

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



INTRODUCCION AL DISEÑO Y EVALUACION
DE ALTAVOCES DINAMICOS.

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a

MANUEL A. MUÑOZ GOMEZ

México, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INTRODUCCION AL DISEÑO Y

EVALUACION DE ALTAVOCES

DINAMICOS

MANUEL A. MUÑOZ GOMEZ.

A MI FAMILIA
QUE ME HA DADO SUFICIENTES
ESTIMULOS JUSTO CUANDO LOS
HE NECESITADOS

A LA UNIVERSIDAD
POR LA FORMACION QUE
DA A SUS ESTUDIANTES

A MIS PROFESORES QUE
CUMPLIERON SU LABOR.

A TODO INTERESADO QUE
LE INQUIETE ESTE TEMA

A TODOS AQUELLOS QUE
HICIERON POSIBLE LA
REALIZACION DE ESTA

I N D I C E

	PAGINA
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
CAPITULO II	
ANALOGIAS DINAMICAS	2
CAPITULO III	
SISTEMA MAGNETICO	14
CAPITULO IV	
BOBINA MOVIL	23
CAPITULO V	
EL CONO Y SUSPENSION CENTRAL	35
CAPITULO VI	
FABRICACION DE COMPONENTES Y EL ENSAMBLE DEL ALTAVOZ	43
CAPITULO VII	
MEDICIONES PARA EVALUACION	61
CAPITULO VIII	
ESTADO ACTUAL DE LA INDUSTRIA DE ALTAVOCES	81
CAPITULO IX	
CONCLUSIONES	91
CAPITULO X	
BIBLIOGRAFIA	94

I

INTRODUCCION

Dentro del amplio desarrollo tecnológico que hubo en los últimos años de nuestra era, se puede contar, la de los altavoces ya que al producirse equipos de sonido cada vez más sofisticados y de mayor fidelidad, es conveniente que también los altavoces lo sean.

Esta tesis va dirigida al estudio de altavoces dinámicos, de su análisis, de su diseño y de algunos aspectos importantes para la fabricación de sus componentes. También pretende orientar a los consumidores en el criterio que ha de seguirse para la adquisición de éstos, desechando falacias comunmente usadas por los vendedores. Estudia a los altavoces dinámicos de radiación directa, como elementos aislados.

En el capítulo II, se tratan analogías dinámicas, mediante las cuáles el análisis se simplifica y se objetiviza.

En el capítulo III, se estudia el diseño de la estructura magnética en donde, se plantea la conveniencia de usar imanes de ferrita de Bario.

En el capítulo IV, se estudia la bobina móvil, determinando la potencia que es capaz de manejar sin dañarse y algunas características propias de ésta.

El cono y la suspensión central es tratado en el capítulo V en función de su geometría y de sus características mecánicas.

En el Capítulo VI, se mencionan algunos aspectos relacionados con la fabricación del altavoz en si, y de sus componentes.

En el capítulo VII, se tratan algunos métodos para la evaluación de altavoces

El capítulo VIII reúne un conjunto de apreciaciones sobre el estado actual de la industria de altavoces.

Las conclusiones y algunas reflexiones son citadas en el capítulo IX.

Por último, el capítulo X, lista la bibliografía utilizada aquí y recomendada para el lector.

II

ANALOGIAS DINAMICAS

En el análisis dinámico de altavoces, es conveniente establecer circuitos mecánicos que ayuden a 'visualizar' su comportamiento en un momento dado. A su vez dada la familiaridad que se tiene con circuitos eléctricos, se establecen circuitos análogos a los mecánicos, con el fin de simplificar el estudio dinámico.

Considerense las siguientes observaciones:

La fuerza excitadora es aplicada directamente sobre la bobina móvil del altavoz (vease fig. 2).

La velocidad adquirida por el cono y la bobina, es debido a la fuerza aplicada.

La masa total es la suma de las masas individuales del cono, la bobina y el cubrepolvo. Considerándose despreciables las porciones de las masas de suspensiones que descansan sobre el cono, así como la del cable flexible.

Debido a que las suspensiones, central y anular, funcionan como resortes, se les puede asociar una constante de restitución de los mismos, y a ésta se le llama compliancia mecánica.

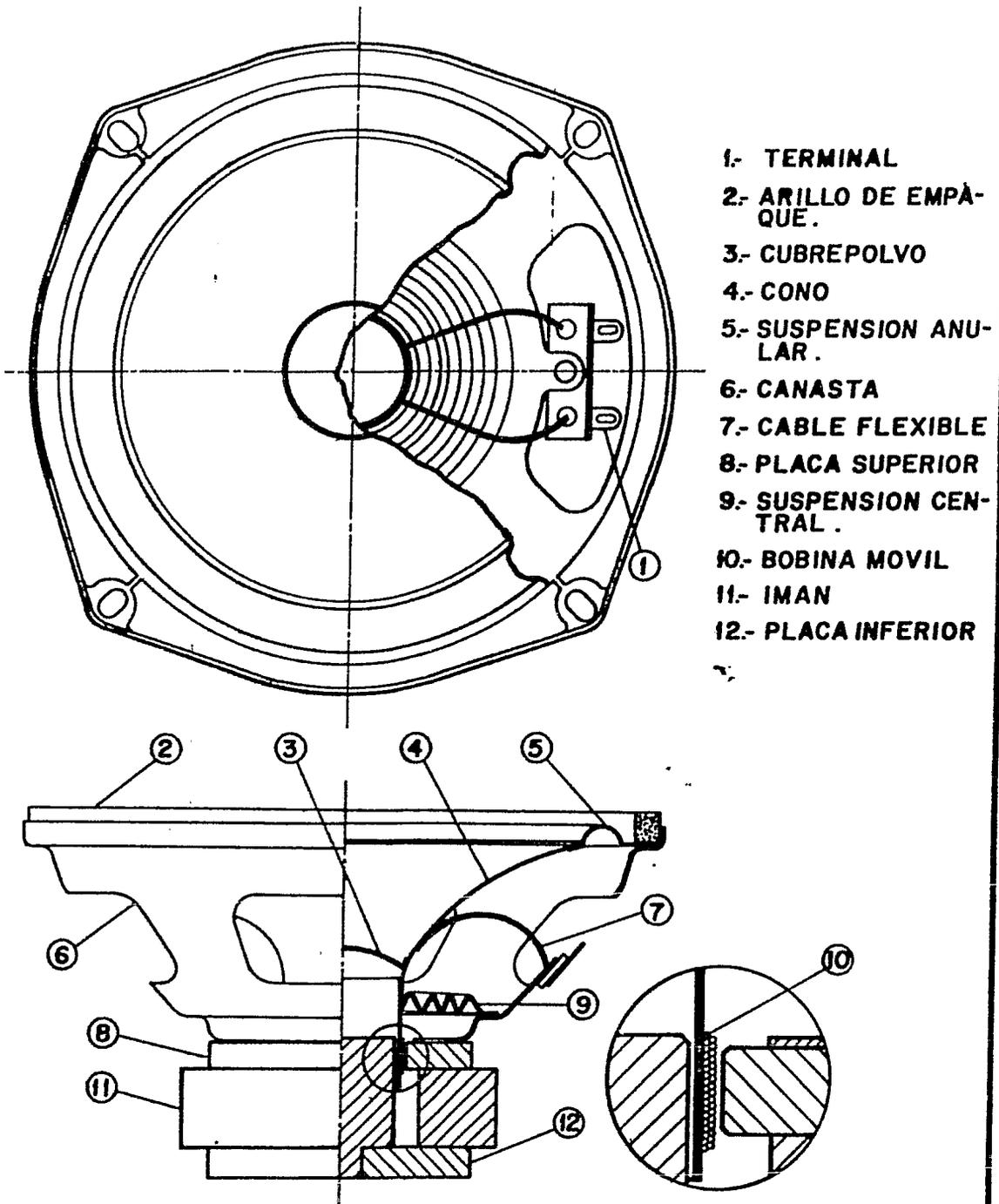
Se define como resistencia mecánica, al conjunto de parámetros que contribuyen a la disipación de la energía mecánica a través del cuerpo del cono, los materiales porosos que constituyen al cubre polvo y a la suspensión central, la fricción del paso del aire a través de los espacios formados entre las paredes del entrehierro y la bobina, etc. A ésta resistencia mecánica, también suele llamarsele amortiguamiento mecánico.

Para el análisis de sistemas oscilantes, tal como lo es el altavoz, pueden presentarse dos casos, dependiendo de su fuerza excitadora:

I) Vibración libre.

II) Vibración forzada.

I Se conoce como vibración libre a aquella oscilación en la cuál no existe fuerza excitadora. En el altavoz de bobina móvil, la suspensión del cono y de la bobina constituyen una compliancia mecánica, considerada concentrada, que a manera de un resorte carga una masa que es la suma de las masas mecánicas individuales de sus componentes dinámicos, o sea: la bobina, el cono, el cubrepolvo y una carga mecánica debida al medio en el cual se radia la onda, acústica.



- 1.- TERMINAL
- 2.- ARILLO DE EMPAQUE.
- 3.- CUBREPOLVO
- 4.- CONO
- 5.- SUSPENSION ANULAR.
- 6.- CANASTA
- 7.- CABLE FLEXIBLE
- 8.- PLACA SUPERIOR
- 9.- SUSPENSION CENTRAL.
- 10.- BOBINA MOVIL
- 11.- IMAN
- 12.- PLACA INFERIOR

fig. 2 Altavoz dinámico vista explorada.

Esa compliancia mecánica, ofrece una fuerza de oposición al movimiento de la masa que dentro de ciertos márgenes puede considerarse proporcional a los desplazamientos.

Si no existiesen pérdidas de energía mecánica, esa masa debiese mantenerse moviendo indefinidamente, después de haber sido desplazada y soltada. El movimiento sería oscilatorio, armónico simple y su frecuencia dependería de los parámetros, del sistema tal como lo describe la siguiente ecuación:

$$W_n = \sqrt{\frac{1}{mc}} \quad (2.1)$$

Veáse figura 2.1

en la cuál m = masa del sistema móvil.

c = compliancia mecánica del sistema móvil.

Sin embargo, en el altavoz existen ciertos elementos que disipan la energía mecánica, que en conjunto constituyen otra fuerza de oposición al movimiento de la masa que es considerada proporcional a la velocidad de la misma, y es denominada "Fuerza de amortiguamiento", con la presencia del amortiguamiento, el desplazamiento queda descrito con la ecuación siguiente:

$$X_c(t) = Ae^{(-\sigma \pm \sqrt{\sigma^2 - W_n^2})t} \quad (2.2)$$

En la cuál:

(2.3)

$$\sigma = \beta/2m$$

Donde: σ : Es el factor de decaimiento.

β : Es el factor de amortiguamiento viscoso.

W_n : Es la frecuencia de oscilacion del sistema, como se describe en la ec. 2.1.

De la ecuación 2.2 se obtienen tres casos importantes.

(a) Si $\sigma \gg W_n$ Los valores del exponente son reales y distintos, siendo entonces la amplitud del desplazamiento decreciente y no cambia de signo, por este motivo el sistema no oscila y se tiene el caso del sobreamortiguamiento.

(b) Si $\sigma = W_n$ Se tiene el caso de amortiguamiento crítico, que tampoco oscila y la amplitud se reduce eventualmente a cero, más rápidamente que en el caso citado en (a).

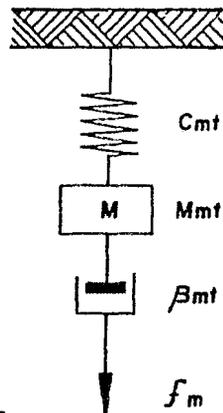


fig. 2.1 Vibración forzada.

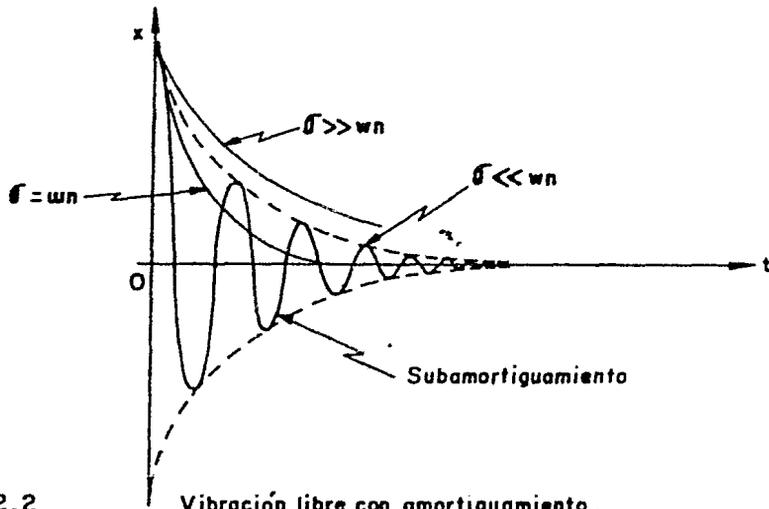


fig. 2.2 Vibración libre con amortiguamiento.

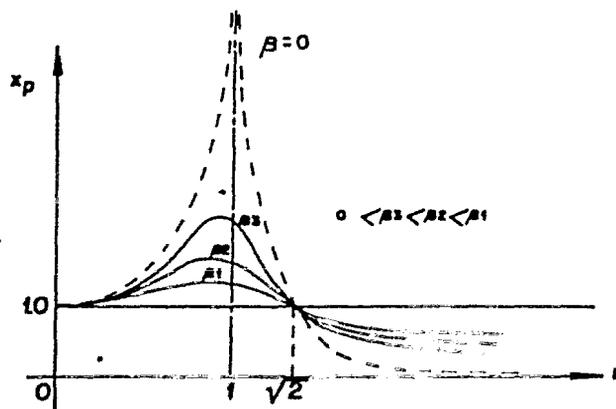


fig. 2.3 Amplitud de los desplazamientos en función del amortiguamiento.

(c) Si $\sigma \ll W_n$, los valores del exponente son conjugados complejos, y el sistema oscila con una frecuencia " W_d " tal como se describe a continuación:

$$W_d = \sqrt{W_n^2 - \sigma^2} \quad (2.4)$$

la amplitud del movimiento decrece exponencialmente debido a la potencia, del término

A ésta vibración se le conoce como subamortiguada.

La fig. 2.2 nos muestra los desplazamientos del sistema vibrante, para los tres casos citados.

II En el altavoz el sistema vibrante está sometido en todo momento a la fuerza que se transduce en la bobina que para fines de análisis puede ser considerada sinusoidal, en este caso la vibración se denomina "forzada" y la solución a la ecuación diferencial asociada al sistema es la siguiente:

$$X = X_c + X_p \quad (2.5)$$

en la que " X_c " es la solución expresada en la ecuación 2.2 y " X_p " es la solución particular para el tipo de fuerza aplicada; consideremos que la fuerza Transducida cumple:

$$f_m(t) = F_m \cos \omega t \quad (2.6)$$

Entonces la solución particular es:

$$X_p(t) = \frac{F_m \cos(\omega t - \phi)}{\sqrt{\left(\frac{1}{C_m} - m_n \omega^2\right)^2 + (\beta \omega)^2}} \quad (2.7)$$

Donde:

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\beta \omega}{\frac{1}{C_m} - m_n \omega^2} \right) \quad (2.8)$$

Como puede verse en la 2.6, la frecuencia del movimiento en la oscilación forzada, es la misma, que en la fuerza de excitación. La solución complementaria dada en la ec. 2.2 existe sólo si inicialmente se ha desplazado a la masa del sistema y posteriormente se suelta para hacerla oscilar libremente.

Si no es así, entonces $A=0$ y también $X_c=0$. Durante la operación normal del altavoz, predomina la solución particular, dado que no existe desplazamiento inicial de la masa, pero si la fuerza de excitación es suspendida súbitamente, la masa continuará oscilando amortiguadamente, es decir, atenuándose. Estas oscilaciones que no se encuentran en el programa de audio original, -deterioran la reproducción en el altavoz, y sus efectos son comentados más adelante.

Por lo que respecta a los desplazamientos del sistema mecánico, es importante considerar que su amplitud depende de la cantidad de amortiguamiento presente en el sistema y de la frecuencia de la fuerza de excitación.

En la fig. 2.3 puede observarse que cuando $\omega = \omega_n$ y $\beta = 0$ (Amortiguamiento nulo), los desplazamientos deberían ser infinitos, si no estuvieran restringidos para ello. También puede observarse en esa figura, que los desplazamientos máximos siempre estarán próximos a la frecuencia de oscilación natural " ω_n ", dependiendo del amortiguamiento, y que la amplitud de los desplazamientos sería constante para cualquier frecuencia de la fuerza de excitación, si el amortiguamiento fuera infinito. En todos los casos se supone que la amplitud de la fuerza de excitación es constante.

Para establecer las analogías dinámicas de los elementos mecánicos que constituyen al altavoz, considerense las leyes de movimiento en función de la velocidad que para cada uno de ellos se dan a continuación:

(a) La segunda Ley de Newton establece la aceleración que experimenta la masa mecánica total cuando se le someta a la acción de la fuerza de excitación, o sea:

$$f(t) = m_m \frac{dv(t)}{dt} \quad (2.9)$$

O también:

$$v(t) = \frac{1}{C_m} \int f(t) dt \quad (2.10)$$

(b) La Ley Hooke establece que la compliancia mecánica de las suspensiones ofrecen una fuerza de oposición al movimiento, proporcional al desplazamiento, del sistema dinámico o sea:

$$f(t) = \frac{1}{C_m} \int v(t) dt \quad (2.11)$$

o también:

$$v(t) = C_m \frac{df(t)}{dt} \quad (2.12)$$

(c) La Ley de Stoke establece que existe una fuerza de oposición al movimiento proporcional a la velocidad del sistema dinámico, siendo la constante de proporcionalidad el factor de amortiguamiento, o sea:

$$f(t) = -\beta v(t) \quad (2.13)$$

o también:

$$v(t) = -\frac{1}{\beta} f(t) \quad (2.14)$$

Las ecuaciones anteriores son similares a las que describen el comportamiento de los elementos de un circuito eléctrico, es decir de la inductancia, de la capacidad y de la resistencia.

Para la analogía directa, la ec. 2.9 es similar a la de una inductancia y por ello la masa se considera análoga a ella. De la misma manera, la compliancia es análoga a la capacitancia, según la ecuación 2.11 A su vez el amortiguamiento es análogo a una resistencia, como describe la ec. 2.13

Así mismo se establece la analogía inversa, la masa es análoga a la inductancia y el recíproco del factor de amortiguamiento es análogo a la resistencia, según describen las ecs. 2.10, 2.12 y 2.14 respectivamente.

