 = \frac{0.1000 \cdot R_H}{f_c}$	$L1 = \frac{0.0862 \cdot R_H}{f_c}$
$L2 = \frac{0.4159 \cdot R_H}{f_c}$	$L2 = \frac{0.4501 \cdot R_H}{f_c}$	$L2 = \frac{0.4983 \cdot R_H}{f_c}$
$L3 = \frac{0.2437 \cdot R_L}{f_c}$	$L3 = \frac{0.3000 \cdot R_L}{f_c}$	$L3 = \frac{0.3583 \cdot R_L}{f_c}$
$L4 = \frac{0.1723 \cdot R_L}{f_c}$	$L4 = \frac{0.1500 \cdot R_L}{f_c}$	$L4 = \frac{0.1463 \cdot R_L}{f_c}$

3.- Consideraciones acerca de los filtros

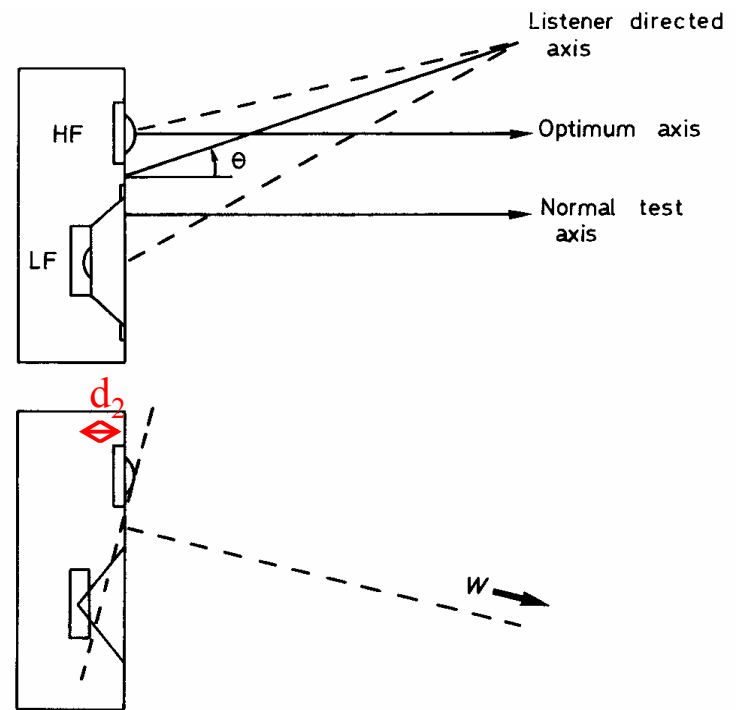
- Todas las redes de filtros de **orden par para conexión en contrafase** tienen una diferencia de fase igual a cero en la frecuencia de cruce (Casos “All-Pass” LR2, LR4; “Non-All-Pass” B2, B4).
- **Orden par (LR2, LR4, B2 y B4) conexión en fase**, poseen una diferencia de fase igual a 180° , produciendo cancelaciones en la frecuencia de cruce.

3.- Consideraciones acerca de los filtros

- Centro acústico de los drivers: bobina.
- ZDP: Zero Delay Plane.

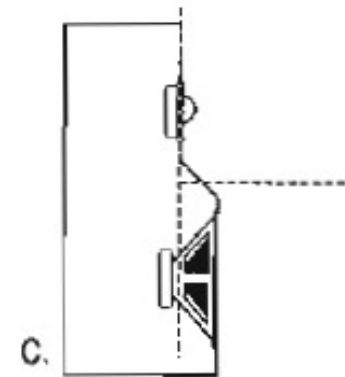
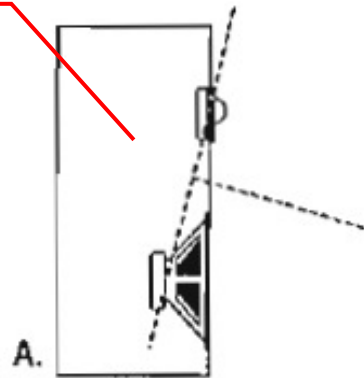


Xovers

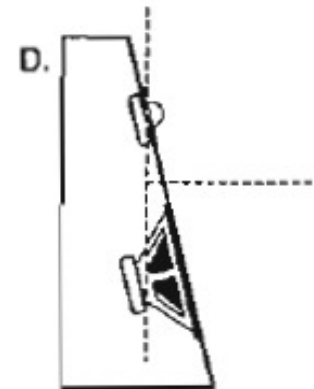
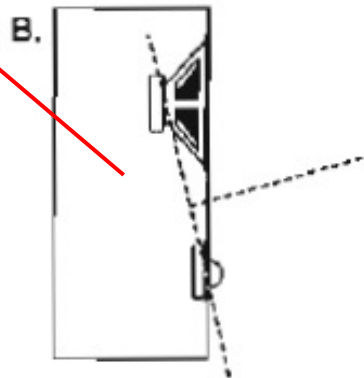


3.- Consideraciones acerca de los filtros

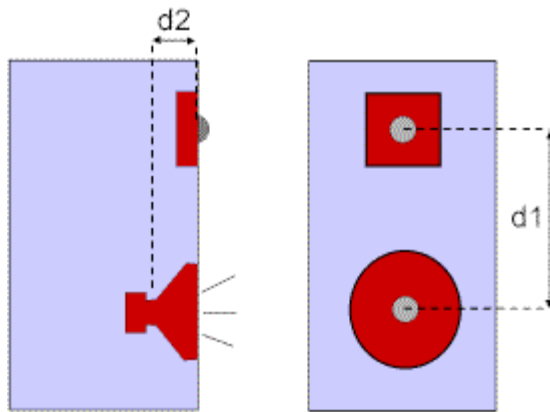
ZDP en el eje si el
tweeter es retrasado
en $t = d_2/c$



Recomendada
cuando se usa
xover orden
impar (B1 en
fase, B3 en
contrafase)



3.- Consideraciones acerca de los filtros



Función de transferencia total
del xover.

$$G_T(s) = G_L(s) \pm G_H(s) \cdot H(s)$$

Xovers

- Si desea considerarse el efecto de la distancia d_2 en la respuesta:

$$t = \frac{d_2}{c} \Rightarrow \phi = \omega t = \frac{\omega d_2}{c} = k d_2$$

$$H(s) = e^{j k d_2}$$

Función de transferencia que
representa el retraso de
tiempo generado por d_2 .

