

# APÉNDICE: ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS DE BODE

## INTRODUCCIÓN

El diagrama de Bode es un tipo de representación gráfica de funciones complejas (en nuestro caso, funciones de transferencia) dependientes de una variable real (la frecuencia angular o lineal):

$$H(\omega) = |H(\omega)|e^{j\varphi(\omega)}.$$

En un diagrama de Bode se representa por un lado el módulo de la función ( $|H(\omega)|$ ) y por otro la fase ( $\varphi(\omega)$ ). La figura 1 muestra como ejemplo el diagrama de Bode de un filtro paso baja de primer orden, cuya función de transferencia es:

$$H(\omega) = \frac{1}{\frac{j\omega}{\omega_c} + 1}$$

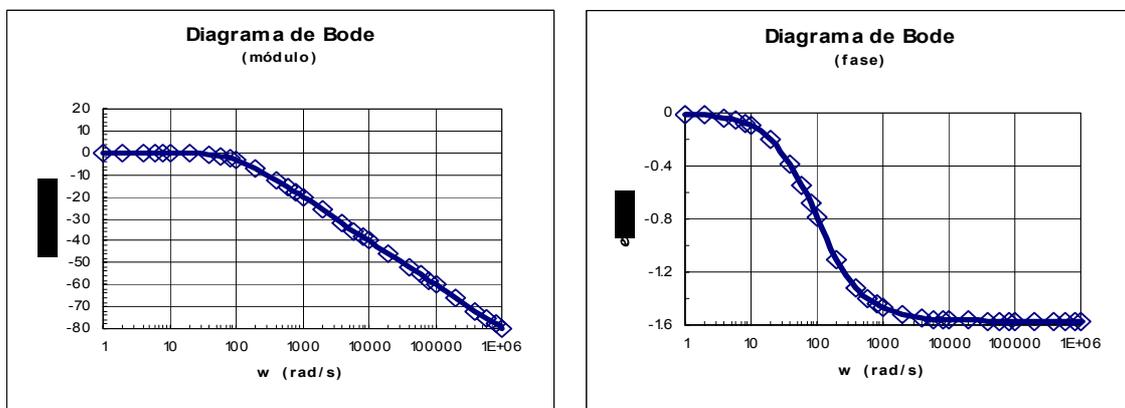
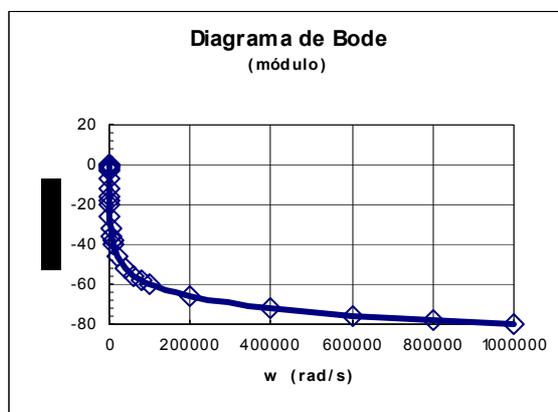


Figura 1: diagrama de bode de un filtro paso baja de primer orden

A la hora de elaborar un diagrama de Bode hay que prestar atención al hecho de que la escala correspondiente al eje de frecuencias es logarítmica. ¿Qué es una escala logarítmica y por qué usarla? Las escalas logarítmicas se emplean cuando se quieren representar datos que varían entre sí varios órdenes de magnitud (como en el ejemplo de la figura 1, en el que la frecuencia varía entre 1 rad/s y  $10^6$  rad/s). Si hubiésemos empleado una escala lineal, sólo apreciaríamos bien los datos correspondientes a las

frecuencias mayores mientras que, por ejemplo, todos los puntos por debajo de  $10^4$  rad/s se representarían en la centésima parte del eje de abscisas. Esto se muestra, como ejemplo, en la figura 2.

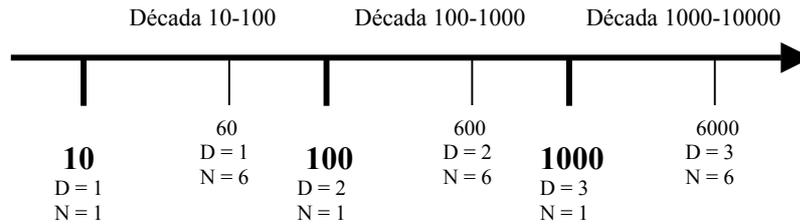


**Figura 2:** módulo de la función de transferencia empleando una escala lineal en el eje de frecuencias

Para evitar este problema se usan las escalas logarítmicas, que permiten representar en un mismo eje datos de diferentes órdenes de magnitud, separándolos en *décadas*. Para ello, en lugar de marcar sobre el eje la posición del dato que queremos representar se marca la de su logaritmo decimal. Esto se hace aprovechando la siguiente propiedad de los logaritmos:

$$\log(N \cdot 10^D) = \log(N) + D$$

De este modo, el orden de magnitud ( $D$ ) establece un desplazamiento, separando una década ( $D = i$ ) de la siguiente ( $D = i + 1$ ) y los puntos correspondientes a un mismo orden de magnitud (década) tienen el mismo espacio para ser representados que los pertenecientes a una década superior. Como ejemplo, en la figura 3 se indica dónde se ubicarían en un eje logarítmico los puntos correspondientes a 60, 600 y 6000.