Por último considérese el elemento tipo transformador utilizado para representar la transducción de la energía. Este es un elemento ideal cuyos devanados tienen impedancia infinita y opera a todas las frecuencias incluyendo la frecuencia cero. Este elemento es constituido a partir de las ecuaciones que rigen a los transductores de bobina móvil en general, que se dan a continuación:

$$f(t) = B\{i(t) \quad (2.15)$$

$$U(t) = B\{v(t) \quad (2.16)$$

La ecuación 2.15 relaciona a la corriente que se alimenta a la bobina del altavoz con la fuerza mecánica que se transduce en ella, y a su vez, las ecs. 2.16 relaciona a la caída de tensión " contraelectromotriz " que se induce en la bobina con la velocidad de las espiras de la misma. En ambas relaciones está presente el producto constante "Bl" , que es considerado la relación de transformación como ilustra la fig. 2.4 en la cual, se tienen los parámetros electricos - de un lado del transformador y los mecánicos en el otro lado.

Para el estado estacionario, estos elementos pueden ser considerados tal como se expresan en la tabla 2.1 que se dá a continuación:

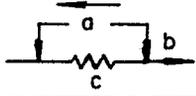
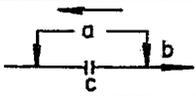
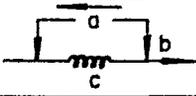
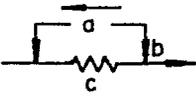
ELEMENTO	ELECTRICO	" MECANICO "	
		Analogía de movilidad	Analogía de impedancia
a	u	v	f
b	i	f	v
	$C=R_e$	$C=\frac{1}{R_m}=r_m$	$C=R_m$
	$C=C_e$	$C=M_m$	$C=C_m$
	$C=L$	$C=C_m$	$C=M_m$
	$C=Z_e=\frac{U}{i}$	$C=Z_m=\frac{v}{f}=\frac{1}{Z_m}$	$C=Z_m=\frac{f}{v}=\frac{1}{Z_m}$

Tabla 2.1

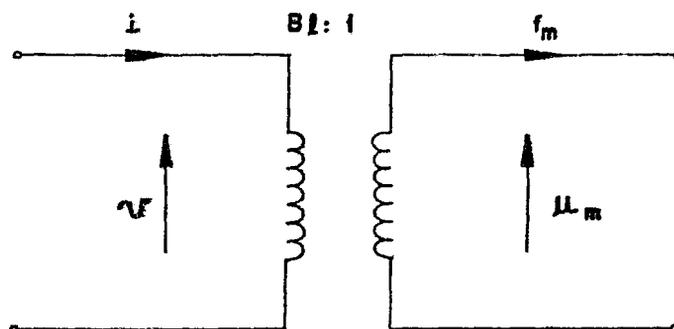


fig. 2.4 Analogía tipo movilidad para la transducción de la energía en la bobina móvil.

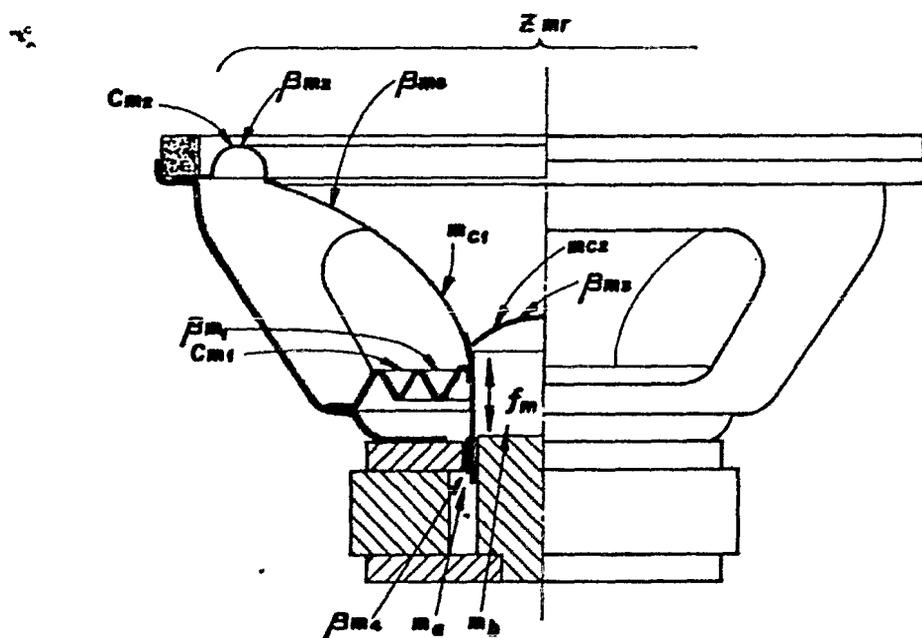


fig. 2:5 Elementos mecánicos en el alfovoz .

Con lo anteriormente tratado, se puede construir el circuito mecánico análogo para el altavoz, de acuerdo a la fig. 2.5

En la figura, f_m es la fuerza mecánica transducida en la bobina y es la que produce el movimiento del sistema, el cual adquiere la velocidad " v ", " M " es la masa del cono; M_{c2} es la masa del cubrepolvo el cuál ofrece también al amortiguamiento " β_m " debido a la fricción que el aire siente al pasar através - de los poros del material del que se ha hecho, si ese material, no es poroso, el amortiguamiento se incrementa considerablemente; " M_a " es la masa del alambre y " M_b " la del cuerpo de la bobina; " C_{m1} " es la compliancia de la suspensión central, la cuál también presenta el amortiguamiento " β_{m1} " porque este componente se fabrica de tela porosa; " β_{m4} " es el amortiguamiento debido a la fricción del aire cuando atravieza los espacios existentes entre las paredes, de la bobina y las del entrehierro; " β_{m5} " es el amortiguamiento debido a la disipación que la energía mecánica sufre dentro de las paredes del cono; " β_{m2} " es de la misma naturaleza de " β_{m5} " pero presente en la suspensión anular, la cual contiene a la compliancia " C_{m2} ".

Por último " Z_{mr} " es la impedancia mecánica debida al medio donde se radia la onda acústica dado que todos los parámetros mencionados, se encuentran distribuidos en la totalidad del cuerpo del sistema dinámico.

Es conveniente concentrarlos y calcular sus equivalentes totales, es decir, - considerando únicamente la masa total, la compliancia total, etc. de esta manera el sistema dinámico puede representarse como ilustra la fig. 2.6-a), cuyo circuito mecánico análogo es el de la fig. 2.6-b).

En el lado izquierdo del diagrama de la figura 2.7 se tienen los parámetros - del circuito eléctrico que forman el amplificador excitador y el altavoz, los cuáles se describen a continuación:

I) El voltaje contraelectromotriz " U " que se induce cuando las espiras de la bobina se mueven y cortan las líneas de flujo del campo magnético en el entrehierro.

II) La inductancia del devanado " L_e "

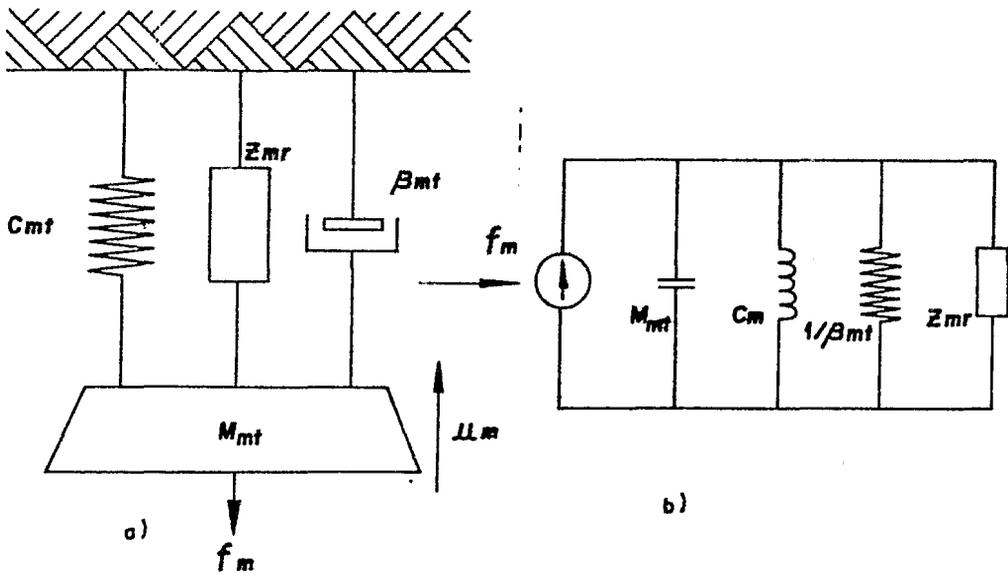


fig. 2.6 Circuito mecánico del sistema móvil del altavoz.

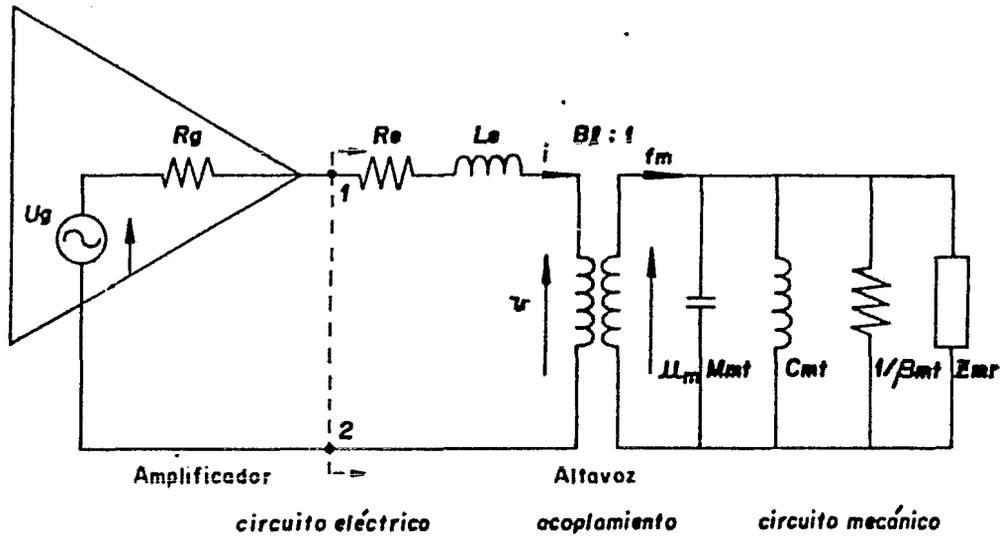


fig. 2.7 Circuito electromecánico para el altavoz.

III) La resistencia "Re" del conductor que constituye las espiras del devanado.

IV) La resistencia "Rg" del amplificador excitador.

V) La fuente "Ug" de señal eléctrica de audiofrecuencia.

En el lado derecho del mismo diagrama se tienen los elementos del circuito mecánico, como se vió anteriormente.

A continuación se expone la aplicación de éste circuito análogo para analizar la impedancia del altavoz vista desde los puntos 1 y 2.

Para el estado estacionario, la impedancia eléctrica total que se ve en el primario del transformador, desde los puntos 1 y 2.

$$Z_{eT} = R_e + j\omega L_e + \frac{B^2 l^2}{\beta + j\omega \left(m - \frac{1}{\omega^2 C}\right)} = Z_e + \frac{(Bl)^2}{Z_{mT}} \quad (2.17)$$

Cuya parte resistiva es:

$$R_{eT} = R_e + \frac{\beta B^2 l^2}{\beta^2 + \omega^2 \left(m - \frac{1}{\omega^2 C}\right)^2} \quad (2.18)$$

y su parte reactiva es:

$$X_{eT} = \omega \left[L_e + \frac{B^2 l^2 \left(m - \frac{1}{\omega^2 C}\right)}{\beta^2 + \omega^2 \left(m - \frac{1}{\omega^2 C}\right)^2} \right] \quad (2.19)$$

en la frecuencia de resonancia se tiene que:

$$\implies R_{eT} \Big|_{\omega_0} = R_e + \frac{B^2 l^2}{\beta} \quad (2.20)$$

$$X_{eT} \Big|_{\omega_0} = \omega_0 L_e \quad (2.21)$$

La contribución de la impedancia mecánica total para la impedancia eléctrica solo es notoria al rededor de la frecuencia de resonancia y puede despreciarse, para todas las frecuencias una octava arriba y abajo de la frecuencia de resonancia. Se concluye éste capítulo haciendo hincapié sobre la gran importancia que tienen las analogías electromecánicas para el análisis de los altavoces, ya que han permitido visualizar el efecto que los parámetros mecánicos tienen en el comportamiento eléctrico del altavoz.

III

EL SISTEMA MAGNETICO

En los primeros diseños de los altavoces dinámicos se usaban electroimanes, porque no se había desarrollado la tecnología de la manufactura de los imanes permanentes, (Vease fig. 3.1(a). En esos tiempos, disponer de un campo magnetico intenso equivalía a usar un imán muy grande, y muy costoso por su puesto, por ello era más conveniente el uso de una bobina que cuando se le hacía circular corriente directa, magnetizaba las piezas del circuito magnetico.

Posteriormente, se inventó el imán denominado "Alnico" que debe su nombre a los materiales que constituyen la aleación : Aluminio, Niquel y Cobalto complementados con Fierro.

Este imán resultó más poderoso que los imanes naturales y artificiales conocidos en esos tiempos, y de menor costo que los electroimanes, se desarrolló entonces un sistema magnético a base de lámina de acero dulce que se denominó "Yugo" y que se muestra en la figura 3.1 (b).

Posteriormente con el advenimiento de la televisión a color y de los receptores de radio y bolsillo, se requirió de un sistema magnético blindado, pequeño y eficiente, y resultó el sistema magnético con "Copa" que se muestra en la figura 3.1 (c).

Más adelante, surgió una alternativa en el tipo de imanes permanentes; la ferrita de bario, que no es un imán más fuerte que el Alnico, pero por su bajo costo puede ser tan grande como sea necesario para obtener la misma densidad de flujo magnético que la que ofrece un Alnico, vease la fig. 3.1 (d). Después la diferencia en costos de estos imanes, se hizo cuantitativamente mayor debido a la escasez de cobalto en el mercado de las materias primas. El uso de la ferrita presenta más desventajas que ventajas en comparación con el Alnico pero su bajo costo ha hecho que su uso se generalice, como puede apreciarse en la tabla siguiente.

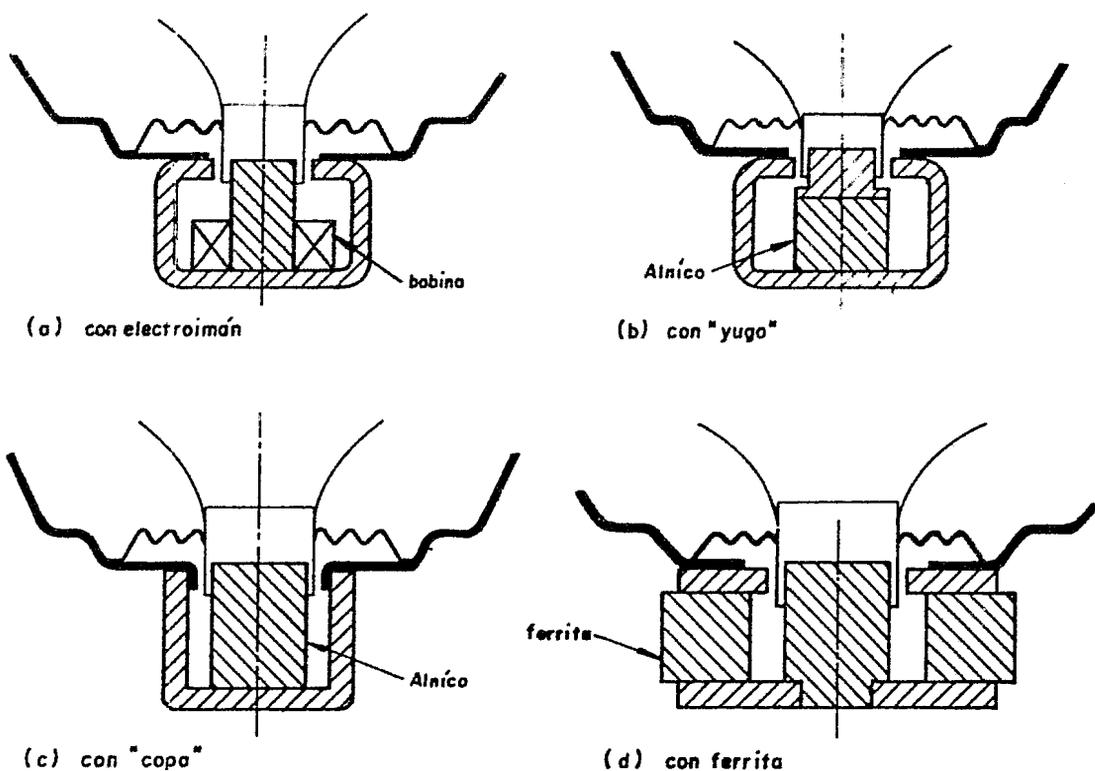


fig. 3.1 Sistemas magnéticos usados en altavoces dinámicos.

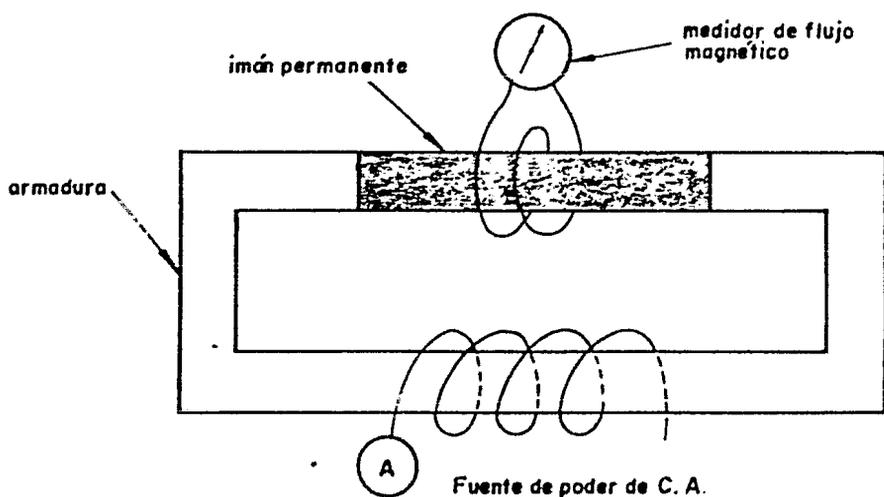


fig 3.2 Medición de la curva de Histerésis

Características del Sistema magnético	Alnico	Ferrita
Costo	Alto	Bajo
Tamaño	Pequeño	Grande
Energía magnética	Grande	Pequeña
Blindaje de flujo disperso	Si	No
Fuerza para magnetizar	Pequeña	Grande

Tabla 3.1

Recientemente se han desarrollado imanes a base de tierras raras de alta energía magnética, de orden hasta cuatro veces mayor que la del Alnico. Estos imanes se han utilizado en altavoces para audífonos, livianos de alta fidelidad - además de otros usos. También se han desarrollado imanes de bajo contenido de cobalto, que tienen una energía magnética un 10 % menor que la del Alnico, pero de un menor costo.