3.- Consideraciones acerca de los filtros

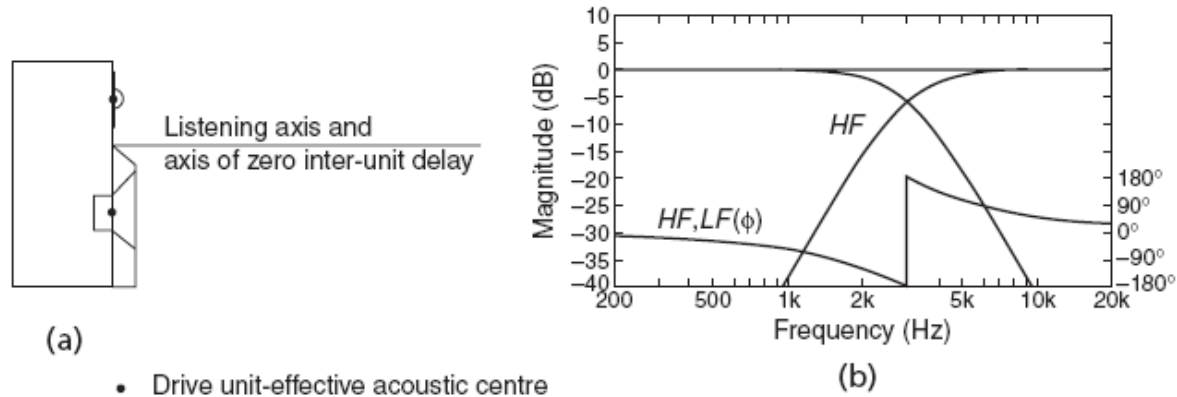


Figure 5.13. Two-way system with zero inter-unit time delay on listening axis, (a) system layout, (b) system response.