**Figura 3:** representación de puntos en una escala logarítmica

Obsérvese que otra particularidad del diagrama de Bode en módulo es que se representa en dB. Es decir, en lugar de representar  $|H(\omega)|$  se representa  $20 \log |H(\omega)|$ . Ésta es otra forma de poder visualizar también funciones de transferencia que pueden variar en varios órdenes de magnitud.

**NOTA IMPORTANTE:** no confundir representar los datos en escala logarítmica (como se hace con el eje de frecuencias del diagrama de Bode) con representar el logaritmo de los datos, o algo proporcional (como en el eje de ordenadas del diagrama de Bode en módulo). Cuando se usa una escala logarítmica se cambia la posición de los puntos respecto de una escala lineal, pero se siguen etiquetando con su valor (10, 60, 100, 600, ... en la figura 3). Al elaborar el diagrama de Bode en el siguiente apartado se observará bien esta diferencia.

## ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS DE BODE (MÓDULO) CON EXCEL

A continuación indicamos los pasos que hay que seguir para realizar un diagrama de Bode en módulo empleando el programa Excel (o cualquier hoja de cálculo similar).

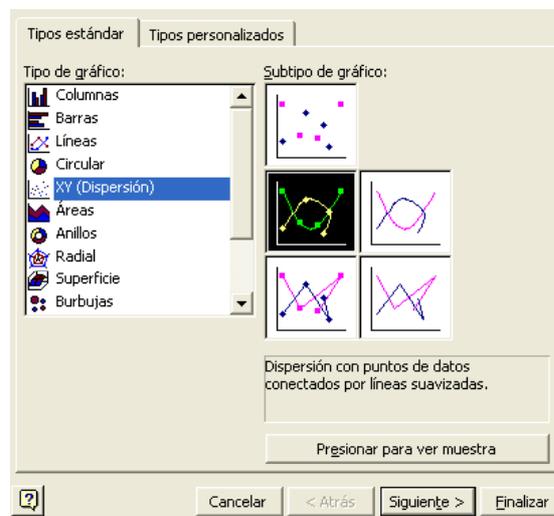
1. Introducir los datos medidos en el laboratorio

	A	B
1	w (rad/s)	H(w)
2	1	0.99995
3	2	0.99980006
4	4	0.99920096
5	6	0.99820485
6	8	0.99681528
7	10	0.99503719
8	20	0.98058068
9	40	0.92847669
10	60	0.85749293
11	80	0.78086881
12	100	0.70710678
13	200	0.4472136
14	400	0.24253563
15	600	0.16139899

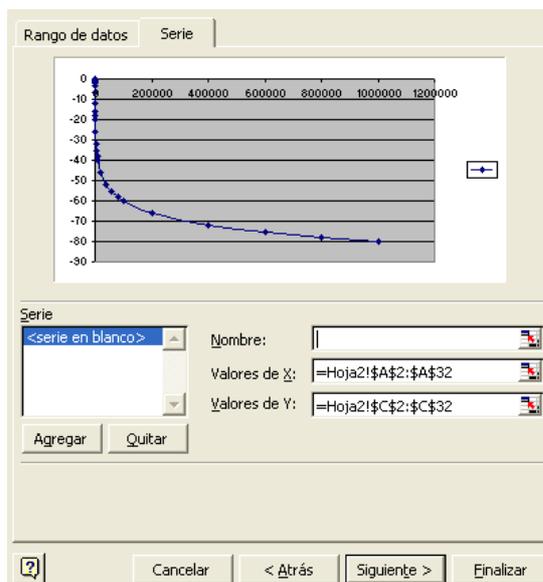
2. Calcular en una nueva columna  $|H(\omega)|$  en dB.

	A	B	C
1	w (rad/s)	H(w)	20*LOG( H(w) )
2	1	0.99995	-0.000434273
3	2	0.99980006	-0.001736831
4	4	0.99920096	-0.006943159
5	6	0.99820485	-0.015606526
6	8	0.99681528	-0.027706281
7	10	0.99503719	-0.043213738
8	20	0.98058068	-0.170333393
9	40	0.92847669	-0.644579892
10	60	0.85749293	-1.335389084
11	80	0.78086881	-2.14843848
12	100	0.70710678	-3.010299957
13	200	0.4472136	-6.989700043
14	400	0.24253563	-12.30448921
15	600	0.16139899	-15.68201724

3. Abrir el asistente de gráficos y seleccionar en “Tipo de Gráfico” la opción *XY (Dispersión)*, puesto que otros tipos de gráficos no permiten escalas logarítmicas. Además, como “Subtipo de Gráfico” seleccionar uno en el que aparezca un símbolo para los puntos, como el elegido en la figura inferior.



4. Representar los puntos de la columna C en función de los de la columna A.



5. Seguir el resto de pasos hasta finalizar el gráfico.
6. Hacer doble clic sobre el eje X para cambiar de escala lineal a escala logarítmica. Aparecerá una ventana como la mostrada en la figura inferior, en la que se selecciona la pestaña "Escala" y la casilla correspondiente a "Escala logarítmica".