En éste estudio, se analiza el diseño de los sistemas magnéticos con imán de ferrita porque en la actualidad es la alternativa más comunmente usada.

3.2 El lazo de histéresis:

Se le dá este nombre a la representación gráfica del mapeo de la densidad de flujo que se induce en el imán contra la fuerza magnetizante aplicada al mismo. De hecho este lazo describe el comportamiento del material en cualquier estado de magneticación. La forma más común de hacer estas mediciones es como se muestra en la figura 3.2

Se parte de un imán que está desmagnetizado (virgen), que es un estado en el cual sus dominios no guardan una dirección preferida, sino aleatoria, cancelando sus campos magnéticos individuales mutuamente, resultando un efecto externo que idealmente es cero.

Este se coloca dentro del entrehierro de un electroimán como se ve en la figura 3.2 y se le aplica corriente directa al embobinado del mismo, de tal forma que se pueda ir aumentando su valor hasta un límite y después disminuir la intensidad de corriente hasta cero y luego volver a hacer lo mismo pero con la corriente circulando en sentido contrario. De esta manera, registrando la corriente del embobinado se calculó la intensidad de la fuerza magnetizante que actúa, sobre el imán, mientras que la inducción en el imán es medida por un gaussmetro. Estas mediciones usualmente son alimentadas a un registrador gráfico, de coordenadas, para el trazo del lazo de histéresis, vease fig. 3.3.

En el origen de las coordenadas de la fig. 3.3 se tiene un imán desmagnetizado la fuerza magnetizante se incrementa paulatinamente en un sentido considerado positivo y se registra entonces una inducción en el imán que no es lineal en la trayectoria "ab" sucediendo lo siguiente: a medida que va creciendo el campo magnetizante H , los dominios, se estrechan más fuertemente y después crecen aquellos que están orientados a favor del campo magnetizante, y desde ese momento existe una magnetización no reversible, ya que si se retira la fuerza magnetizante, el imán retendrá una porción de la inducción. Si la fuerza magnetizante sigue creciendo, giran un máximo número de dominios para alinearse en la dirección del campo magnetizante, llegando al estado conocido como saturación, si en este punto se retira la fuerza magnetizante, algunos dominios se desordenarán y la inducción se reducirá hasta que se conoce como "Remanencia" quedando formado un imán permanente.

El segundo cuadrante del plano coordenado de la figura 3.3, contiene la región del lazo de histeresis conocida como "curva de desmagnetización" que es la parte más importante para el diseño de los sistemas magnéticos de los altavoces y se describe a continuación: Si se aplica una fuerza magnetizante inversa al imán que se encuentra en remanencia, la inducción en el mismo decrecerá por la trayectoria de B_r a " H_c ", siendo H_c la fuerza magnetizante inversa capaz de cancelar la inducción en el imán. A " H_c " se le denomina "Fuerza coercitiva". Si la Fuerza magnetizante inversa sigue incrementando, se presentará una inducción inversa en el imán y se le podrá saturar como en el primer cuadrante y sucederán los mismos efectos que se han mencionado para los cuadrantes I y II, pero, con el sentido inverso.

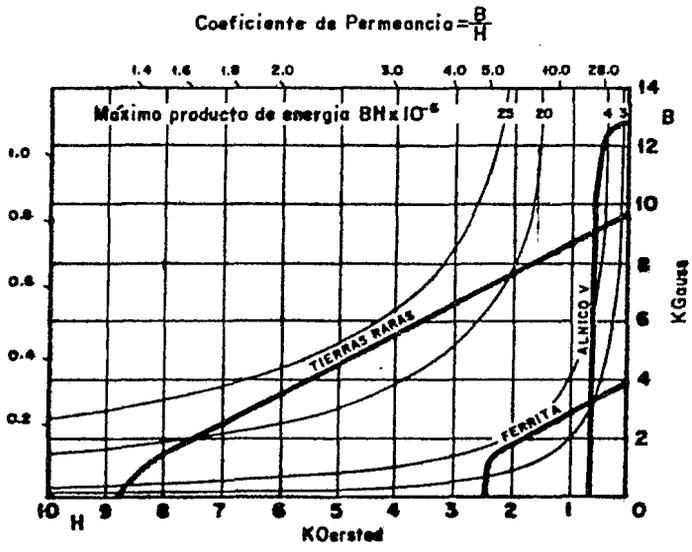


Fig. 3. 4 Curves de desmagnetización para tres tipos de imanes .

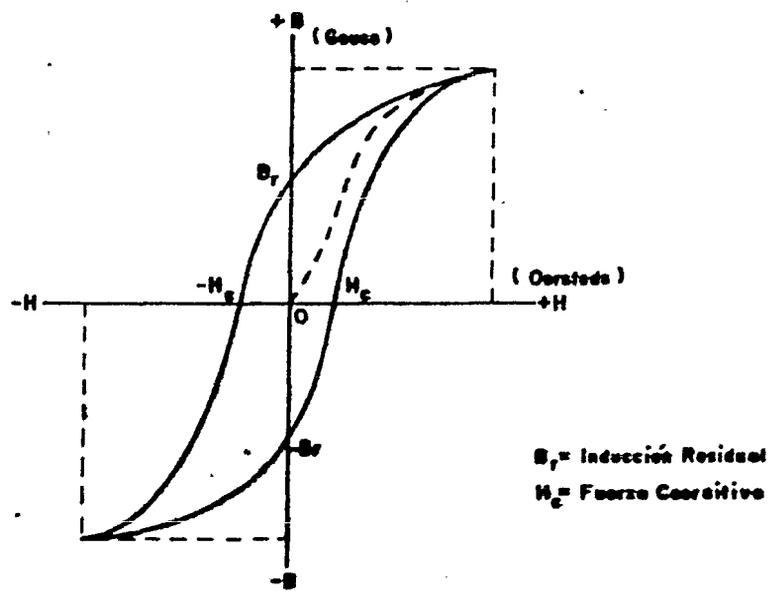


Fig. 3. 3 Lazo de Histeresis.

cabe aclarar que al lazo de histeresis de la fig. 3.3 se denomina "Intrinseco" porque solo representa la inducción que se presenta en el imán, sin embargo el medio en el cual el imán está inmerso también se magnetiza, linealmente, y se suma a la inducción intrínseca del imán para dar una inducción total.

En la curva de desmagnetización es importante considerar el producto de la inducción y la fuerza magnetizante, porque esto es indicativo de la energía que, se puede obtener del imán y por ello se le denomina "Producto de energía". Este producto es máximo en un codo de la curva de desmagnetización en el cual la pendiente cambia considerablemente.

Es usual representar familias de curvas de este producto para establecer una escala métrica para determinar la energía disponible en el punto de la curva de desmagnetización en el que se desea operar al circuito magnético, véase fig.3.4

Es siempre preferible operar al sistema magnético en una región donde se obtenga una máxima energía, pero ello, lleva a operar en una región inestable por cambios de temperatura, entonces, se elige un punto de la curva en el cual estos efectos sean reversibles y se le denomina "Punto de operación", el cual, necesariamente intersecta una curva de producto de energía, que indicará la energía disponible del imán. Este punto de operación al proyectarse sobre los ejes "B" y "H", definirá los parámetros intrínsecos " B_m " y " H_m " útiles para diseño del sistema magnético.

Se introduce otra escala a la curva de desmagnetización denominada de "Coeficientes de permeancia que indica la relación de la inducción a la fuerza magnetizante, como puede observarse con la figura 3.4. Estas escalas son utilizadas para, el diseño de los sistemas magnéticos y son tratados más adelante.

La curva de desmagnetización sufre desplazamiento ante los cambios de temperatura, elevándose el punto de remanencia y disminuyendo la fuerza coercitiva cuando la temperatura disminuye tal como se muestra en la figura 3.5.

Este efecto es importante de considerar porque otros cambios no son reversibles, cuando el punto de operación del circuito magnético se establece por debajo del codo de la curva de desmagnetización, resultando un sistema magnético inestable.

3.3 Diseño:

El diseño del sistema magnético propuesto en esta tesis es un método de aproximaciones sucesivas, en el cual partiendo de la densidad de flujo deseada en, el entrehierro, las dimensiones del mismo y seleccionando un imán de dimensio-

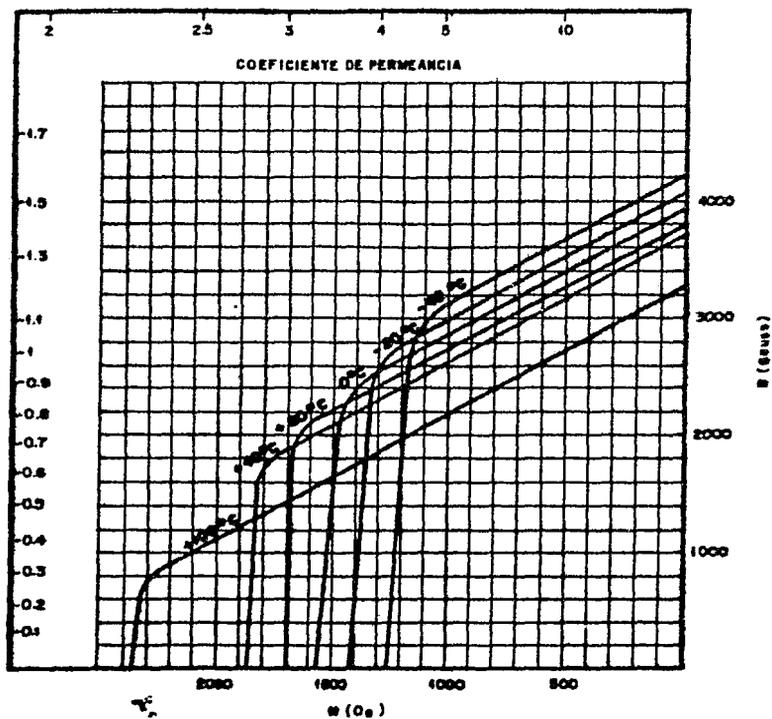
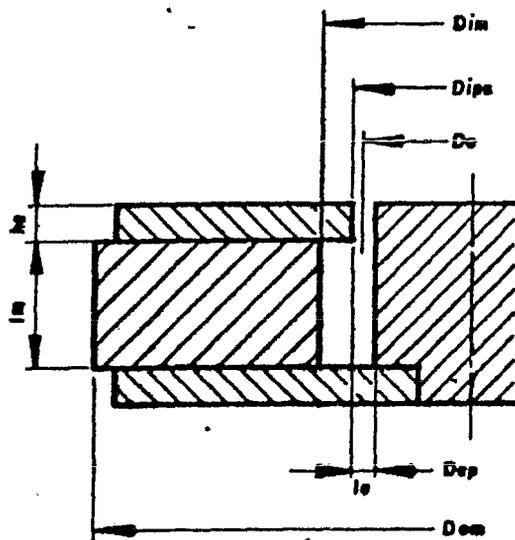


fig. 3.5 Curvas de demagnetización a diferentes temperaturas.



$$D_m = \frac{D_{ips} + D_{op}}{2}$$

$$A_p = \pi D_m l_0$$

$$l_0 = \frac{D_{ips} - D_{op}}{2}$$

$$A_m = \frac{\pi}{4} [(D_{cm})^2 - (D_{im})^2]$$

fig. 3.6 Dimensiones del sistema magnético

nes comerciales adecuadas al sistema magnético, se calcula el punto de operación para ese sistema y se compara su posición con la de una región de la curva de desmagnetización que se considera de efectos reversibles para operación estable, del circuito magnético.

En el diseño intervienen dos parámetros muy importantes; el factor de dispersión y el factor de reluctancia. El factor de dispersión es la relación de la permeancia total del circuito magnético a la permeancia del entrehierro, éste factor, cambia considerablemente con la forma geométrica y las dimensiones del circuito magnético incluyendo al imán. El coeficiente de reluctancia es la razón de la fuerza magnetomotriz (suministrada por el imán) a la fuerza magnetomotriz generada en el entrehierro; su valor está incluido por la magnitud del pequeño entrehierro que se forma entre la placa de sistema magnetomotriz y el imán, por el tipo de material de esa placa y por el nivel de saturación de la misma.

La evaluación de éstos parámetros es sumamente complicada y no existe un acuerdo entre los autores sobre los márgenes en los que estos valores fluctúan. Aquí se proponen las siguientes ecuaciones 3.1 y 3.2 que son ecuaciones empíricas que auxilian para estimar los valores de estos parámetros, para el diseño de ciertos sistemas magnéticos de geometría típica.

$$\text{Factor de reluctancia} \quad r = 5.68 \frac{l_m^2}{A_m} + 1.12 \quad (3.1)$$

$$\text{Factor de dispersión} \quad d = 14.8 \frac{l_m^2}{A_m} + 1.85 \quad (3.2)$$

En las cuales:

l_m , es la altura del imán.

A_m , es el área de la sección transversal ortogonal al eje del imán.

Para las ecuaciones 3.1 y 3.2 son necesarias las dimensiones del imán y para ello se elige de las tablas de los catálogos, un imán cuyas características dimensionales se adecúan al sistema magnético. Entonces se calculan "d" y "r" y con éstos datos se establece el punto de operación del imán con las ecuaciones siguientes:

$$B_m = \frac{d B_e A_e}{A_m} \quad (3.3)$$

$$H_m = \frac{r B_e l_e}{l_m} \quad (3.4)$$

en las cuales:

B_m , densidad de flujo magnético dentro del imán (en Gauss)

B_e , densidad de flujo magnético en el entrehierro (en Gauss)

A_e , área del entrehierro, perpendicular a las líneas de flujo magnético, situada en el centro del entrehierro (cm²)

L_e , Longitud del entrehierro (cm)

H_m , Fuerza magnetizante del punto de operación del imán (Oersted)

A_m y l_m fueron definidas para las ecuaciones 3.1 y 3.2 vease figura 3.6

Ahora, con los datos del punto de operación, se mapea éste en la curva de desmagnetización, debiendo esperarse que ese punto se encuentre muy próximo a la curva, y en la región de efectos reversibles, si no es así, habrá necesidad de ajustar los valores de " A_m " y " l_m " y por consiguiente de " r " y de " d " para iniciar los cálculos nuevamente hasta lograr la condición mencionada.

Hay que evitar que la densidad de flujo magnético en el entrehierro esperada, sea afectada por la saturación de la placa inferior ó de la pieza polar, la cual sucede a 15,000 gauss aproximadamente para el acero rolado en frío que es un material comunmente usado para la fabricación de las placas y la pieza polar. También puede llegar a suceder que si las placas son sumamente delgadas se incremente la dispersión del flujo magnético disminuyendose la densidad de flujo en el entrehierro.

Estos procedimientos teóricos dan una idea de la geometría de la estructura magnética, y los resultados así obtenidos deben ser afinados mediante experimentos. Así partiendo de un sistema magnético con una placa inferior de un diámetro exterior igual al imán, deberá ser medida y registrada la densidad de flujo de su entrehierro, e iniciar una reducción paulatina de ese diámetro exterior registrando cada vez la inducción en el entrehierro; se observará entonces un incremento en esa inducción debido a que algunas líneas de flujo disperso se les introduce al sistema magnético, pero todo ello hasta un diámetro crítico, el cual, si es reducido, solo provocará que la densidad de flujo en, el entrehierro se reduzca nuevamente, así también, debe experimentarse el espesor de la placa inferior, el cual nunca será menor que la placa superior, porque se incrementará la reluctancia en el sistema magnético, y provocaría que se dispersara más flujo.

IV

LA BOBINA MOVIL

En este capítulo se estudia a la bobina del altavoz como el primer elemento transductor de la energía, se asocian los parámetros de la transducción con sensibilidad, con el margen de respuesta a la frecuencia adecuada para diferentes tipos de altavoces, y la linealidad de la transducción con la distorsión resultante durante la operación del altavoz, por otra parte se consideran aspectos importantes de la bobina que determinan, junto con otros factores, la capacidad de manejo de potencia, y por último se propone un método empírico para el cálculo del número de espiras de la bobina.

4.1 La transducción de la energía en la bobina móvil:

Esta transducción sucede al interactuar el campo magnético del entrehierro, con los electrones en movimiento en el conductor del altavoz en operación. De acuerdo con la Ley de Lorentz, en el caso específico de una región en el espacio donde solo existe un campo magnético, esos electrones estarán bajo la acción de una fuerza desviadora que es proporcional a la velocidad con que ellos, se desplazan, a la magnitud de su carga y a la densidad de flujo magnético existente en esa región, como se describe la siguiente ecuación:

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (4.1)$$

De la ecuación 4.1 puede observarse que la fuerza actuante es máxima cuando las direcciones de la velocidad de los electrones y del campo magnético forman un ángulo recto, por ello la geometría con la que se construyen tanto la bobina móvil como el entrehierro del altavoz, siempre permite obtener la ortogonalidad de esos dos vectores.

La ecuación 4.1 puede ser expresada en función de otros parámetros que para el análisis del altavoz resulta más objetiva y se describe a continuación:

$$\vec{F} = i \vec{l} \times \vec{B} \quad (4.2)$$

En la cual:

F, es la fuerza que resulta de la interacción entre la corriente y el campo magnético (dinas)

i, es la corriente que circula en la bobina (abampers)

l, es un vector cuya magnitud se asocia a la longitud de las espiras de la bobina que efectivamente se encuentran dentro del entrehierro, y cuya dirección se asocia a la dirección de la corriente (centímetros)

B, es el campo magnético en el entrehierro (Gauss)

Ahora, como en el altavoz esos vectores siempre guardan una condición de ortogonalidad, la ecuación 4.2 puede ser consideradamente escalar, como se describe a continuación:

$$F = i l B \quad (4.3)$$

Según la ecuación 4.3 se puede observar que si el producto "Bl" permanece constante, la fuerza ejercida sobre la bobina será directamente proporcional a la corriente de entrada al altavoz. Esta condición se logra con resultados satisfactorios solo bajo ciertas condiciones de diseño. Restringiendo el margen de frecuencias del altavoz resulta la siguiente clasificación en función de ello:

- (a) altavoz para frecuencias bajas ("Woofers")
- (b) altavoz para frecuencias medias ("Midrange")
- (c) altavoz para frecuencias altas ("Tweeter")

cabe hacer la aclaración de que existen otras condiciones que deben reunir esos tipos de altavoces, independientemente del producto "Bl" como será visto más adelante.