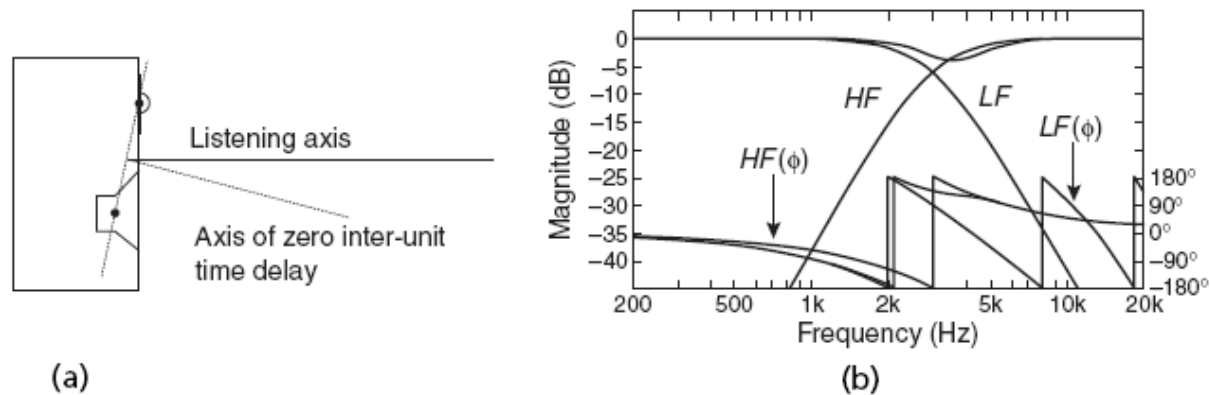
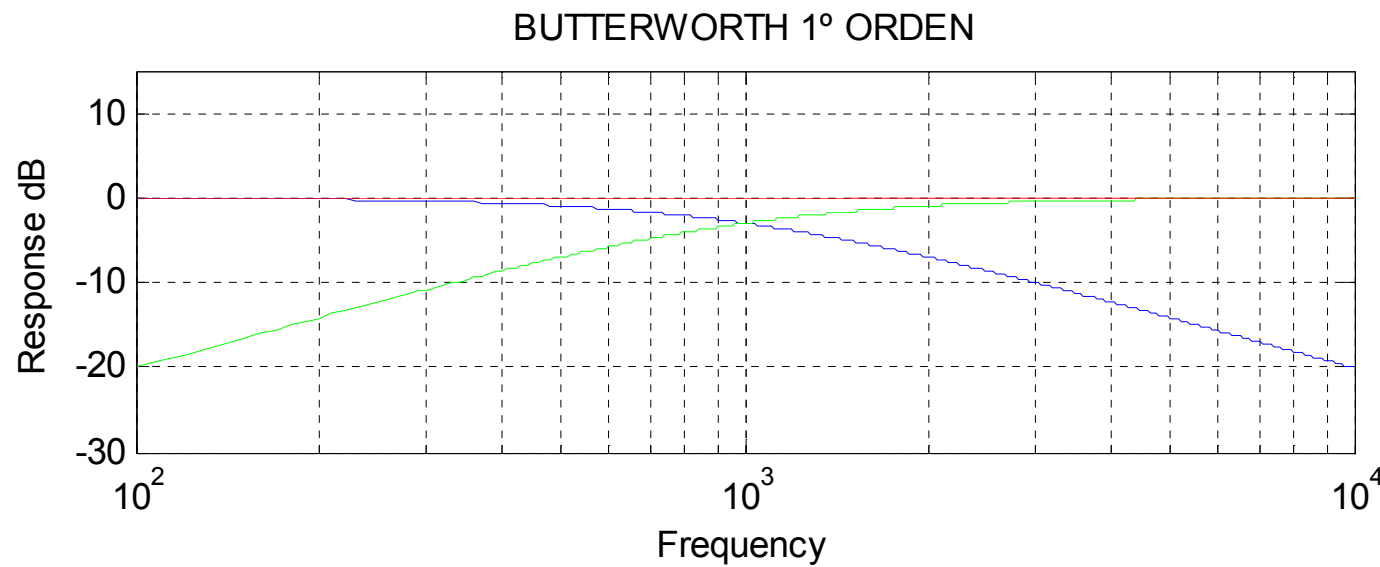
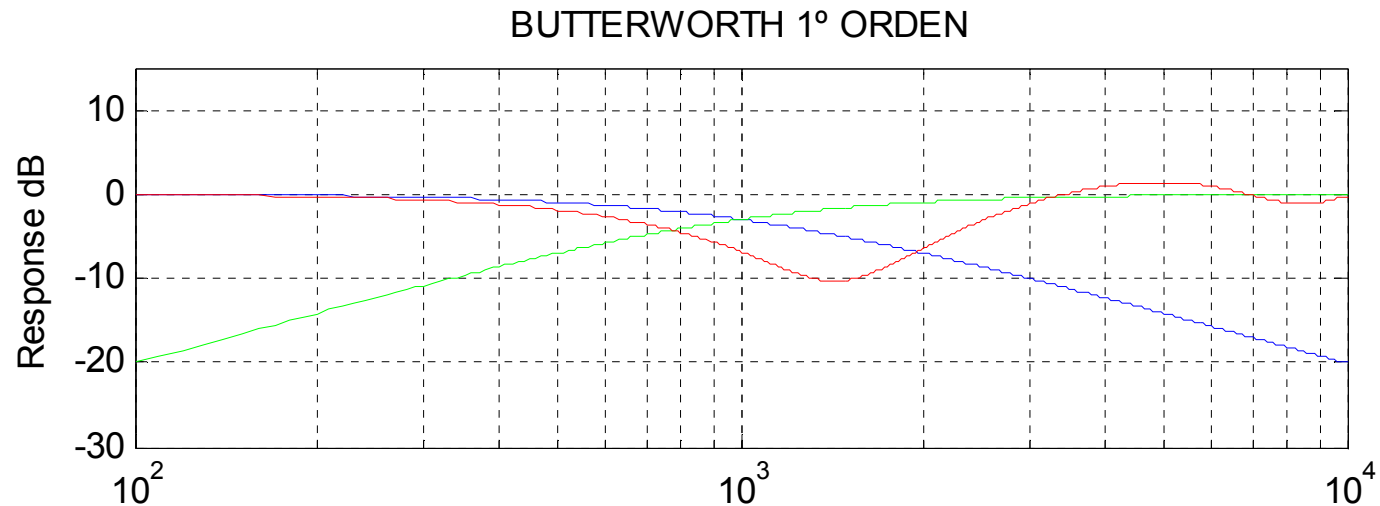
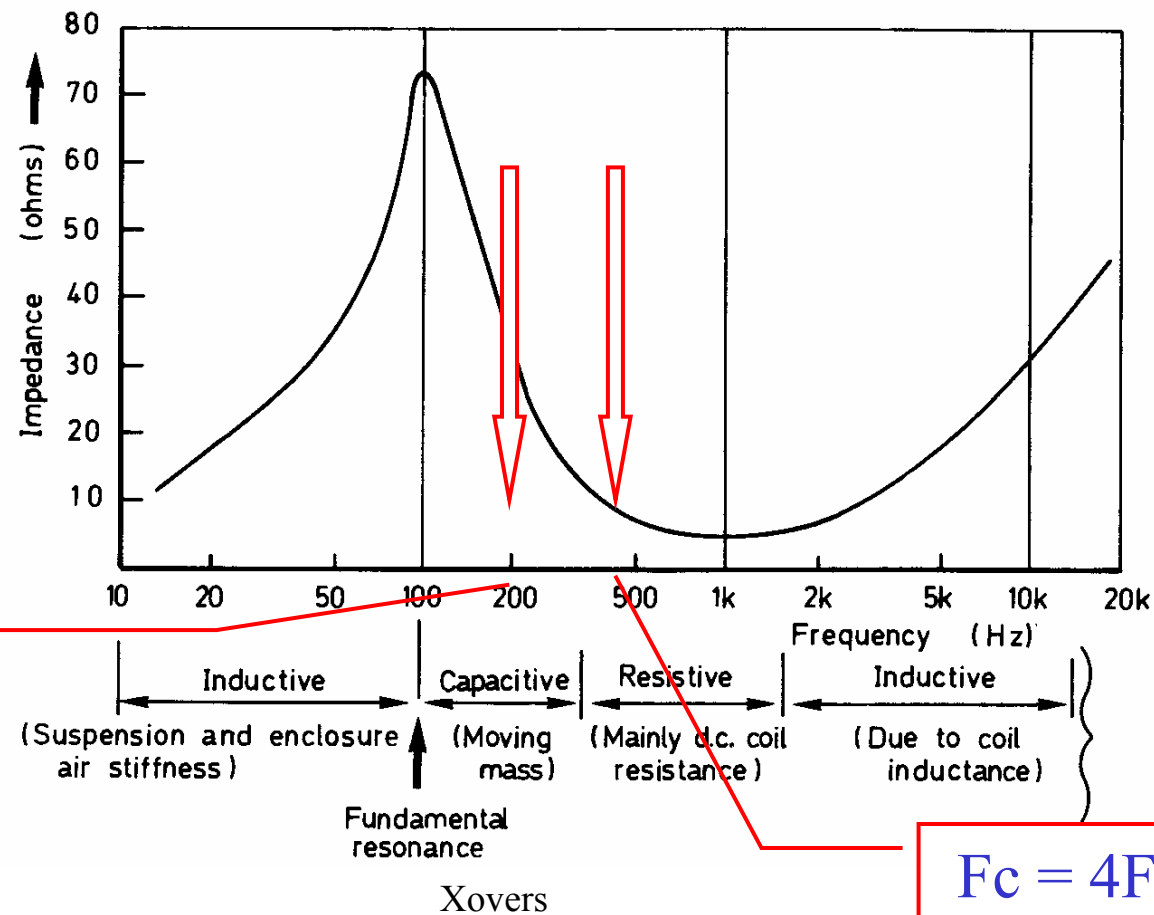


Figure 5.14. Two-way system with 88 μ s inter-unit time delay on listening axis, (a) system layout, (b) system response.

3.- Consideraciones acerca de los filtros



4.- Selección de la frecuencia de cruce en mids y tweeters (límite inferior)



4.- Selección de la frecuencia de cruce en woofers (límite superior)

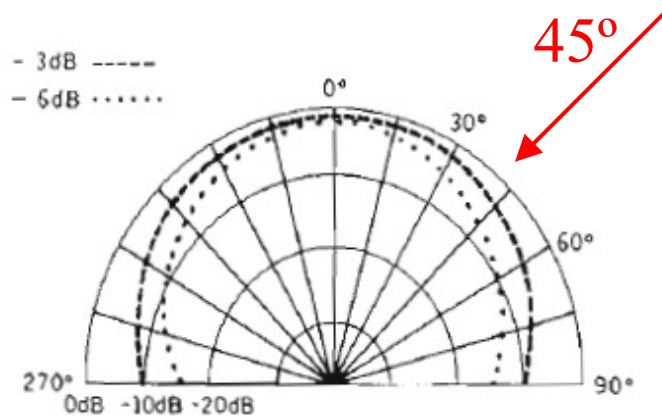


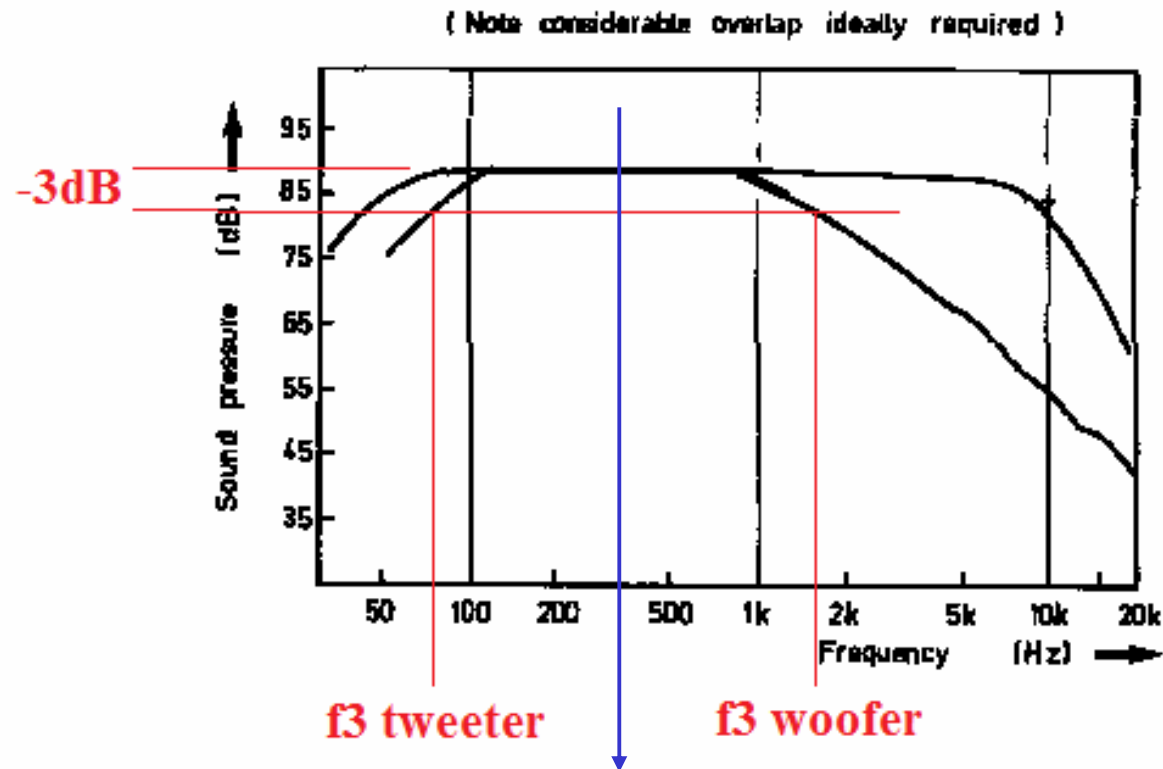
TABLE 7.4

HORIZONTAL POLAR RESPONSE CRITERIA
 FOR DETERMINING THE UPPER LIMIT FOR
 LOW-PASS CROSSOVER FREQUENCIES.

Driver Dia. "	Frequency	
	- 3dB/Hz	- 6dB/Hz
15	661	1043Hz
12	912	1427Hz
10	1065	1674Hz
8	1302	2055Hz
7	1540	2421Hz
5	2051	3229Hz
4	2687	4238Hz

(según Dickason)

4.- Selección de la frecuencia de cruce



$$f_C = \sqrt{f_{3TWEETER} \cdot f_{3WOOFER}}$$

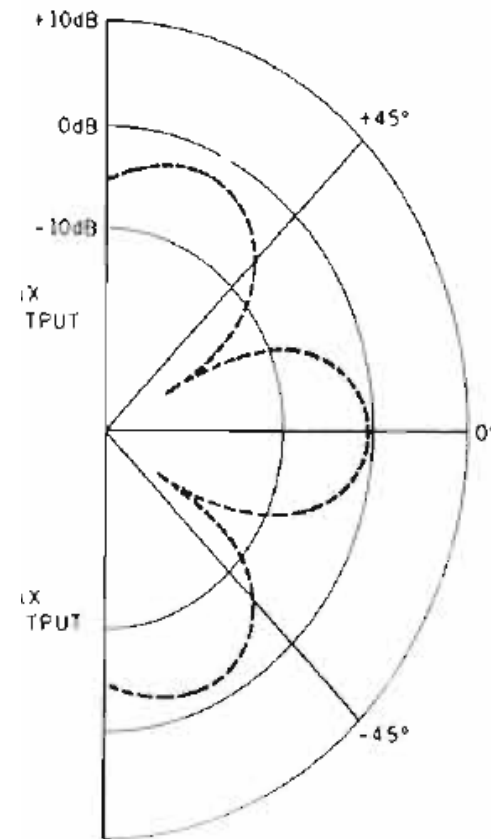
Xovers

4.- Selección de la frecuencia de cruce

- Para lograr un patrón polar uniforme, woofer y tweeter deben estar lo más cerca posible uno del otro.