Por otra parte, cuando el producto "Bl" no es constante, se puede esperar que, la reproducción en el altavoz resulte distorsionada, cuando éste opera señales, cuya frecuencia estén próximas a su frecuencia de resonancia en la cuál los desplazamientos de la bobina son muy grandes.

También es importante considerar el producto "Bl" como factor determinante de la sensibilidad del altavoz, siendo este parámetro, el nivel de presión sonora, obtenido del altavoz cuando se alimenta una señal de ruido especial a una potencia unitaria y a una distancia también unitaria, sobre un eje.

4.2 El manejo de la potencia en la bobina móvil:

El manejo de la potencia eléctrica en la bobina móvil está determinado por la capacidad de disipación del calor generado por el paso de la corriente eléctrica, la tolerancia a la temperatura del recubrimiento aislante del alambre y, esa misma tolerancia del adhesivo que mantiene unidas las espiras del devanado. Si el calor generado es excesivo, puede dañar el adhesivo del soporte sobre el cuál se devanan las espiras y al recubrimiento aislante del alambre, y provocar cortocircuitos entre las espiras de la bobina; ello afecta drásticamente a la impedancia. Que se reduce considerablemente y a su vez la corriente eléctrica aumenta, generando más calor y dañando aún más las espiras de la bobina, las cuales pueden llegar a desprenderse del soporte que las mantiene unidas; - otro daño que puede sufrir el conductor, es que este se funda y se rompa en un punto impidiendo el paso de la corriente, por todo ello, siempre es necesario, especificar una potencia de manejo máxima, por debajo de la cuál se deberá garantizar que el altavoz no sufrirá daños. Factores que están envueltos en todo esto son los siguientes:

- a.- Diámetro de la bobina.
- b.- Materiales del soporte
- c.- Tipo de recubrimiento en el alambre.
- d.- Diámetro del alambre.
- e.- El adhesivo que une a las espiras.

El diámetro de la bobina, esta en función directa del área de disipación de calor, así mientras más disipación de calor haya en la bobina, puede esperarse que sea menor el incremento de temperatura. Por lo que respecta al tipo de material del soporte sobre el cual se devanan las espiras de la bobina, es usual, encontrar papel y aluminio, con algún recubrimiento de adhesivo, resultando el aluminio mejor disipador que el papel, siendo entonces el aluminio, el material adecuado para potencias elevadas.

En la tabla siguiente, se han estimado las capacidades de manejo de potencia en función del diámetro de la bobina y del material del soporte:

Diámetro nominal de la bobina.	Material del soporte	
	Papel	Aluminio
13 mm	2 Watt	-
16 mm	4 Watts	6 Watts
19 mm	8 Watts	12 Watts
25 mm	12 Watts	25 Watts
30 mm	-	30-40 Watts
40 mm	-	45-55 Watts
50 mm	-	60-70 Watts
75 mm	-	75-100 Watts

Tabla 4.1

Los recubrimientos de los alambres están clasificados por la temperatura a la que pueden operar durante un tiempo determinado de vida. Esto depende del tipo de recubrimiento usado, pudiendo localizarse en el mercado varios tipos de alambre de cobre, recubierto, que pueden usarse en las bobinas de los altavoces, como los que se mencionan en la tabla siguiente y fig. 4.1

Clasificación	Norma ASTM	Tipos de recubrimiento
105 ° C	A	Poliuretano: vinil acetato fenólico.
130 ° C	B	Epoxy: poliuretano poliamida.
155 ° C	F	Poliéster poliamida.

Tabla 4.2

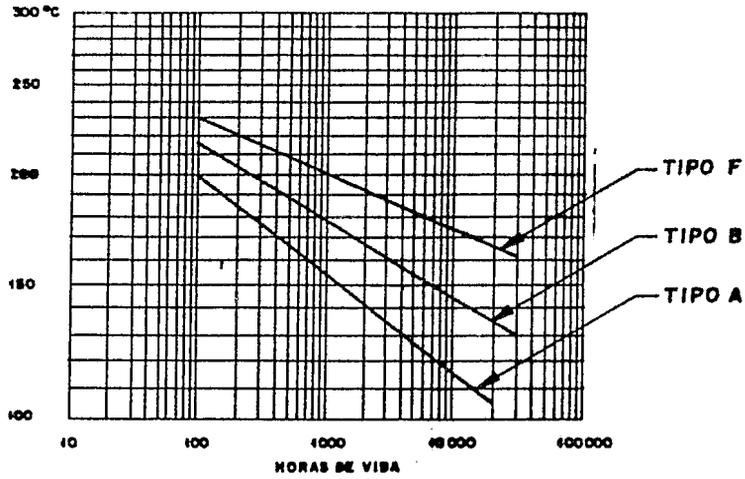


fig. 4.1 Gráfica de vida térmica del alambre magneto.

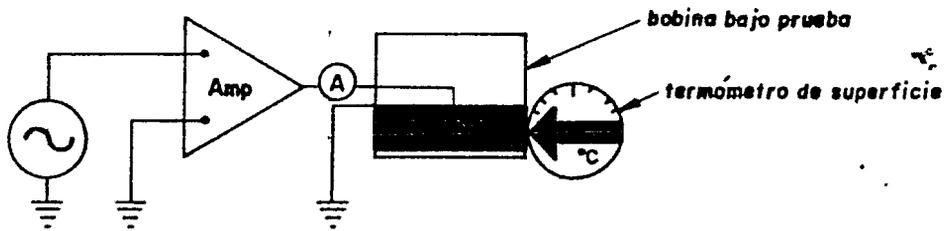


fig. 4.2 Circuito práctico para la evaluación de los efectos del calor sobre la bobina.

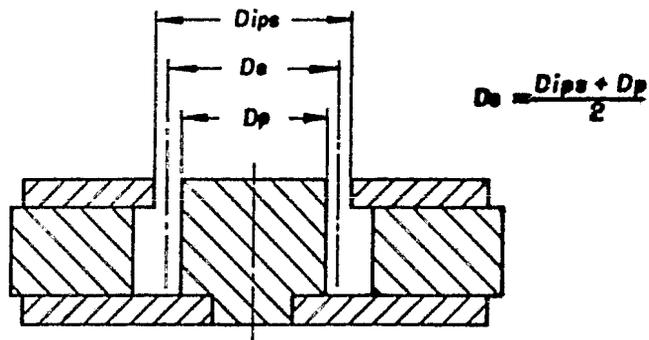


fig 4.3 Visualización del diámetro central del entrehierro.

El diámetro del alambre determina el calor que la bobina puede disipar, siendo, ese calor mayor cuando se usa un alambre de diámetro pequeño. Esto sucede debido al efecto Joule (1) que establece que los electrones de la corriente constituyen una serie de movimientos acelerados, cada uno de los cuales termina al chocar contra uno de los cristales que forman al conductor. Los electrones ganan, energía durante las trayectorias libres entre dos choques, misma que ceden a los cristales, o sea, se convierte en calor. Cuando se maneja la misma potencia en dos alambres de diámetro diferente, se puede esperar la misma corriente en ambos conductores pero considerando la densidad de corriente en cada conductor esta será mayor en el alambre más delgado y por ello habrá una frecuencia de choque mayor, y por tanto una mayor generación de calor, además, debe considerarse que un alambre de sección transversal grande presenta un área de disipación mayor.

Por último, considerense los diferentes tipos de adhesivos usados para mantener unidas las espiras del devanado; se usan adhesivos a base de poliuretanos para potencias bajas; fenólicos para potencias medianas y epoxycos para potencias altas.

una manera práctica de evaluar el efecto del calor sobre la bobina es la siguiente:

- I) Constituir el circuito de la fig. 4.2
- II) Aplicar a la bobina bajo prueba una potencia un 30 % mayor que la especificada para trabajo nominal.
- III) Registrar con un termómetro de superficie, que la temperatura alcanzada, no rebasa a la del alambre utilizado.
- IV) Observar durante un periodo de tiempo el comportamiento del devanado.

Considere normal el cambio de tonalidad a obscuro en el alambre, pero no el hecho de que aparezcan pequeñas burbujas en el recubrimiento del alambre y en el adhesivo.

- VI) Si sucediese lo mencionado en el inciso V, se deberá cambiar el calibre del alambre.

4.3 Cálculo de espiras de la bobina móvil:

Para calcular el número de espiras, se parte de la impedancia nominal que tendrá el altavoz terminado, de la cuál se estima que el valor de la resistencia a corriente es un 10 % menor para bobinas de 2 capas, y de un 20 % menor para bobinas de 4 capas. El diámetro del alambre deberá escogerse en función de varios aspectos que serán tratados en la siguiente sección, por tanto, aquí solo se atenderá a aspectos dimensionales, esto es, que el alambre se aloje en el entrehierro sin el riesgo de rozar una vez que se ha embobinado, para ello son requeridos espacios, entre paredes de la bobina y las del entrehierro. Espacios típicos se dan en la siguiente tabla:

Diámetro de bobina	Espacios típicos entre las paredes de la bobina y el entrehierro.
13 mm	.12 mm
16 mm	.12 mm
19 mm	.18 mm
25 mm	.20 mm
30 mm	.25 mm
40 mm	.30 mm
50 mm	.35 mm
75 mm	.40 mm

Tabla 4.3

Deberá elegirse un alambre con el cuál no se reduzcan considerablemente los espacios, tomando en consideración el soporte de la bobina.

Una vez conocida la resistencia del alambre elegido, se calcula la longitud del mismo, que tendrá esa resistencia mediante la siguiente ecuación:

$$L_{Cu} = 4.6 \times 10^7 D_{Cu}^2 R_{Cd} \quad (4.4)$$

$$L_{Al} = 2.8 \times 10^7 D_{Al}^2 R_{Cd}$$

Donde:

D = Diámetro del alambre (de cobre o aluminio) en metros.

R_c = Resistencia del alambre en ohms.

Ahora conociendo las dimensiones del entrehierro se determina un diámetro que en el cálculo puede ser considerado como el diámetro que tiene cada espira pasando, por el entrehierro, como se ve en la fig. 4.3

Entonces, el número de espiras totales será la división de la longitud total del alambre (calculado según ecuación 4.4) en el perímetro de una de las espiras de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N_T = \frac{L}{\pi D_c} \quad (4.5)$$

Donde:

N_T : Vueltas totales.

L : Longitud total del alambre.

D_c : Diámetro central.

Con esto dependiendo del número de capas del devanado se calculan el número de espiras por capa.

$$N_c = \frac{N_T}{C} \quad (4.6)$$

N_c : Vueltas por capa

C : Número de capas del devanado.

El número de espiras así calculado debe ser ajustado para obtener realmente la impedancia nominal. La impedancia nominal usualmente es especificada en la región plana de la curva de impedancia la cuál tiene un comportamiento similar al descrito por la figura 4.4.

Si la curva no está definida, al principio del cálculo y deberá construirse un prototipo de altavoz con objeto de conocer donde se encuentra esa región plana y medir ahí la impedancia obtenida. Si el resultado no es el esperado, puede hacerse un ajuste utilizando "La regla de tres simple"

$$N_z = N_i \frac{Z_z}{Z_i} \quad (4.7)$$

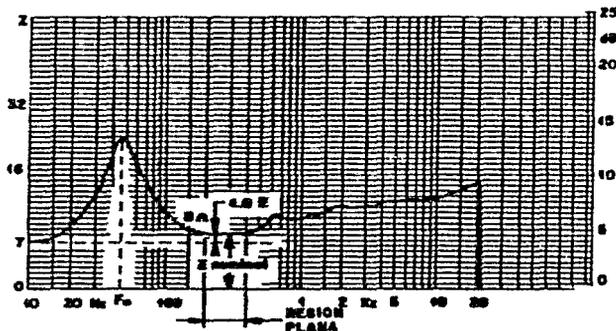


fig. 4.4 Curva de impedancia típica.

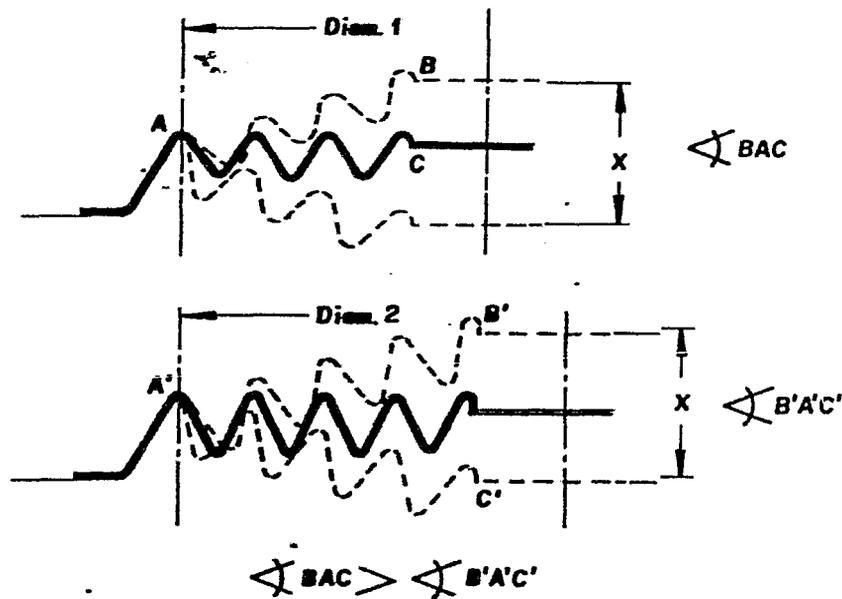


fig. 4.5 Comparación de dos movimientos angulares de dos suspensiones centrales de diferente diámetro exterior.

En donde:

N_1 : El número de espiras calculado en la primera aproximación.

Z_2 : Es la impedancia nominal que se desea obtener.

Z_1 : Es la impedancia nominal obtenida con la bobina de "N" espiras.

Deberán hacerse tantas aproximaciones como sea necesario.

El número de espiras por capa, determina la longitud del devanado, teniendo:

$$l_D = N_c D_a \quad (4.8)$$

Esta longitud de devanado, tiene efectos importantes en el comportamiento del altavoz como se verá en la sección siguiente.

4.4 Efectos de la longitud del devanado, en la sensibilidad y la distorsión.

La longitud del devanado afecta al producto "Bl" del altavoz, y en el mejor de los casos pudiera desearse que un máximo número de líneas de flujo atraviesen la totalidad de espiras del devanado; de esta manera el producto "Bl" sería muy alto y así también la sensibilidad del altavoz, pero sucede que cuando el altavoz se encuentra en operación, la bobina se desplaza axialmente, y si esos desplazamientos son, muy grandes, una porción importante del número de espiras, saldrá del entrehierro, y la transducción será alineal resultando distorsión en la reproducción. Para reducir esa distorsión, puede incrementarse la longitud del devanado, con objeto de, que siempre haya un mismo número de espiras dentro del entrehierro, de tal manera, que si la bobina se desplaza en un sentido y salen un número determinado de espiras un número igual se introduzca al entrehierro en el lado opuesto, pero todo esto produce que la sensibilidad se reduzca. Esta situación se acentúa aún más por que en el margen de frecuencias de operación del altavoz, las amplitudes de los desplazamientos son muy diferentes aunque se conserve constante la potencia suministrada en todas las frecuencias, siendo grandes en frecuencias bajas y pequeñas, casi imperceptibles, en frecuencias altas. Por éstas y otras razones, es conveniente restringir el margen de frecuencias de operación del altavoz, es decir construir altavoces para operar frecuencias bajas exclusivamente, así también para frecuencias medias y para frecuencias altas.

Entonces en un altavoz para frecuencias bajas (Woofers) la longitud del devanado es mayor que la altura del entrehierro para reducir la distorsión aunque la sensibilidad también se reduzca. Un devanado así, se construye con alambres de diámetro grande y esto permite además un manejo de potencias elevadas.

Por su lado, un altavoz para frecuencias altas (Tweeter) puede contar con una bobina cuya longitud de devanado sea igual a la altura del entrehierro, ya que, puede esperarse que las espiras no saldrán del entrehierro, porque como se dijo anteriormente los desplazamientos axiales de la bobina son muy pequeños.

En un altavoz de frecuencia media (Midrange) los desplazamientos son también pequeños, aunque no como en un altavoz de frecuencias altas, y es preferible que, la longitud del devanado sea mayor que la altura del entrehierro, aunque de menor tamaño que para el caso del woofer.

4.5 La suspensión central:

La función de la suspensión central es la de restaurar la posición original después de haberle aplicado una fuerza, además ayuda a restringir el movimiento de la bobina en la dirección axial.

Esta pieza es moldeada, de tela impregnada con alguna resina termofija, usualmente fenólica, en la cuál se forman una serie de ondulaciones concéntricas, con el fin de que funcione como resorte. La compliancia de la suspensión corresponde a la constante de restitución de un resorte de desplazamientos lineales; esto sólo se cumple a pequeñas amplitudes lineales, Según "Olson" la compliancia de la suspensión central, está descrita por la siguiente ecuación:

$$C_{mx} = \frac{C_{mo}}{1 + \beta X^2} \quad (4.9)$$

En la cual:

C_{mo} = es la compliancia inicial, cuando el desplazamiento "X" tiende a cero.

β = Constante de proporcionalidad.

La alinealidad en la compliancia de la suspensión tiene un efecto de histeresis en la frecuencia de resonancia del altavoz, ya que se tienen dos diferentes valores cuando se explora variando la frecuencia de la señal excitadora, ya sea en un sentido ascendente ó en uno descendente.

La alinealidad de ésta suspensión, también tiene efectos importantes en la distorsión armónica total de la señal que reproduce el altavoz, ya que las restricciones que impone al movimiento van aumentando a medida que son mayores los desplazamientos.

Con objeto de reducir esa alinealidad, se debe hacer el diámetro exterior de la suspensión, tan grande como sea posible, de tal forma que los movimientos angulares descritos por ésta, sean pequeñas, vease figura 4.5

El tejido de la tela debe permitir el paso del aire a través de ella, cuando se trate de altavoces cuyos conos tengan grandes desplazamientos. Mientras más oposición al paso del aire ofrezca la suspensión mayormente amortiguado resultara el altavoz.