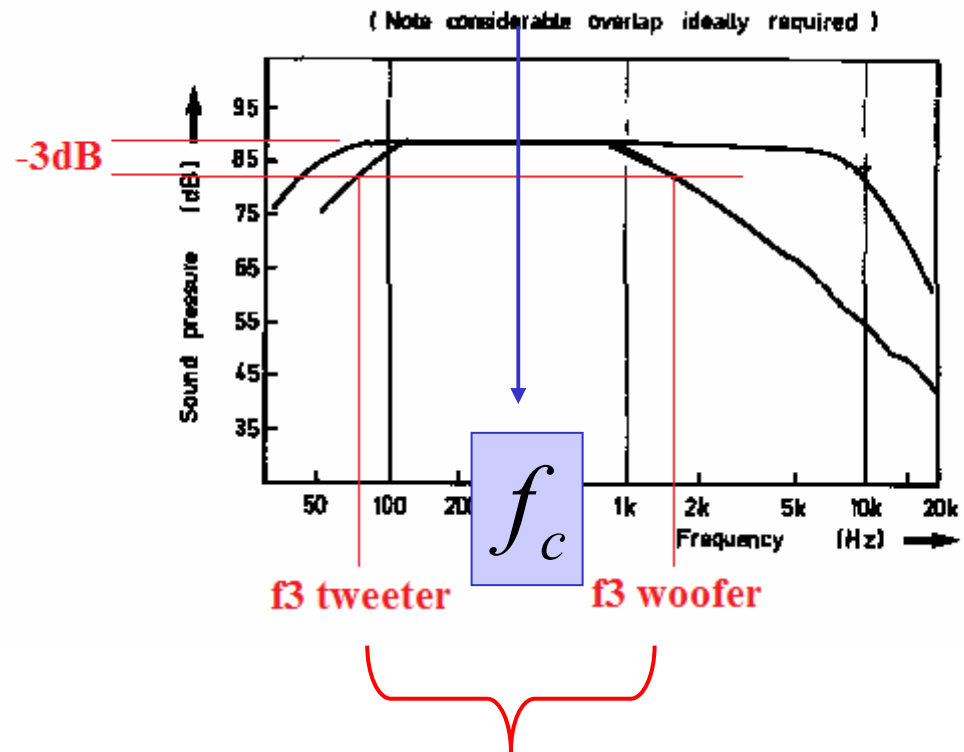
$$d_1 \leq \lambda$$

$$\lambda = c / f_c$$



5.- Orden del filtro recomendado

- Orden = f (traslape).
- Traslape 2 octavas \Leftrightarrow Filtro 1º orden (6dB/oct).
- Traslape 1 octava \Leftrightarrow Filtro 3º (18dB/oct) o 4º orden (24dB/oct).



6.- Validez de las Fórmulas de Diseño

CONDICIONES

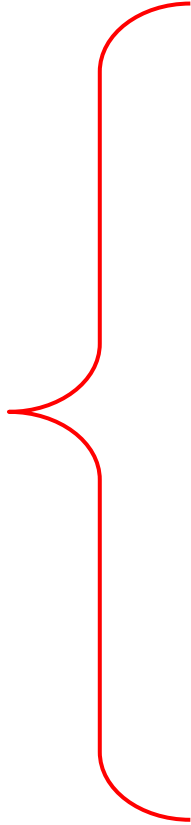
- Ambos drivers radian en el mismo plano (considerar ZDP).
- La respuesta de frecuencia del componente se extiende entre 1,5 - 2 octavas por sobre o por debajo f_c , con una respuesta razonablemente plana.
- El filtro está terminado en una impedancia de magnitud plana y con fase nula.

En caso contrario.

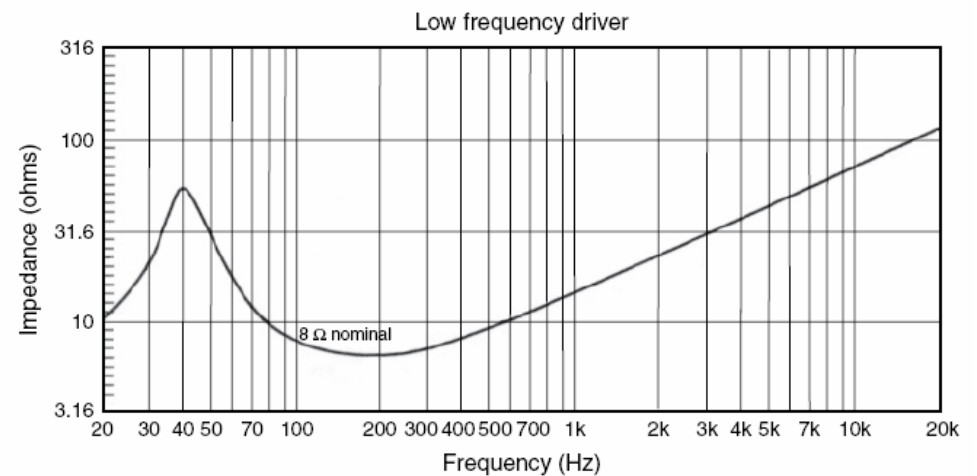
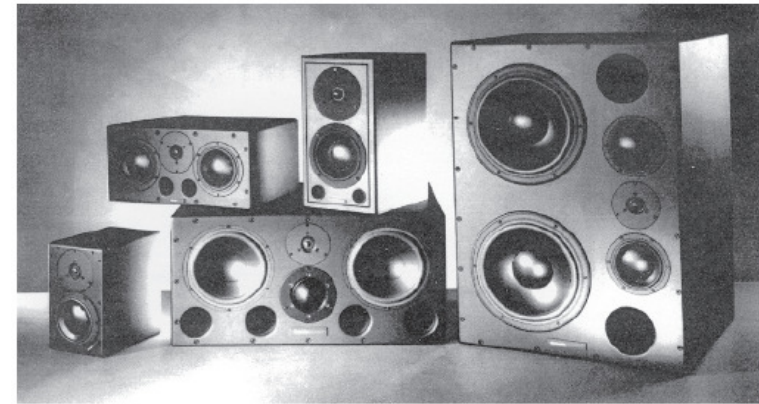
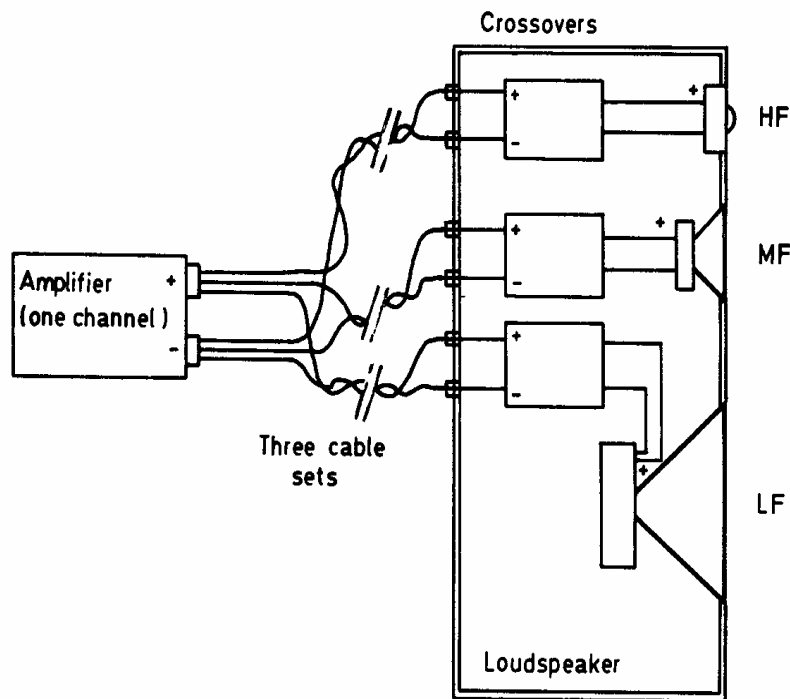
LAS
PREDICCIONES
NO SE
AJUSTARÁN A
LOS
RESULTADOS
MEDIDOS!!!!