V

EL CONO Y SUSPENSION CENTRAL

5.1 Introducción:

El sonido es toda perturbación mecánica en un medio elástico como lo es el aire que pueda producir un fenómeno auditivo.

Esa perturbación es una onda de energía, en la que se presentan compresiones y expansiones del medio elástico, sucesiva y alternativamente, lo cual constituye una onda de presión. Para que se produzca el fenómeno auditivo, es requerido, - que la perturbación contenga frecuencias dentro de una gama definida, además es necesario que el nivel de presión sonora de la perturbación excite al sistema - auditivo.

En el altavoz, el cono es el elemento generador de la onda de presión sonora; para ello es necesario que éste vibre para producir las compresiones y las expansiones del medio circundante.

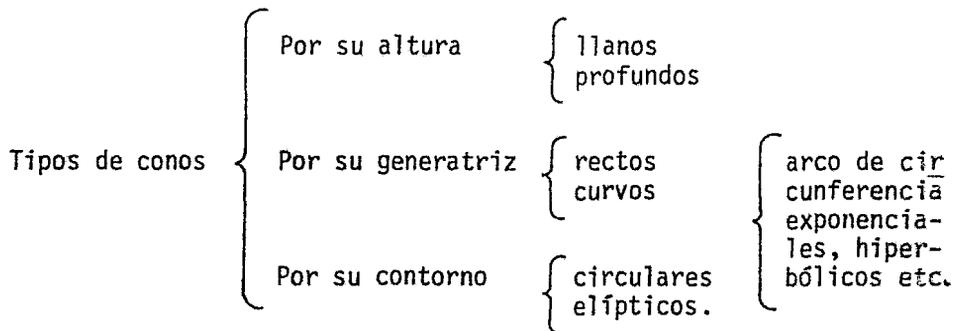
Estas vibraciones son provocadas por los movimientos de la bobina, a la cual el cono, se encuentra firmemente unido en su ápice, quien le transmite la fuerza - que en ella se transduce.

De esta manera, parte de la energía mecánica transmitida al cono, es radiada como energía acústica mientras que la otra parte se disipa en él. Es deseable que el cono, se comporte como un pistón rígido bajo la acción de las vibraciones, para que toda su superficie radie en fase, sin embargo, esto sólo sucede en las frecuencias bajas, mientras que en las altas, el cono como cualquier otra membrana, se encuentra sujeto a deformaciones provocando zonas nodales y antinodales. Estos fenómenos repercuten en la respuesta del altavoz, lo cuál es tratado en este capítulo. También serán tratados aspectos de la direccionalidad en función de la geometría del cono y otros como en el corte a altas frecuencias. Así mismo, se consideran los parámetros mecánicos del cono y el efecto que en ellos tiene el tipo de suspensión empleada.

Por último se justificará la necesidad de restringir las gamas de frecuencias de operación de los altavoces para mejor respuesta.

5.2 Geometría del cono.

Dependiendo de la geometría que define la forma de los conos, se puede clasificar de la manera siguiente:



Los conos pueden ser diseñados combinando las tres características principales enunciadas arriba. Ello tiene efectos muy diversos, pero puede considerarse, que existe una característica primordial que define la geometría que debe tener el cono, como será tratado a continuación:

(a) Conos llanos:

Estos conos son débiles usualmente y se utilizan en donde existen limitaciones de espacio, por esto, es común encontrarlos en altavoces pequeños que operan -bajas potencias, su patrón direccional es amplio.

(b) Conos profundos:

Estos conos presentan una mayor rigidez que los llanos, aunque su respuesta direccional es muy estrecha. Debido a los grandes desplazamientos que sufre el cono de un woofer, está sujeto a mayores deformaciones, por lo que se recomienda éste tipo de conos.

(c) Conos rectos:

Son utilizados donde no existen problemas de direccionalidad ni de formación de nodos de vibración, tal como sucede en frecuencias bajas, por ello, es común encontrarlos en altavoces reproductores de esa gama de frecuencia.

(d) Conos curvos:

La curvatura ayuda a ensanchar el patrón direccional, además incrementa la rigidez radial del cono.

La curvatura en el ápice determina; junto con otros factores, la frecuencia de corte con el extremo alto, tal como se les encuentra normalmente en altavoces, para reproducir frecuencias altas (Tweeters) porque en esa gama los lóbulos son filosamente direccionales.

(e) Conos circulares:

Los conos circulares presentan las mismas características direccionales en los planos vertical, y horizontal que se intersectan en su eje. Aunque ello no es uno de los objetivos del diseño, es un resultado de su geometría, que es la más comunmente usada en los altavoces.

(f) Conos elípticos:

Este tipo de conos tienen la finalidad de obtener una máxima área de radiación en donde el espacio disponible está limitado. Tienen diferentes comportamientos sobre sus ejes siendo más afilado en el plano que contiene al eje mayor de la elipse y al eje de simetría, y es más ancho en el plano que contiene al eje menor de la elipse y al eje de simetría. Estos dos patrones diferentes son más angostos y más anchos, respectivamente, que los que tendrfa un cono circular de igual área de radiación.

5.3 Corrugaciones.

El uso de corrugaciones sobre cualquiera de los conos que se mencionaron en la sección anterior tiene la finalidad de incrementar la rigidez radial, reduciendo la formación de nodos de vibraciones que introducen distorsión alineal en la respuesta del altavoz. La figura 5.1 muestra nodos de vibración típicos de un cono de papel afelpado de \varnothing 200 mm, esos nodos de vibración contribuyen grandemente a que la curva de respuesta a la frecuencia no sea plana.

Principalmente existen tres tipos de corrugaciones mismas que se muestran en la figura 5.2

Ellos presentan efectos de compliancia que desacoplan al cono en las diferentes gamas de la frecuencia de operación de los altavoces, ésto es, para determinadas

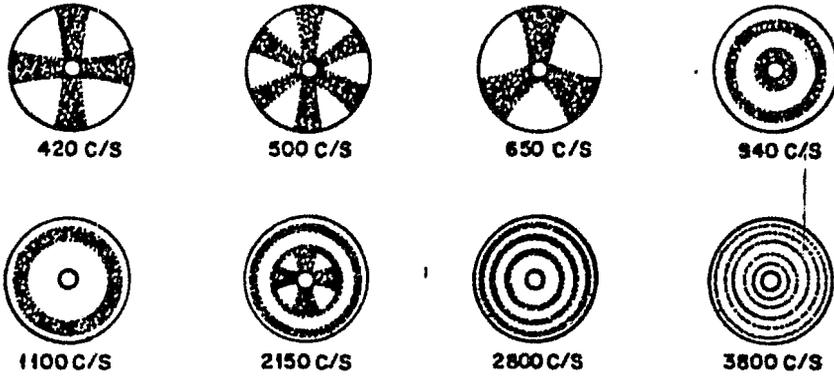


fig. 5.1 Nodos de vibración de un altavoz a diferentes frecuencias.

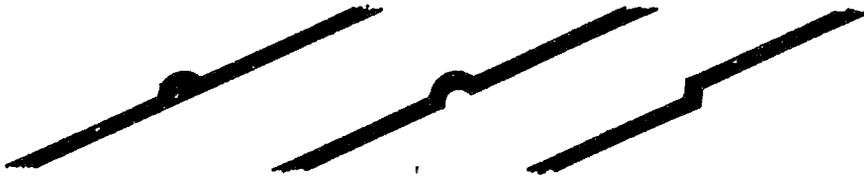


fig. 5.2 Tres tipos de corrugaciones en los conos.

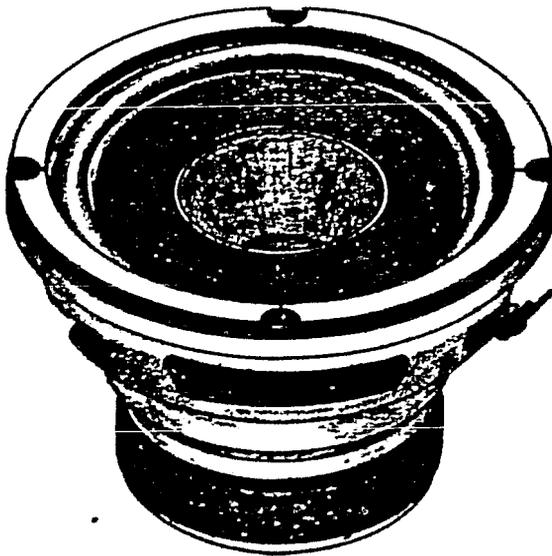
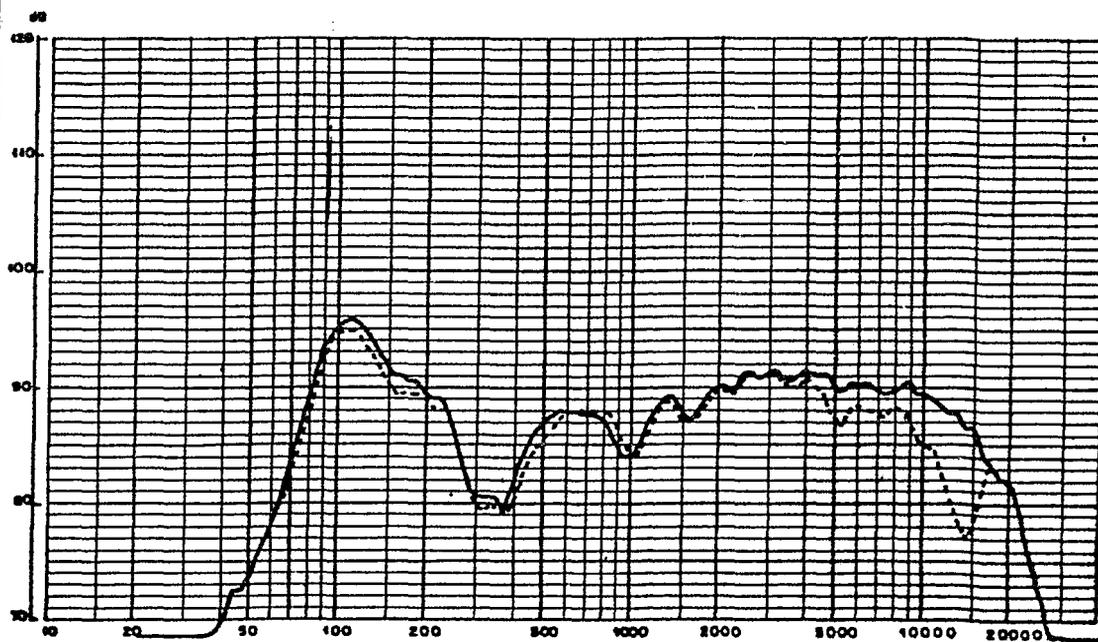


fig. 5.3 Altavoz con difusor.



Curvas de respuesta del altavoz con y sin difusor mostrado anteriormente.

Potencia aplicada: 1 W

Velocidad de escritura: 25 mm/seg.

Velocidad del papel: 10 mm/seg

Nivel de presión sonora eficaz

Distancia al microfono: 1 m

———— con difusor

----- sin difusor

frecuencias el cono es una pieza rígida mientras que para otras el área de radiación es tan solo una porción del cono. Estas corrugaciones presentan también, efectos disipativos de la energía mecánica que no es radiada.

5.4 Características mecánicas de los conos.

El cono por sí solo posee masa, compliancia y amortiguamiento mecánicos, que tienen efectos importantes en el comportamiento del altavoz. La masa afecta a, la frecuencia de resonancia principal, resultando frecuencias de resonancia menores a medida que se incrementa la masa del cono, a su vez los conos pesados, poseen paredes más rígidas que permiten al altavoz el manejo de potencias elevadas con menor distorsión; la masa del cono también afecta a la frecuencia de corte en las frecuencias altas y también reduce la sensibilidad del altavoz. La compliancia de la suspensión del cono conjuntamente con su masa determina su frecuencia de resonancia y es un factor alineal que introduce distorsión en la respuesta del altavoz. Por último, el amortiguamiento es debido a las características disipativas de las paredes del cono, lo cual afecta principalmente a la respuesta transitoria del altavoz. Esta respuesta esta intimamente ligada a la reproducción de percusiones del programa musical.

En la reproducción de frecuencias bajas, el cono está sometido a grandes esfuerzos y resulta ser requisito el incrementar su masa para reforzar sus paredes. Sin embargo, esas paredes no deben ser compactadas para dar esa rigidez requerida, ya que ello deterioraría la buena respuesta a transitorios. Esto es debido a que ante la presencia de un impulso, un cono rígido se mantendría vibrando después de que el impulso desapareciera, mientras que un cono no compactado disiparía la energía de esa vibración alterando en un menor grado la forma de ese impulso.

En las frecuencias altas la masa del cono requiere ser muy liviana para extender, la respuesta hacia el extremo alto, pero por ello no debe entenderse que el cono, sea débil, lo cual indica que el cono debe ser rígido y compacto. Este requisito se acentúa aún más, porque en esa gama las paredes del cono se comportan como una compliancia, reduciendo el área efectiva de radiación, entonces, el cono debe comportarse muy rígido para obligar a mover un área mayor.

Por otra parte, con el fin de disipar al máximo la onda que se transmite en el -

cuerpo del cono, se pueden usar diversos materiales en la suspensión del mismo. Normalmente, ésta suspensión es del mismo papel del cuerpo del cono, siendo la única diferencia, quizá, el espesor que el papel tiene en esa región, que incluso puede ser translúcido, con el objeto de incrementar la compliancia y bajar la frecuencia de resonancia. Esta suspensión de papel puede ser recubierta con algún latex y así incrementar sus características disipadoras. Otra alternativa es usar un material diferente para la suspensión, que se denomina -- "anular" por constituir un componente adicional que posee esa forma. La suspensión anular ofrece las siguientes ventajas:

- (a) Un mayor factor de disipación.
- (b) Una mayor linealidad en la compliancia.

Esta suspensión anular es usual encontrarla de poliuretano ó de tela ahulada.

5.5. Respuesta a la frecuencia:

Como puede deducirse de lo anteriormente expuesto, es difícil que un altavoz cubra una amplia gama de frecuencias. Se puede intentar construir altavoces de gama de respuesta extendida, usando combinaciones de características de cada elemento, incluso se usa un segundo cono coaxial, también unido a la misma bobina, pero sin contar con suspensión alguna, el cual extiende la respuesta del altavoz hacia las altas frecuencias, como puede verse en la fig. 5.3 en realidad los parámetros para una y otra banda se encuentran comprometidas, como lo muestra la tabla 5.1

Características del cono	Gama de Frecuencias	
	bajas	altas
Altura	Profunda	ligeramente llana
Generatriz	Rectos	Curvados
Masa	Grande	Pequeña
Amortiguamiento	Alto	Bajo
Compliancia	Alta	-
Rigidez	Baja	Alta

Tabla 5.1

De tal manera que para una buena reproducción, es recomendable dividir la gama audible en bandas restringidas, que permitan diseñar con las características adecuadas para cada banda específica. Esto se complementa con lo visto en el capítulo 4, en el diseño de la bobina móvil, en la que resultan altavoces para operar, ya sea frecuencias bajas, medias ó altas.

VI

FABRICACION DE COMPONENTES Y EL ENSAMBLE DEL ALTAVOZ

6.1 Introducción

En este capítulo, se tratan algunos aspectos de la fabricación de los componentes dinámicos, ya que en ellos está envuelta la calidad del sonido que el altavoz reproduce. Necesariamente, dicha calidad debe ser controlada desde el inicio en los procesos de manufactura de cada componente. Ahora, como la producción de los componentes estáticos (no dinámicos) se desvían hacia otros tipos - de manufacturas, solo se considerarán los requerimientos que dichos componentes deben reunir para un buen ensamble.

Se consideran elementos dinámicos a los siguientes:

- (a) El cono
- (b) La suspensión central.
- (c) La bobina
- (e) El cubrepolvo

6.2 Procesos de fabricación de los conos:

Existen dos tipos de cono en función a su manufactura:

- (a) de papel
- (b) de pulpa

El cono de papel es la versión más económica y ofrece resultados satisfactorios aunque no óptimos. Como se verá más adelante. Considérese por el momento el flujo de los pasos de su manufactura que se muestran en el diagrama siguiente:

VI

FABRICACION DE COMPONENTES Y EL ENSAMBLE DEL ALTAVOZ

6.1 Introducción

En este capítulo, se tratan algunos aspectos de la fabricación de los componentes dinámicos, ya que en ellos está envuelta la calidad del sonido que el altavoz reproduce. Necesariamente, dicha calidad debe ser controlada desde el inicio en los procesos de manufactura de cada componente. Ahora, como la producción de los componentes estáticos (no dinámicos) se desvían hacia otros tipos de manufacturas, solo se considerarán los requerimientos que dichos componentes deben reunir para un buen ensamble.