6.- Validez de las Fórmulas de Diseño

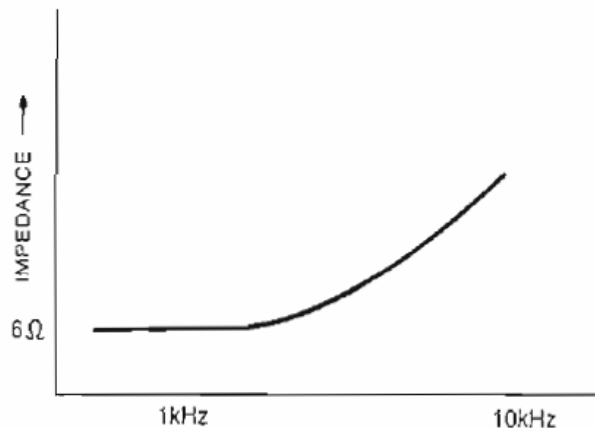
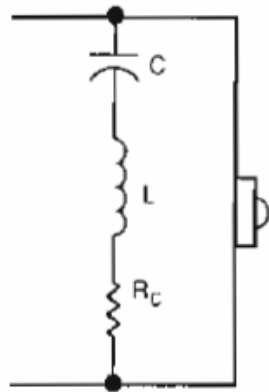
SOLUCIÓN???

- 
- 1) **Impedancia plana** (uso de filtros conjugados; filtros RC, Filtros NOTCH)
 - 2) **Extensión de la respuesta** = filtros de mayor orden (4°)
 - 3) **ZDP** = Offset horizontal (hacer $d_2 = 0$ ó filtros de alto orden)

7.- Relación Amplificador de Potencia / Caja Acústica



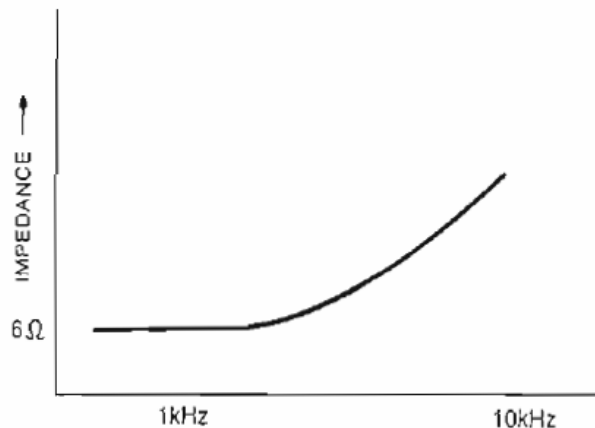
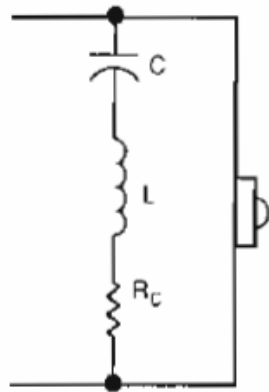
8.- Filtro Notch – Filtro de compensación de impedancia (Filtro RLC)



$$R_C = R_E$$
$$C = \frac{0,03003}{f_s}$$
$$L = \frac{0,02252}{f_s^2 C}$$

- Sólo tweeters y mids.

8.- Filtro Notch – Filtro de compensación de impedancia (Filtro RLC)



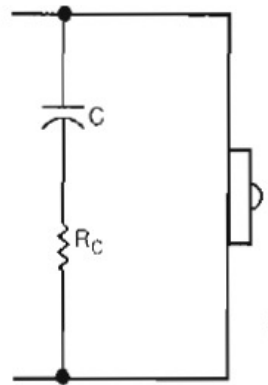
- Si se conocen los parámetros TS:

$$C = \frac{0,1592}{R_E Q_{ES} f_S}$$

$$L = \frac{0,1592 R_E Q_{ES}}{f_S}$$

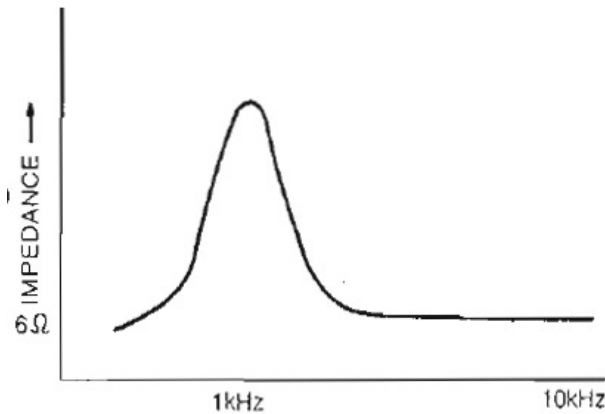
$$R_C = R_E + \frac{R_E Q_{ES}}{Q_{MS}}$$

9.- Filtro Zobel – Filtro de compensación de impedancia (Filtro RC)



$$R_C = 1,25R_E$$

$$C = \frac{L_E}{R_C^2}$$



- R_E = Resistencia c.c. del altavoz
- L_E = inductancia altavoz.
- Sólo woofers o mids.

10.- Ejemplo

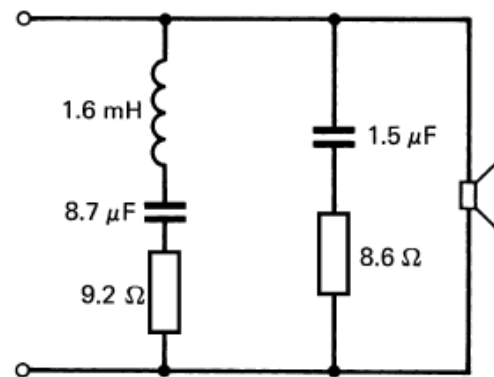


Figure 6.9. Conjugate impedance compensation of 19 mm plastic foil HF unit.