Se consideran elementos dinámicos a los siguientes:

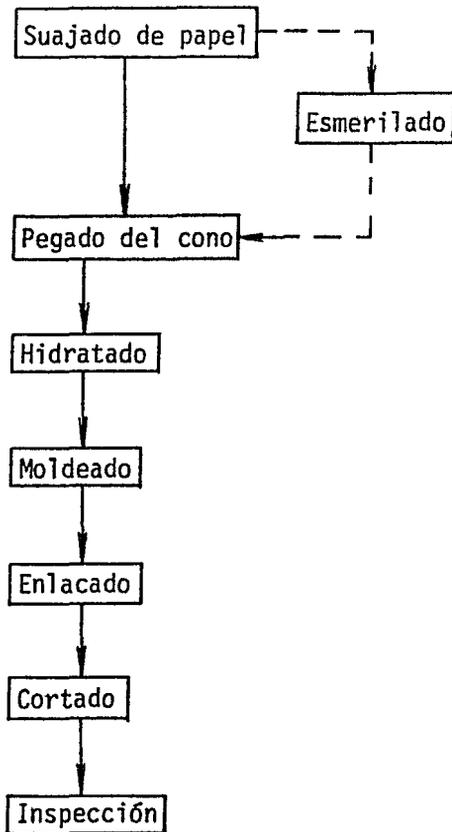
- (a) El cono
- (b) La suspensión central.
- (c) La bobina
- (e) El cubrepolvo

6.2 Procesos de fabricación de los conos:

Existen dos tipos de cono en función a su manufactura:

- (a) de papel
- (b) de pulpa

El cono de papel es la versión más económica y ofrece resultados satisfactorios aunque no óptimos. Como se verá más adelante. Considérese por el momento el flujo de los pasos de su manufactura que se muestran en el diagrama siguiente:

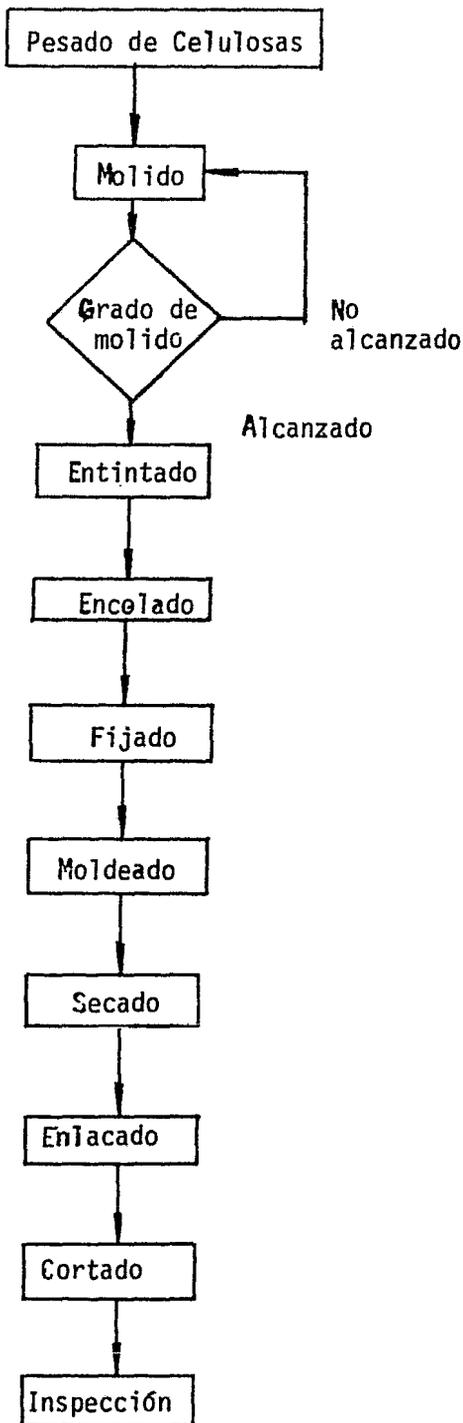


Se usa un papel especial cuyas características le permiten al cono reproducir el sonido dentro de ciertos márgenes de calidad. Ese papel es "suajado" o sea, cortado con una herramienta que tiene la forma predeterminada, que al unirse forma el cono. Antes de pegar, se puede reducir el espesor del papel en la región donde se moldeará la suspensión, con objeto de obtener una frecuencia de resonancia. Para ello se esmerila la hoja de papel suajado. El cono de papel es hidratado para hacer al papel flexible y evitar arrugas, durante el moldeado se definen las corrugaciones y los pliegues de la suspensión. Posteriormente se enlaca el ápice del cono, para darle rigidez y mejorar la respuesta en las frecuencias altas. Después se recortan los excedentes de papel y el cono está,

listo para ser inspeccionado visualmente, sobre la calidad del moldeado de sus dimensiones y su frecuencia de resonancia.

En este proceso, debe cuidarse que el cono no se torne quebradizo por moldear a temperaturas elevadas.

Por su parte, el cono de pulpa puede ser fabricado como ilustra el siguiente diagrama:



Se utilizan diferentes tipos de celulosas, las cuales combinadas pueden ofrecer características óptimas en los conos. Esas combinaciones se determinan a través de largas series de experimentaciones en las cuales, el grado de molido tiene gran importancia. El pesado de las celulosas establece la proporción especificada para cada una de ellas. Estas son desfibradas ó molidas, usualmente en una "pila holandesa". El tiempo de molido dura hasta que se alcanza un determinado grado de molido, el cuál puede ser medido mediante un método en el que se determina la drenabilidad de las fibras suspendidas en agua, denominado "Canadian Standard" - (1). El grado de molienda tiene efectos directos en las características mecánicas del cono, tales como el amortiguamiento y la rigidez del papel. Cuando se ha alcanzado el grado de molido, se procede entonces a entintar el papel, posteriormente se le agregan encolantes que unirán las fibras y por último se fijan, es decir, se precipitan los aditivos hacia las fibras, de la celulosa y así la pulpa está lista, para ser moldeada, La pulpa se mantiene, durante el proceso suspendida en agua, y se le hace pasar a través de una malla que tiene la forma del cono, succionando el agua, quedando depositada la pulpa en esa malla, la cual sirve de molde a su vez durante el secado del cono.

Este secado puede ser:

(1) International Standard ISO 5267/2-1980 (E)

- (a) Prensando el cono en moldes calientes
- (b) Haciendo pasar aire seco caliente através de la pulpa.

El cono no prensado ofrece mejores características mecánicas en altavoces reproductores de frecuencias bajas.

Posteriormente se sigue un proceso similar al de los conos de papel. En el cono de pulpa, la frecuencia de resonancia se puede controlar, aplicando diferentes niveles de succión en el cuerpo del cono y en la región de la suspensión para obtener diferentes espesores de papel en el mismo cono, siendo mayor el margen de control que en el de papel.

Así mismo, la masa del cono de pulpa se puede controlar dentro de un margen de variación continua, mientras que en el de papel, esa variación está en función de los espesores de papel empleado. Por otra parte, el cono de pulpa puede hacerse tan curvado como se considere necesario.

Por último, se concluye que existe una gran variedad de maneras de controlar las características del cono, cuando este es de pulpa.

6.3 Proceso de fabricación de la suspensión central:

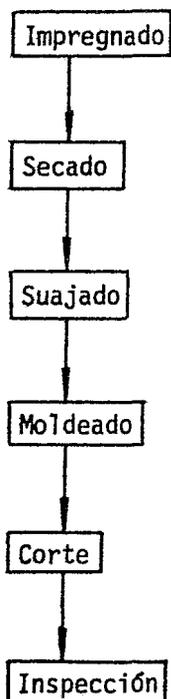
Esta suspensión se manufactura con alguna tela de fibra natural (algodón, lino) de trama abierta, para permitir el libre paso del aire. La tela es impregnada con resina fenólica, la cual polimeriza bajo la acción del calor, lo cual le permite mantener su forma después de haber sido moldeada.

La compliancia de esta suspensión dependerá de los siguientes parámetros de tela y de la impregnación:

- (a) Del grueso de hilo de la tela.
- (b) De la trama de la tela.
- (c) De la concentración de sólidos en la resina de impregnación por unidad de área.

Los mejores resultados se obtienen con telas de trama cuadrada en las que se tiene el mismo tipo de hilo en ambos sentidos del tejido.

Habiendo considerado esos aspectos preliminares, se ilustra a continuación, un proceso típico para la fabricación de esta suspensión:



En el proceso de impregnación, se sumerge la te la en una tina que contiene a la resina disuelta en un solvente compatible y se le hace pasar en tre rodillos que limitan la cantidad de esa solución, a aquella que se considere adecuada, - posteriormente la tela es secada en un horno que debe tener la característica de poder expulsar, los solventes que se gasifican.

La tela es enrollada fuera del horno para poste^rriormente ser suajada. La tela así cortada, se lleva al molde, donde la pieza toma la forma de definitiva. Posteriormente la pieza es cortada en sus diámetros interior y exterior, preferentemen^te mediante el uso de troqueles. Por último la compliancia de la pieza puede ser inspeccionada, midiendo la deflexión que presenta, cuando se le somete a la acción de un peso.

Con objeto de esperar que la compliancia de las suspensiones así fabricadas se mantenga uniforme dentro de un margen de tolerancia, es importante considerar, los siguientes aspectos;

- (a) Que las características de la tela no varíen
- (b) Que se mantenga constante la densidad de la resina disuelta en la tina de impregnación.
- (c) Que se mantengan constantes los parámetros del moldeado que son: Presión, temperatura y tiempo.

(d) Que la presión en los rodillos limitadores no varíe.

6.4 Fabricación de la bobina móvil

La bobina es devanada sobre un soporte cuya principal función es la de auxiliar a mantener unidas las espiras. A ese mismo soporte, se adhiere la suspensión central y el cono.

Existen principalmente dos tipos de soportes para el devanado. El primero, que es el más ampliamente usado, consiste de un rectángulo de papel ó aluminio, enrollado formando un cilindro hueco, con una abertura según se vé en, la fig. 6.1 (a). El objeto principal de esa abertura, es evitar que se forme una espira en cortocircuito, cuando el soporte es de aluminio y se establezca corrientes parásitas (De Foucault) que producirán una fuerza de oposición al movimiento de la bobina, afectando principalmente a la sensibilidad del altavoz, además de que esas mismas corrientes, provocarían un sobrecalentamiento de la bobina que se sumaría al producido por el manejo de potencia suministrada al altavoz. También en el caso de soportes de papel, se deja, abertura para mantener un diámetro de devanado constante.

El segundo tipo de soporte consiste en un cilindro cortado a la longitud requerida, ya bien sea de papel ó de papel y aluminio. En éste último caso una tira de aluminio se encuentra adherida en un cilindro de papel, en forma helicoidal, con una abertura que impida al aluminio formar espiras en cortocircuito, según se muestra en la fig. 6.1 (b).

Este tipo de cilindro presenta ventajas durante el proceso de devanado, como se verá más adelante. Ambos soportes deberán recubrirse en su superficie externa con adhesivo cuyo solvente debe reactivar también al adhesivo del alambre, si es que éste es del tipo cementado, para que de ésta manera sean removidos en el momento de bobinar y se forme un encapsulado que mantenga firmemente unidas a las espiras.

Para cortar estos soportes al tamaño adecuado, puede utilizarse suaje ó troquel cuando se trata del tipo (a) en la figura 6.1 para el tipo (b) de esa -

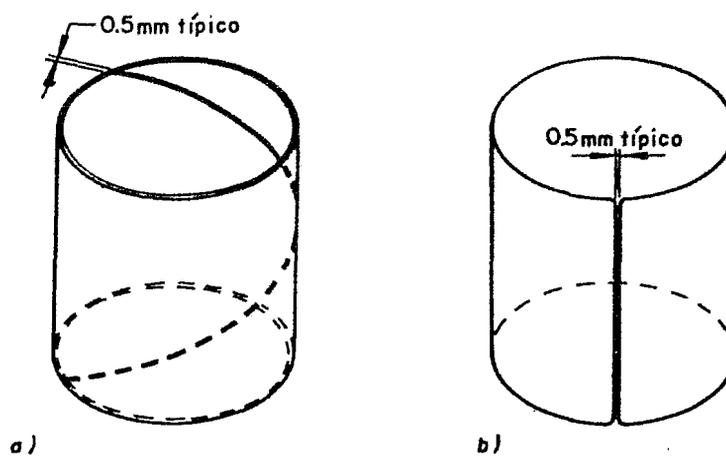


fig. 6.1 Dos tipos de soporte para bobina .

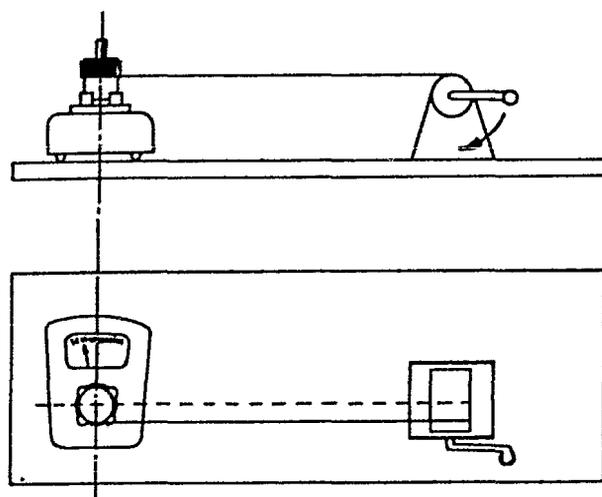


fig. 6.2 Dispositivo para medición de la adherencia del devanado sobre el soporte de la bobina.

figura, se usan cuchillas circulares estando el soporte cilíndrico, montado en un cilindro de acero.

Bobinado:

El soporte de la bobina, debe ser montado de una manera rápida y segura sobre una herramienta cilíndrica denominada "Mandril" la cuál para tal efecto debe contar con medios para sujetar el soporte, dejando un espacio libre sobre el cuál, se ha de bobinar el alambre. A ambos lados de ese espacio, habrán regiones libres de espiras, siendo una de esas regiones, de la longitud adecuada para poder unir la bobina a la suspensión central y al cono, mientras que la otra región (la cuál es de unas décimas de milímetro de longitud) se hace necesaria para asegurar la unión de las espiras próximas a ese extremo.

Ese "mandril", es montado sobre la flecha de la máquina bobinadora, la cuál debe contar el número de espiras y puede además tener un freno que automáticamente detenga la fecha, en un número predeterminado de espiras. Además es importante que la máquina cuente con un dispositivo tensador del alambre, lo cuál permitirá obtener bobinados uniformes. Ese dispositivo no deberá elongar el alambre si no tan solo mantener la tensión requerida. La máquina puede contar con algún dispositivo que cimente al alambre justamente antes de bobinar; ó si se usa alambre cementado algún dispositivo para aplicación de solvente.

Después del bobinado, es recomendable aplicar calor a las bobinas para lograr una mejor adherencia.

Las terminales de la bobina son adheridas al soporte usando un cinturón de papel el cual puede servir además para evitar el flujo de aire a través de la ranura, que si no es así, pueden producirse ruidos audibles, denominados "Siseos". Posteriormente esas terminales, son cortadas a la longitud adecuada y estañadas por inmersión, para facilitar el soldado posterior al cable flexible, durante el ensamble del altavoz.

Se considera un bobinado de buena calidad a aquel que cuenta con las siguientes características:

- (a) Devanado uniforme: no debe tener espiras cruzadas ni tampoco espacios entre espiras. El número de espiras por capa, deberá ser el mismo por tanto, longitud del devanado no deberá variar.
- (b) Buena adherencia: Esta puede ser determinada, midiendo la tensión requerida para desprender el alambre de las espiras, veáse figura 6.2
- (c) Superficie regular: no deben existir grumos o burbujas sobre las espiras.

6.5 Fabricación del cubrepolvo:

Se usan diferentes tipos de materiales para la fabricación de cubrepolvos, tales como :

- (a) Papel
- (b) Tela
- (c) Fieltro
- (d) Aluminio
- (e) Pvc y Mylard

En los dos primeros casos los procesos para fabricación son similares a los empleados para la fabricación del cono y suspensión central respectivamente.

Por lo que respecta al cubrepolvo de fieltro es usual que éste material cuente, con alguna laca o resina termofija que le permita mantener su forma después de haber sido moldeado, el proceso de moldeo, es similar al usado para la suspensión central.

El cubrepolvo de aluminio es formado en un troquel que prensa al material y lo forma, además puede ser cortado en el mismo troquel.

Por último, los cubrepolvos de cloruro de polivinilo (PVC) ó, Mylard, pueden ser moldeados de las dos maneras siguientes:

- (a) Se calienta la película de éstos materiales en una plancha e inmediatamente después se introduce al molde en frío y se prensa, pudiendo ser cortado al mismo tiempo.
- (b) En un molde caliente que cuenta con perforaciones que permiten comunicar, la cavidad del molde con una cámara de vacío, se introduce el material a manera de ser succionado dejando la película con la forma de cubrepolvo, dada por el molde.

La porosidad de los materiales empleados en los cubrepolvos, afecta principalmente al amortiguamiento en el altavoz, resultando altavoces muy amortiguados, con materiales poco porosos y viceversa.

6.6. Fabricación de los componentes estáticos:

Existen en el altavoz partes adicionales que no precisamente sirven para la conversión de la energía eléctrica a acústica, pero que sin embargo son necesarias para cumplir requisitos funcionales. Estas partes son las siguientes:

- (a) La canasta
- (b) Las placas y el polo del sistema magnético
- (c) La tira terminal
- (d) El cable flexible
- (e) El arillo de empaque

La canasta constituye el esqueleto del altavoz sobre el cuál son ensamblados el sistema magnético, el sistema dinámico, las terminales y el arillo de empaque. Es un requisito importante para esta pieza, que sea lo suficientemente rígido,

para suprimir cualquier vibración que deteriore la reproducción sonora del altavoz. Es usual que se fabriquen a partir de lámina de acero rolado en frío, en un proceso de troquelado. También se fabrican mediante fundición de aluminio, ó zamac, o bien, por inyección de plástico.

Las superficies donde asientan ambas suspensiones del sistema dinámico, deberán ser planas y paralelas además de ortogonales al eje de simetría de la canasta, lo cuál ayudará a obtener desplazamientos libres de rozamiento en la bobina móvil.

La canasta puede contar con aberturas, denominadas "Ventanas", dependiendo del tipo de altavoz que se trate. Para altavoces reproductores de frecuencias medias y altas, la canasta será totalmente cerrada, lo cual permitirá formar una compliancia adicional a las ya existentes, elevando la frecuencia de resonancia además impedirá la interacción de ondas de presión sonora de frecuencia bajas, en el cono, cuando estos altavoces operan simultáneamente con unidades para frecuencias bajas, estando montados en un mismo gabinete.

Para proteger la lámina contra la corrosión en una canasta troquelada, a la pieza se le hace un recubrimiento en baños de galvanoplastia.

Las placas del sistema magnético también son hechas de lámina de acero rolado - en frío, siendo cortadas con troquel, pudiendo ser estampadas en un proceso posterior, para reducir la concavidad que es normal que resulte en ese sistema de corte.

Tratándose de la placa superior, será necesario eliminar la rebaba que resulte, con el troquelado de la perforación central, pudiendo ser hecho mediante el uso de rimas o troqueles que "rasuren" esa rebaba.

Estas placas deberán protegerse contra la corrosión. El polo que se ensambla a la placa inferior es fabricado en torno del tipo automático para producciones masivas y son ensamblados introduciendo el polo a presión en la placa o - bién haciendo una espiga al polo que se introduce en una perforación troquelada en la placa, y remachando.

Recientemente, se han fabricado placa y polo de una sola pieza, forjando en frio un trozo cilindrico de acero.

La tira terminal cuenta con dos bornes montados en un soporte de fibra aislante. Tanto los bornes como el soporte son cortados con troquel. Los bornes pueden ser de lámina de acero o de latón; deberán tener un recubrimiento de zinc para facilitar el soldado del cable flexible a ellos.

El cable flexible tiene esta característica para permitir el movimiento libre del cono, además le permite una vida prolongada aún en las condiciones de movimiento en que este cable opera. Debe su flexibilidad a la manera en que se construye, esto es, se entorcha un conductor laminado sobre un alma, de algodón para constituir un hilo. Mientras más delgada es la laminación, del conductor más flexible puede hacerse el cable. El cable puede contar con uno o varios hilos, entorchados a su vez o también pueden estar trenzados.

El arillo de empaque se usa para cancelar la transmisión de vibraciones mecánicas al ser montado el altavoz en un panel Dependiendo del tipo de montaje - ensamblado en el dorso o en el anverso del altavoz. Se le fabrica de cartón, neopreno u otro material amortiguador.

6.7 Ensamble del altavoz:

A continuación se ilustra tabularmente, un procedimiento típico para el ensamble de los altavoces. En sf, el proceso requiere de cuidado en el manejo de, los componentes y de destreza en la ejecución de las operaciones.

SECUENCIA	DESCRIPCION	EQUIPO UTILIZADO	RECOMENDACIONES
	<p>Ensamble de placa superior a canasta.</p>	<p>a) troqueladora, o b) soldadora, o c) desarmador neumático.</p>	<p>Comprobar que las piezas se encuentren firmemente sujetas.</p>
	<p>Remachado de tira terminal a canasta.</p>	<p>Remachadora.</p>	<p>Cuidar que los bornes no hagan contacto con la canasta. La terminal deberá estar firmemente sujeta</p>
	<p>Pegado de imán a la placa superior.</p>	<p>Engomadora.</p>	<p>Cuidar haya concentricidad en el ensamble. Evitar excesos de adhesivo</p>
	<p>Pegado de placa inferior (con polo) a imán</p> <p>Sopletado</p>	<p>a) engomadora b) centrador.</p> <p>Estación de aire comprimido</p>	<p>Evitar excesos de adhesivo</p> <p>Procurar que el aire recorra el entrehierro.</p>
	<p>Insertado de bobina con suspensión en entrehierro.</p>	<p>a) insertador b) calibrador de altura.</p>	<p>Colocar la bobina a la altura adecuada.</p>
	<p>Pegado de suspensión a canasta.</p>	<p>a) engomador b) soporte rotatorio</p>	<p>Por la superficie superior de la suspensión debe pasar un plano ortogonal del eje y paralelo a la base, en la canasta.</p>

SECUENCIA	DESCRIPCION	EQUIPO UTILIZADO	RECOMENDACIONES
Cono <u>Adhesivo</u> Arillo de empaque 7	Pegado de cono.	a) soporte giratorio b) engomador	Evitar que el cono se maltrate; evitar empujar la bobina hacia el fondo del entrehierro.
<u>Adhesivo</u> cable Flexible 8	Pegado de arillo de empaque.	a) rodillos engomados.	Procurar un buen asentamiento contra el cono.
Soldadura <u>Adhesivo</u> 9	Enhebrado de cable flexible	a) pincetas	Dar holgura requerida.
10	Soldado terminales a cable flexible más pegado.	a) Pincetas. b) cautín c) engomadora	Evitar exceso de temperatura para no quemar el cono. Procurar caldeo de la soldadura.
Soldadura 11	Soldado de cable flexible a tira terminal.	a) cautín b) Pincetas.	El pegamento debe cubrir totalmente al conductor. Procurar caldeo de la soldadura.

SECUENCIA	DESCRIPCION	EQUIPO UTILIZADO	RECOMENDACIONES
	Extracción de insertador de bobina más pegado de cubrepolvo.	Herramienta para engomado de cubrepolvo.	Girar insertador al extraerlo; procurar que la bobina se mantenga inmóvil y el insertador se deslice
	Imantado	Imantadora.	Colocar el sistema magnético en el centro de la pieza polar de la imantadora.
	Inspección sobre 100 % del lote.	a) oscilador b) amplificador c) voltmetro	Procurar un barrido de banda amplia; barrer la frecuencia de oscilación lentamente.
	Empaque	Engrapadora.	Evitar maltratos en los altavoces.
	Inspección por control de calidad	a) oscilador b) amplificador c) Voltmetro d) Frecuencímetro e) comparador de impedancias	Procurar un barrido, de banda amplia; hacer la frecuencia de oscilación lentamente.
	Almacenamiento.		

En el primer paso del proceso de ensamble, se utiliza un adhesivo ahulado entre la canasta y la placa superior con objeto de amortiguar las vibraciones mecánicas que pudieran formarse entre ellas. En los pasos tercero y cuarto, es importante que la película que forma el adhesivo sea delgada para reducir la reluctancia en el circuito magnético; usualmente se utilizan adhesivos epóxicos, los cuales son muy resistentes a los esfuerzos cortantes, pero generalmente endurecen lentamente; también son usados adhesivos acrílicos que pueden endurecer en muy cortos períodos de tiempo.

El calibrador de altura que se menciona en el paso quinto, se utiliza para colocar la bobina en una posición predeterminada sobre el espaciador, con objeto de que el centro del devanado resulte coincidente con el centro del entrehierro para evitar la distorsión en la reproducción, que ese descentramiento provocaría, ya que en un sentido de los viajes de la bobina, un número de espiras, recorrería el entrehierro, mientras que en el sentido contrario ese número disminuiría. Ese desencadenamiento provocaría además una disminución en la sensibilidad del altavoz. El insertador deberá permitir ensamblar a la bobina centrada concéntricamente.

En el sexto paso la recomendación enunciada va dirigida a que la bobina encuentre una compliancia simétrica para sus dos sentidos de movimiento, lo cual también es un requisito para reducir la distorsión armónica.

En el séptimo paso es requerido que el diámetro de ápice del cono, sea ligeramente mayor que la bobina (típicamente 0.1 a 0.2 mm), ya que espacios grandes entre ambos diámetros provocarían que el adhesivo se escurriera y llegara aún a pegar la bobina al polo. Por otra parte, si la suspensión llegara a ser empujada, se reducirían los viajes de la bobina cuando ella se desplazara hacia el entrehierro. Si llegara a suceder, el manejo de potencia disminuiría porque en la región cercana a la frecuencia de resonancia, los viajes de la bobina harían que la suspensión golpeará contra la canasta o la placa superior, en su caso. Además no se lograría la recomendación del sexto paso.

En la holgura mencionada en paso noveno, se debe buscar que la longitud del cable, flexible no sea tan corta que restrinja los viajes del cono, ni tampoco, que sea excesiva ya que existe el riesgo de que golpee contra el cono.

En la inspección que se lleva a cabo sobre el 100 % del lote, se pretenden detectar altavoces defectuosos, alimentándoles una señal de audio frecuencia a un nivel de potencia especificado. Los defectos más ampliamente detectados en esta prueba se presentan cerca de la frecuencia de resonancia, mientras que otros se presentan en frecuencias medias. Por esto, es recomendable que en el barrido de las frecuencias de prueba se cubra una gama amplia y el oscilador más adecuado para ello es el heterodino. En esta prueba se pueden dar los siguientes, defectos:

TIPO DE DEFECTO	CAUSA
Rozamiento entre la bobina y las paredes del entrehierro.	1.- Descentramiento de la bobina por: a) falta de concentricidad, b) falta de ortogonalidad. 2.- ó también la longitud del entrehierro no es uniforme en todo el perímetro.
Partículas metálicas en el entrehierro.	El entrehierro no fue "sopleteado" correctamente.
Zumbidos o vibraciones que se suman al sonido reproducido por el altavoz	1.- Componentes dinámicos mal pegados. 2.- Algunas veces, el cable flexible puede golpear al cono. 3.- Componentes estáticos mecánicamente flojos. 4.- Espiras sueltas en la bobina.
Formación de nodos de vibración de una manera excesiva.	El cono fue maltratado durante su manejo.
Sonido de prueba, intermitente o altavoz "mudo"	1.- Uniones soldadas incorrectas entre terminales de bobina a cable flexible o ésta a tira terminal. 2.- Conductor roto en la bobina.
El altavoz sólo reproduce frecuencias altas (agudos) Baja sensibilidad	La bobina se encuentra pegada al entrehierro. 1.- Levantado a una altura incorrecta. 2.- Imán defectuoso o mal imantado.

Posterior a la prueba de fin de proceso, la cual es llevada a cabo sobre la totalidad de lote, es recomendable una segunda inspección por parte - de un departamento de "Control de Calidad", la cual normalmente se realiza sobre un lote-muestra que se toma al azar. Para estos métodos de prueba, existe una norma oficial denominada "muestreo para la inspección por atributos" (DGN-R-18/1975), publicada por la Dirección General de Normas la cual es ampliamente utilizada, tanto por fabricantes como por consumidores.

En la inspección de control de calidad se deberá verificar que los altavoces no presenten los defectos enunciados en la tabla anterior, además, se deberá poner especial atención a la buena presentación del producto y por último deberán verificarse especificaciones primordiales del tipo de altavoz que se inspecciona, como las que se mencionan a continuación:

- (a) Frecuencia de resonancia.
- (b) Impedancia nominal
- (c) Tensión de golpe.

En el capítulo siguiente se describe la manera en que estas mediciones y otras pueden ser llevadas a cabo.

VII

MEDICIONES PARA EVALUACION

Es importante recordar que en la práctica las medidas objetivas solas no bastan, los juicios subjetivos no son suficientes por si mismos. Ambos elementos se deben usar en armónica combinación, por lo que se deben llevar los resultados objetivos al dominio subjetivo, usando términos inteligibles y significativos. Por lo que la evaluación de los altavoces presenta aspectos importantes que se tratarán más adelante.

La respuesta del altavoz depende del local donde se instale, debido a reflexiones de ondas sonoras en las paredes del local. Dichas reflexiones del sonido son las que pueden llevar a resultados incorrectos. Por ésto, en esos casos se hace necesario disponer de un campo acústico libre, que es aquél en el cual, se cumple la ley de atenuación en función del recíproco de la distancia. Para estas mediciones, se construyen recintos cuyas paredes son tratadas, con el fin de atenuar los reflejos hasta un grado tal que ellos sean considerados despreciables y se les denomina "Cámaras anecoicas". Una manera de conocer que tan apegado a la ley anunciada, es el comportamiento de una cámara anecoica es registrar la curva de respuesta de un altavoz dado, a dos diferentes distancias, suministrándole la misma potencia y en la misma dirección, esperando que la curva no cambie su forma, sino tan solo cambie su nivel de presión sonora. Vease figura 7.1.

La condición anteriormente expuesta, es una de las más importantes que deben de ser cubiertas cuando se evalúan altavoces, ya que en todos los casos y en cualquier momento los resultados deben de ser reproducibles, independientemente del laboratorio en que son realizados, ya que muchas veces esos resultados son manejos de una manera deshonesta, con fines meramente comerciales.

De las mediciones aquí tratadas, las siguientes, pueden considerarse que sufren desviaciones por las reflexiones de los recintos:

- (a) Respuesta a la frecuencia.
- (b) Respuesta polar.

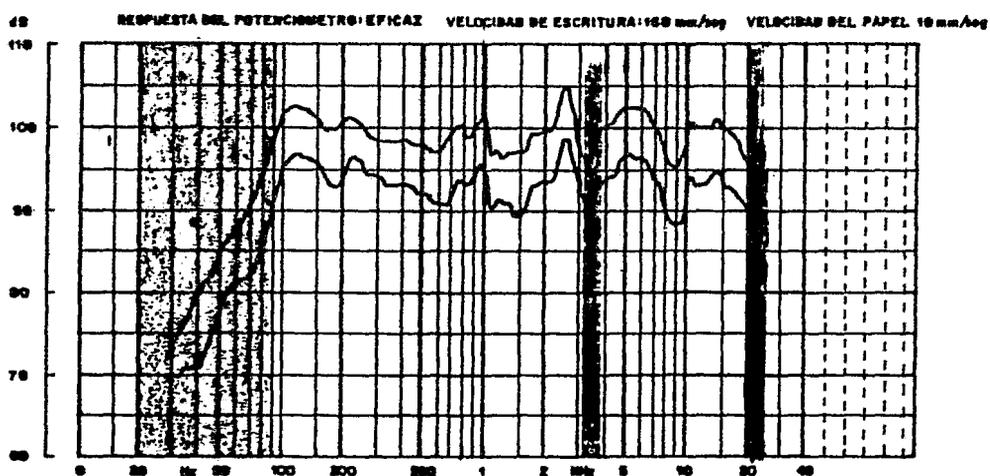


fig. 7.1 Comprobación de condiciones de campo libre en cámara anecoica.

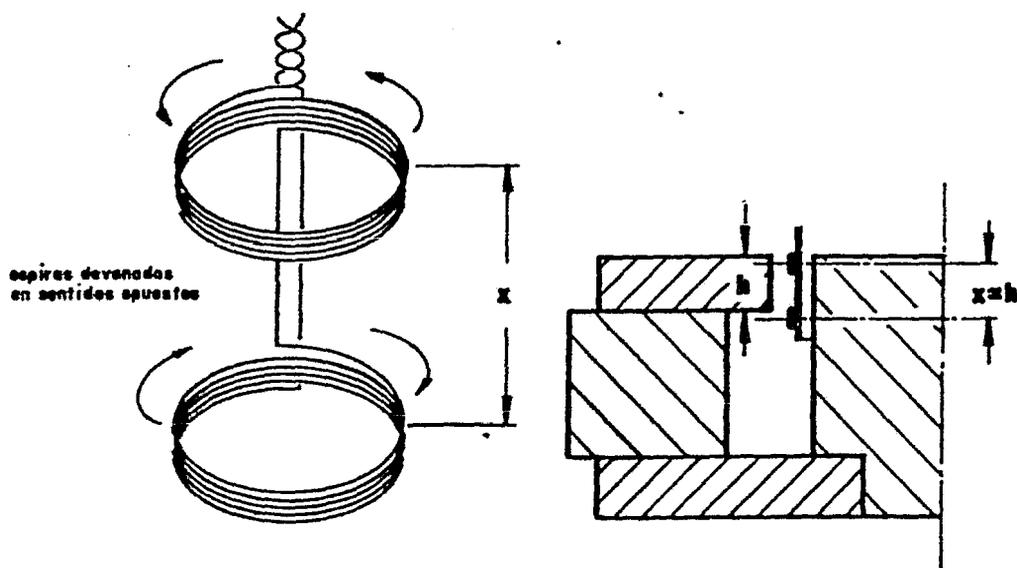


fig. 7.2 Bobinas diferenciales; posición correcta dentro del antehierro.

- (c) Distorsión
- (d) Sensibilidad

7.1 Densidad de flujo en el entrehierro.

Existen dos métodos regularmente usados para la medición de éste parámetro:

- (a) Mediante una bobina diferencial y
- (b) Mediante el efecto Hall.

En el primero de los casos, una bobina de dos devanados, opuestos, coaxiales, separados a una distancia dada, se introducen al entrehierro, de tal manera que sus espiras corten las líneas de flujo e induzcan una diferencia de potencial en sus terminales. Esa diferencia de potencial es amplificada y alimentada a un galvanómetro del tipo balístico sobre el cual es registrada la medición, ya sea en Maxwell o bien en Gauss, que son líneas de flujo o densidad de campo respectivamente. Para esta medición deben cubrirse ciertos requisitos.

- I) Que la separación entre los centros de los devanados sea aproximadamente la altura del entrehierro.
- II) Que los devanados se encuentren en el centro del entrehierro.
- III) Que la totalidad de las espiras del devanado más alto, se encuentre dentro del entrehierro. Vease figura 7.2.

El segundo método utiliza un sensor que es un cristal de semiconductor, por ejemplo, AsIn, (Arseniuro de Indio) para establecer en él una diferencia de potencial haciéndole pasar una corriente y sumergiéndolo en el campo del entrehierro. Esa diferencia de potencial es amplificada y después suministrada a un galvanómetro, que usualmente es calibrado para una lectura directa en Gauss. La interpretación teórica basada en la física cuántica moderna da resultados congruentes con la experimentación.

7.2 La frecuencia de resonancia principal.

En esta frecuencia característica, se presentan en el altavoz algunos fenómenos que pueden ser utilizados para localizarla, tales como los siguientes:

- (a) La impedancia tiene un valor máximo importante dentro de un margen de frecuencias, relativamente estrecho.
- (b) La compliancia mecánica se anula, por consiguiente la fase en el sistema, es cero.
- (c) El cono tiene desplazamientos de amplitud máxima.

Un método sencillo, es registrar la corriente que el altavoz consume y buscar, aquella frecuencia en que esa corriente es mínima. Puede utilizarse el diagrama de la figura 7.3 para tal efecto.

Equipo requerido:

- I) Oscilador de audio
- II) Amplificador de audio
- III) Voltmetro C. A.
- IV) Resistencia no inductiva de 0.1Ω

Requisitos previos para la prueba:

El altavoz no debe estar montado en plano acústico alguno; deberá estar alejado de obstáculos o superficies acústicamente reflejantes (por ejemplo a 1 metro)

Procedimiento:

Se alambra el circuito de la figura 7.3, estando "C 1" en posición "1" se alimenta el altavoz a una tensión adecuada a su funcionamiento.

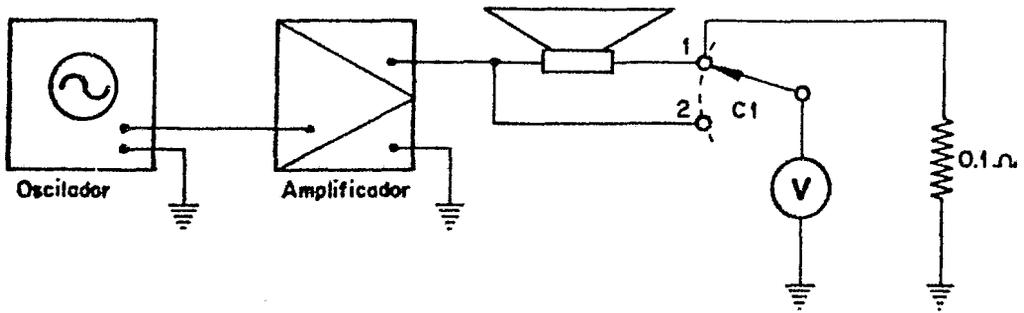


fig. 7.3 Medición de la frecuencia de resonancia principal.

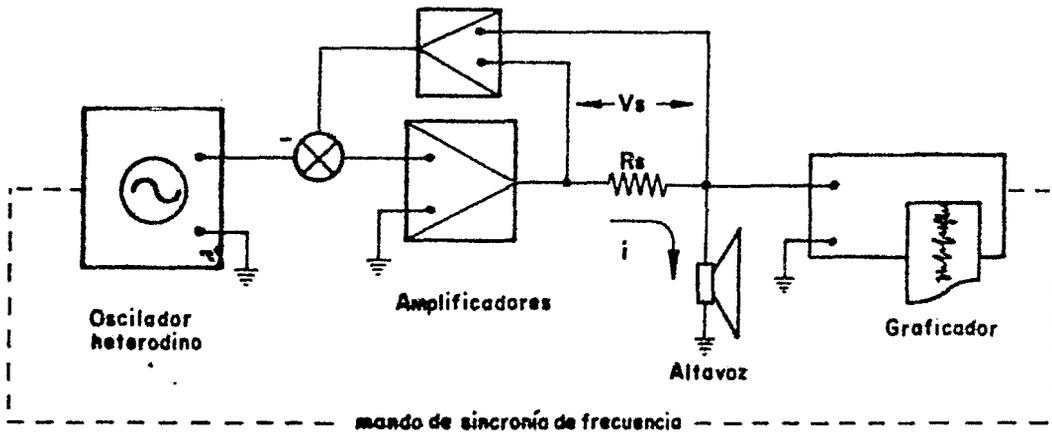


fig. 7.4 Circuito para graficar la curva de impedancia de un altavoz.