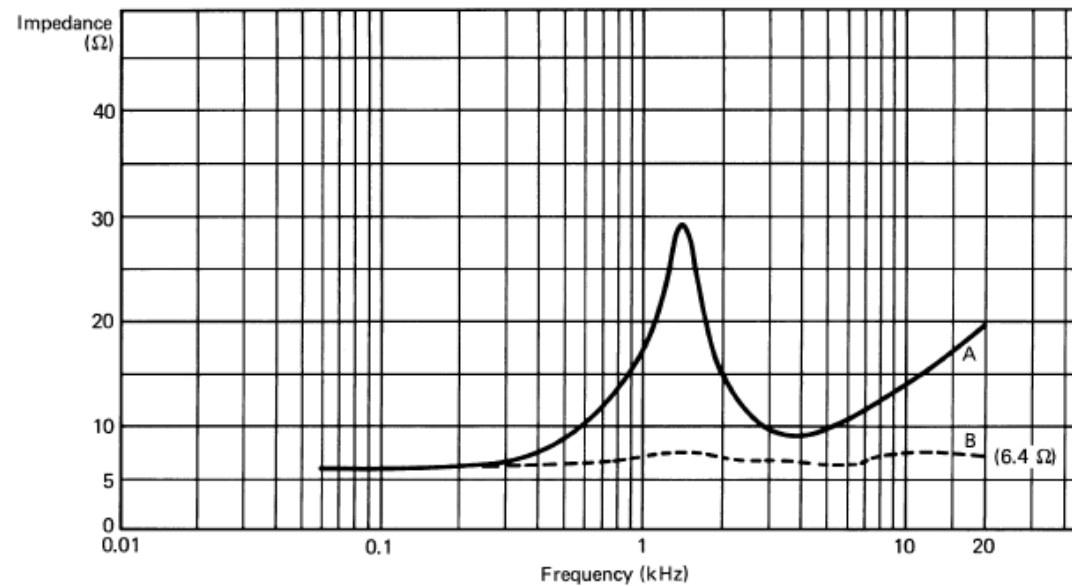
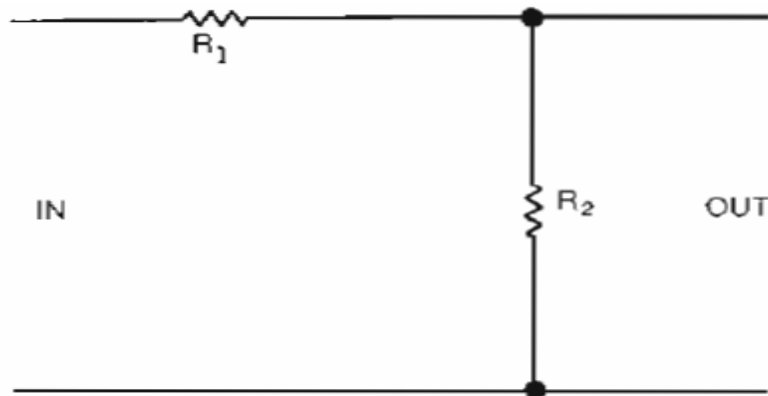


Figure 6.10. Compensated impedance curve of 19 mm plastic foil HF unit (KEF T27).

11.- Red de Atenuación L-Pad (Loss Pad)



$$R_2 = \frac{Z \cdot 10^{-A/20}}{1 - 10^{-A/20}}$$
$$R_1 = Z - \frac{R_2 Z}{R_2 + Z}$$

- Z: Impedancia nominal del altavoz a atenuar.
- A: atenuación requerida en dB

12.- Ejercicio

Sistema 2 vías compuesto por:

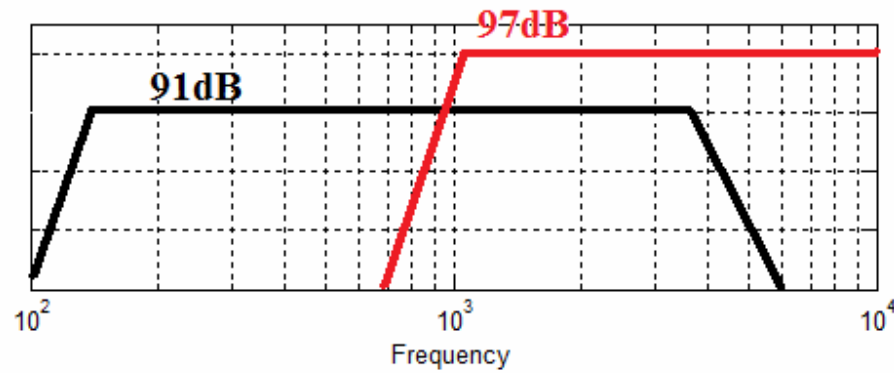
- **A. Tweeter**

- Rango de frecuencia: 1kHz
– 20kHz
- Sensibilidad = 97
dB(1W,1m)
- $F_s = 1\text{kHz}$
- $R_e = 7\Omega$
- $Z = 8\Omega$
- $P_e = 80\text{W}$

- **B. Woofer**

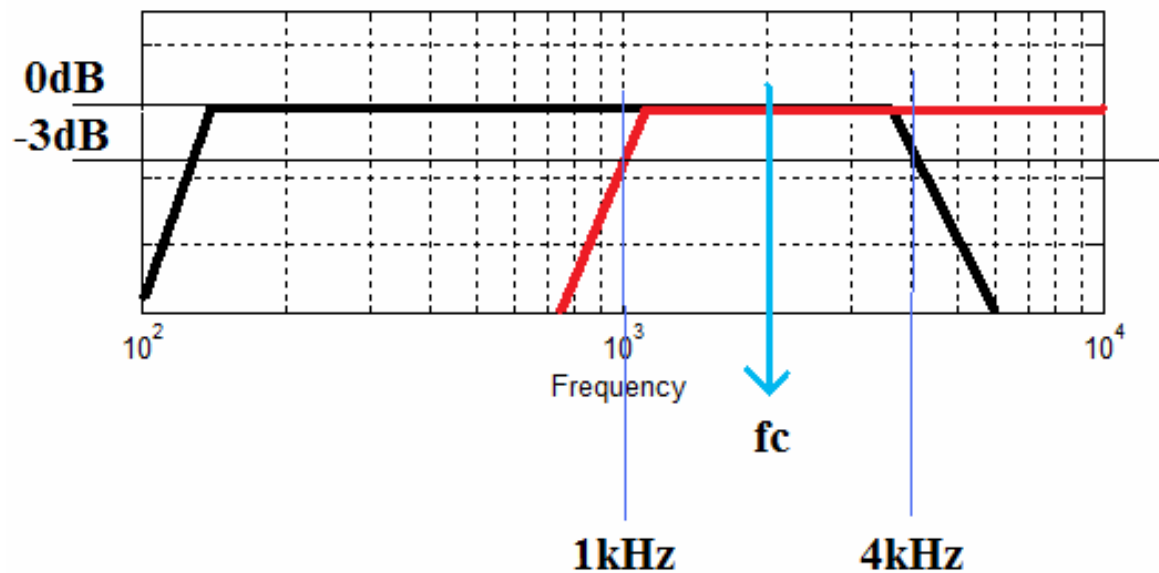
- Rango de frecuencia: 50Hz
– 4kHz
- Sensibilidad = 91
dB(1W,1m)
- $F_s = 47\text{Hz}$
- $R_e = 6.4\Omega$
- $Z = 8\Omega$
- $L_e = 1,5\text{mH}$
- $P_e = 450\text{W}$

12.1.- Cálculo L-Pad



$$R_2 = \frac{8 \cdot 10^{-6/20}}{1 - 10^{-6/20}} = 8[\Omega]$$
$$R_1 = 8 - \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} = 4[\Omega]$$

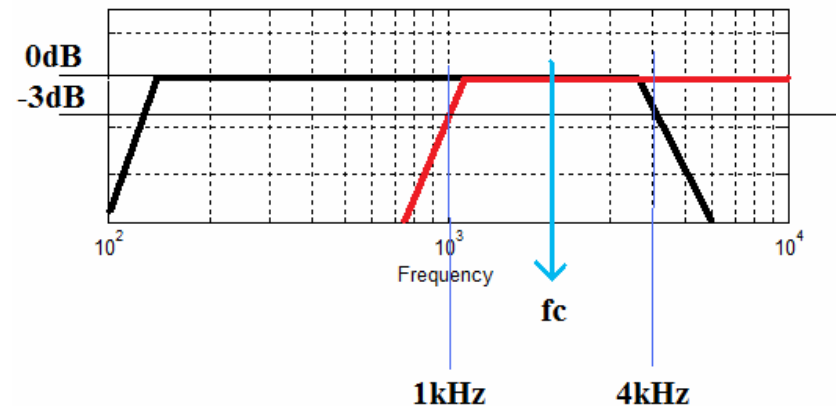
12.2.- Cálculo de la frecuencia de cruce



$$f_C = \sqrt{1000 \cdot 4000} = 2000[Hz]$$

12.3.- Análisis

- Notar que:
 - 2kHz = 1 oct sobre Fs del tweeter => Filtro RLC para compensar el tweeter.
 - 2 octavas de traslape => Filtro de 1º o 2º orden.
 - $\lambda = 344/2000 = 17\text{cm}$
=> Woofer y tweeter deben tener $d_1 < 17\text{ cm}$



$$f_c = \sqrt{1000 \cdot 4000} = 2000[\text{Hz}]$$

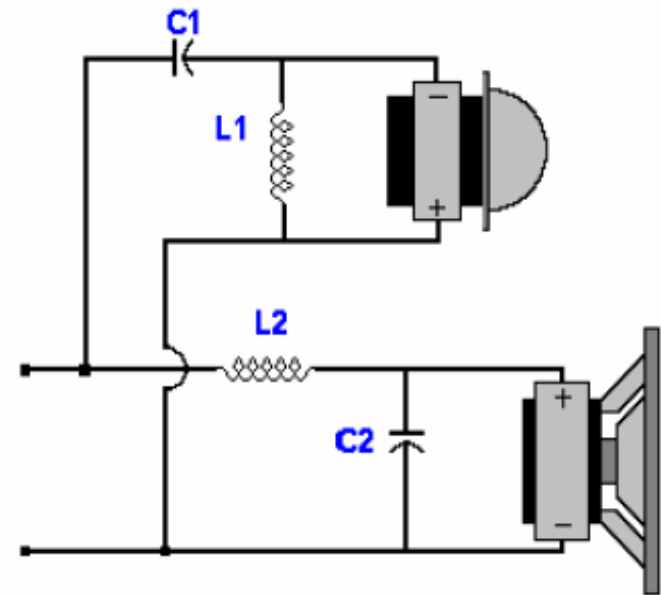
12.4.- Xover B2

- $F_c = 2000[\text{Hz}]$
- $R_H = R_L = 8[\Omega]$

Butterworth
$C1 = \frac{0.1125}{R_H \cdot f_c}$
$C2 = \frac{0.1125}{R_L \cdot f_c}$
$L1 = \frac{0.2251 \cdot R_H}{f_c}$
$L2 = \frac{0.2251 \cdot R_L}{f_c}$

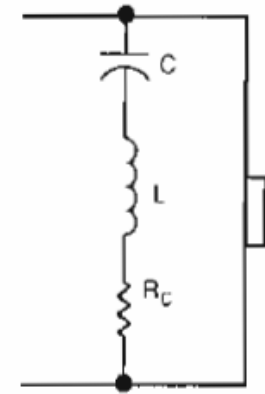
$$C1 = C2 = 7[\mu F]$$

$$L1 = L2 = 0.9[mH]$$



12.5.- Filtro RLC Tweeter (Notch)

- $F_s = 1000[\text{Hz}]$
- $R_e = 7[\Omega]$



$$R_C = R_E$$
$$C = \frac{0,03003}{f_s}$$
$$L = \frac{0,02252}{f_s^2 C}$$

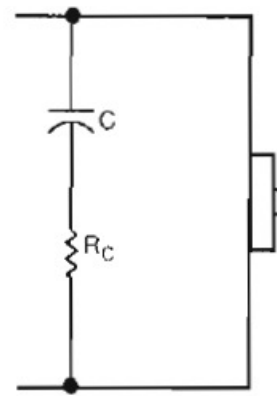
$$R_C = 7[\Omega]$$
$$C = 30[\mu F]$$
$$L = 0,75[mH]$$

12.6.- Filtro RC Woofer (Zobel)

- $L_e = 1.5[\text{mH}]$
- $R_e = 6.4[\Omega]$

$$R_C = 1,25R_E$$

$$C = \frac{L_E}{R_C^2}$$



$$R_C = 8[\Omega]$$
$$C = 23.4[\mu F]$$

Crossovers

Recinto para Altavoces

Prof. Ing. Andrés Barrera A.

2010