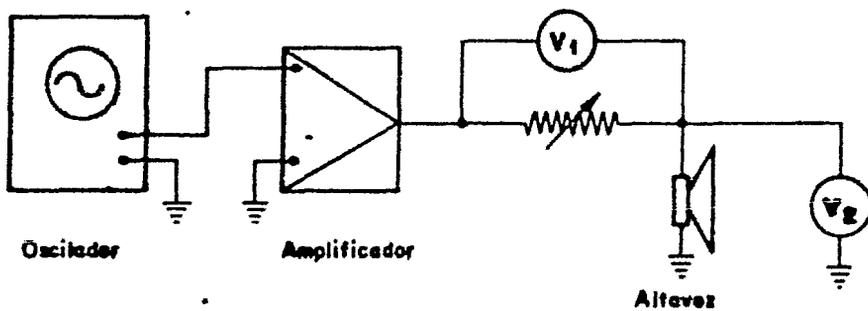


fig. 7.5 Medición de la impedancia nominal.

Se conmuta "C 1" a posición "2", ajustando adecuadamente la escala del voltmetro y se barre la frecuencia para buscar aquella en que la tensión que cae en la resistencia, es mínima.

Cabe observar que la frecuencia de resonancia puede variar en función del nivel de potencia suministrado al altavoz, por ello es recomendable que ese nivel sea especificado o acordado entre fabricantes y consumidor. Es más común que éste, parámetro sea medido alimentando una tensión de 1 volt al altavoz, de aquí resalta la importancia de que el valor de la resistencia que se encuentra en serie - con él, sea pequeño, así la caída de tensión en la resistencia, tendrá efectos, mínimos en la medición.

También es importante observar que la alinealidad de la compliancia total de las suspensiones, provoca que los resultados difieran cuando la frecuencia de resonancia es localizada, batiendo la frecuencia ya sea de bajas a altas o viceversa. Por ello siempre se recomienda que la medición sea hecha, batiendo la frecuencia en una escala ascendente.

7.3 La impedancia nominal.

La impedancia en el altavoz tiene un comportamiento bien definido; el cual fué descrito en el capítulo III. Normalmente es especificado en la región plana - próxima al pico que se presenta en la frecuencia de resonancia. Por tanto, es necesario conocer previamente donde se sitúa esa región, y puede ser muy útil, trazar la curva característica de la impedancia, según se muestra en el diagrama de la figura 7.4.

Se usa oscilador heterodino para cubrir completamente la gama audible. A través de un amplificador se alimenta la señal a un circuito serie constituido, - el altavoz y una resistencia no inductiva; la resistencia es utilizada para limitar la corriente suministrada al altavoz. Normalmente la caída de tensión es R_s es pequeña, y es alimentada a un segundo amplificador para constituir un lazo de retroalimentación negativa para procurar mantener constante a la caída de tensión en la resistencia. Ahora bien, cuando la tensión es constante en R_s , también lo es la corriente, independientemente de la frecuencia de la señal y en esas condiciones es alimentado el altavoz. De esta manera, la caída de tensión en el altavoz será directamente proporcional a las variaciones de la impedancia y así puede ser registrada por el graficador, la curva caracte-

terística. Una vez definida la región en que se va a especificar la impedancia nominal, se puede proceder con el método siguiente:

Equipo utilizado:

- I) Oscilador de audio.
- II) Amplificador de audio
- III) Década de resistencias
- IV) Dos vóltmetros de C. A.

Son requisitos previos, los mismos que se enunciaron en la medición de la frecuencia de resonancia.

Procedimiento:

Se ajusta la frecuencia del oscilador, en alguna que esté contenida en la región plana de la curva característica. Se ajusta el nivel de la señal a una potencia adecuada, por ejemplo a 1 watt. Se ajusta el valor de la década hasta que V_1 y V_2 sean iguales. Se dice que la magnitud de la impedancia es igual al valor leído en la década.

7.4 El factor de calidad "Q":

Se ha visto que la impedancia tiene un valor máximo en la frecuencia de resonancia. Ahora, se pueden localizar dos frecuencias en ambos lados de ella tales, que la impedancia en esas frecuencias decrezca 3 dB del valor máximo. Con esos datos puede ser calculado el factor de calidad "Q" de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = \frac{f_0}{f_1 - f_2} \quad (7.1)$$

en la cual:

f_0 = es la frecuencia de resonancia principal.

f_1 = es la frecuencia lateral superior en la que la impedancia ha decaído 3 dB del valor máximo.

f_2 = es la frecuencia lateral inferior en la que la impedancia ha decaído 3 dB del valor máximo.

Este parámetro da una idea de la cantidad de amortiguamiento presente en los altavoces, y es medido para conocer el efecto que pueden tener diferentes materiales usados en la suspensión anular del cono, o bien para conocer la contribución al amortiguamiento que pueden tener diferentes materiales empleados en los conos. Puede ser medido directamente, de la curva característica de impedancia.

7.5 Respuesta a la frecuencia:

Esta medida requiere de un campo libre de reflexiones acústicas, que puede ser una cámara anecoica o bien ser medido al aire libre, estando el altavoz lejos, de superficies reflejantes. Esto hace a la medición un tanto molesta y cara. El método más comúnmente usado, cuando se dispone de un campo libre, se ilustra a bloques en la figura 7.6

Se usa un oscilador del tipo heterodino, con objeto de cubrir completamente la gama de frecuencias audibles. La señal del generador es alimentada al altavoz a través del amplificador de potencia, el cual debe tener respuesta plana y mantener un nivel de potencia constante independientemente de la impedancia de carga. La señal acústica reproducida por el altavoz, es captada en el campo libre por un micrófono de medición, el cual debe tener respuesta plana en toda la gama audible, en conjunto con su preamplificador, lo cual puede ser conseguido con un micrófono de condensador. La señal así captada es amplificada y registrada, por un graficador, el cual debe tener un sistema que controle la sincronía entre la frecuencia de la señal generada en el oscilador y la frecuencia registrada sobre el papel.

Recientemente, la electrónica digital ha permitido desarrollar nuevas técnicas, que pueden utilizarse para simular las condiciones del campo libre.

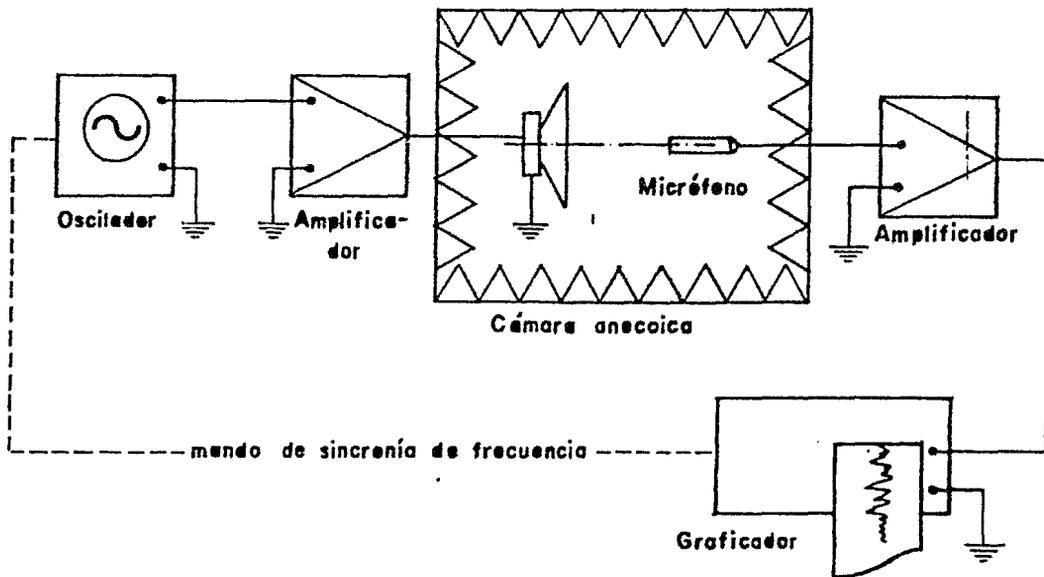


fig. 7.6 Medición de la respuesta a la frecuencia.

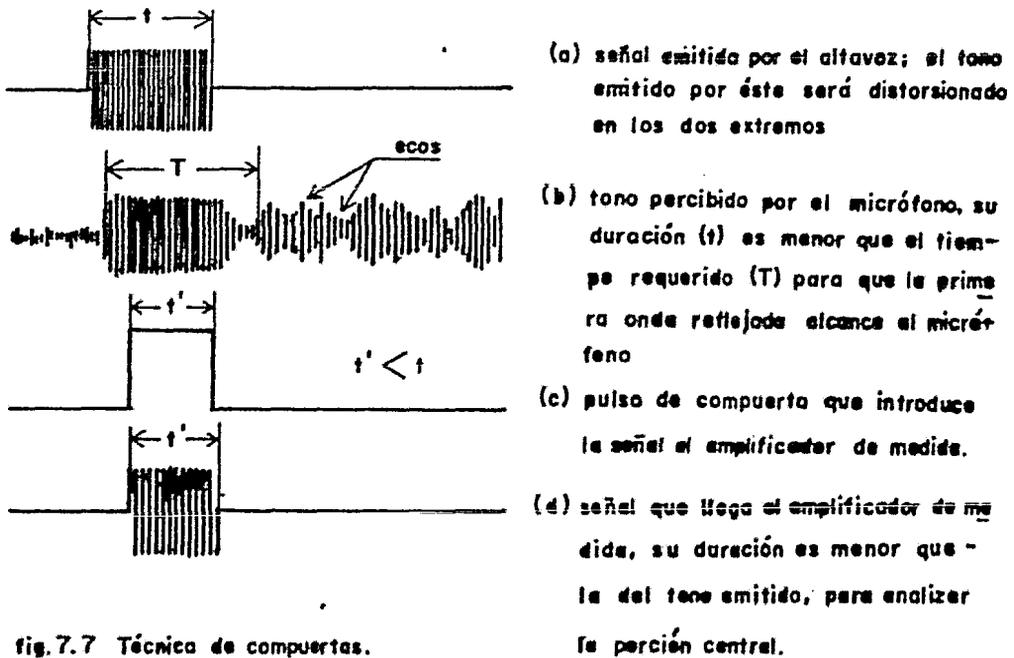


fig. 7.7 Técnica de compuertas.

Se construyen circuitos denominados "sistemas de compuerta" que operan como se describe a continuación: un generador heterodino de frecuencia continuamente variable, alimenta una señal de nivel adecuado a un altavoz a través de un sistema de compuerta, de manera tal que tan solo un pequeño intervalo de tiempo, la señal de prueba llega al altavoz, a manera de un "tren de pulsos de onda", como muestra la figura 7.7 (a).

La señal emitida recorre la distancia más corta (entre altavoz y micrófono) y por ello llega al micrófono antes que cualquier onda reflejada. Si el intervalo de duración del tren de pulsos es un tiempo menor que el requerido para que la primera onda reflejada alcance el micrófono, la onda emitida no sufrirá interferencia alguna con el eco. Véase la figura 7.7 (b).

Ahora es necesario un sistema de compuerta adicional que permita durante un corto intervalo de tiempo, llegar esa información a un amplificador de medida y la almacene durante el tiempo que requiera ser analizada. Véase la figura 7.7 (c)

El intervalo t' de la figura 7.7 (c), debe suceder un poco después de que la onda emitida por el altavoz llegue al micrófono. La forma del impulso original, es distorsionada por el altavoz, la primera parte del impulso emitido tiene el resalto y la última tiene el aplanamiento. Pero en alguna parte del centro existe una zona de régimen permanente cuya amplitud es igual a la respuesta en campo libre. Esta zona debe ser seleccionada por el impulso de compuerta de medida, con la duración t' y retraso adecuado y entonces se puede medir el nivel de la señal alimentada por la compuerta. Véase figura 7.7 (d).

El arreglo para una medición de la respuesta a la frecuencia sería el ilustrado en la figura 7.8 en el cual es requerido un osciloscopio de doble trazo, para ajustar la duración y el retraso del impulso de compuerta de medida, introduciendo en uno de sus canales al impulso recibido por el micrófono y en el segundo canal al impulso de compuerta. Véase figura 7.9.

7.6 Sensibilidad nominal

Es el nivel de presión sonora producida sobre el eje del altavoz a un metro de

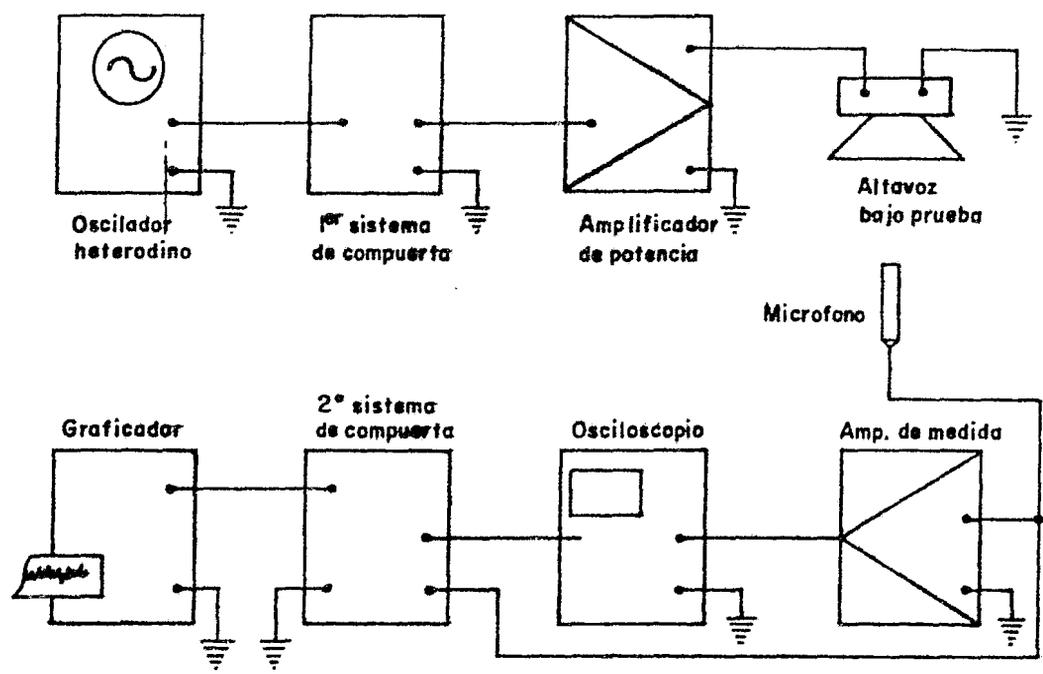


fig. 7.8 Medición de la respuesta a la frecuencia utilizando técnicas de compuerta.

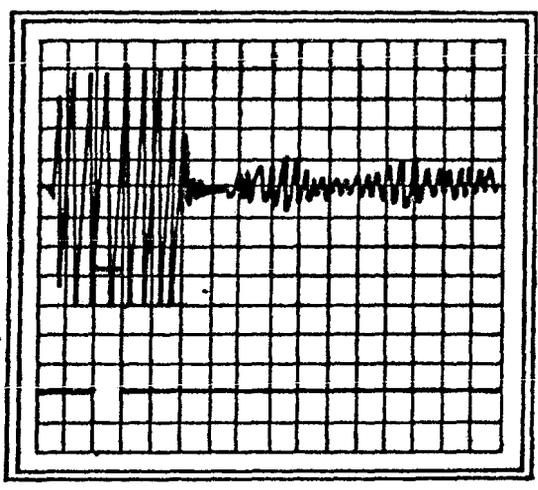


fig. 7.9 Observación en osciloscopio del ajuste adecuado de una compuerta.

distancia, cuando se le alimenta con una señal de ruido rosa cuya tensión corresponda a una potencia de un watt disipada en la impedancia nominal. La amplitud de banda de la señal de ruido rosa debe estar limitada al margen nominal de frecuencias del altavoz, el cual es considerado, como el comprendido entre la frecuencia de resonancia principal y aquella frecuencia para la cual la respuesta del altavoz ha decrecido 10 dB respecto a la respuesta medida en una gama de frecuencias de una octava, en la región de máxima sensibilidad.

Equipo requerido:

- (a) Generador de ruido rosa.
- (b) Filtro pasa-banda que limite la anchura de banda de la señal al margen nominal de frecuencias adecuado al altavoz, con pendientes de 24 dB/Octava, como mínimo.
- (c) Amplificador de potencia con circuito descrestador de entrada.
- (d) Micrófono de presión con respuesta plana, dentro del margen de frecuencias de medición.
- (e) Amplificador de medida.

Procedimiento de prueba:

Se debe aplicar al altavoz una señal de ruido rosa filtrada para que contenga las frecuencias del margen nominal del altavoz y se mide el nivel de presión sonora a 1 metro sobre su eje, alimentándole una potencia de 1 watt.

Cuando la potencia nominal del altavoz sea menor que un watt, las mediciones pueden realizarse a esa potencia nominal.

7.7. Respuesta polar:

Es la variación expresada en dB y generalmente en forma gráfica del nivel de presión sonora, en función de la dirección de propagación de la onda sonora medida en un plano especificado con relación al eje del altavoz a una distancia constante y para frecuencias definidas.

Estas medidas son de especial interés en la determinación de la dispersión de altas frecuencias. En esta medición es requerido un campo libre.

El diagrama direccional puede ser representado mediante una familia de curvas polares de respuesta a frecuencias especificadas, tales como las que se muestran en la figura 7.10, ó bien, mediante una familia de curvas de respuesta a frecuencia en las cuáles, las gráficas han sido obtenidas a diferentes ángulos de incidencia, como se muestra en la figura 7.11. En el primero de los casos, la respuesta polar es expresada como una función continua del ángulo de incidencia para frecuencia discreta, y en el segundo, es una función continua de la frecuencia para un ángulo de incidencia discreto. Por ello, ambas mediciones se refieren a respuestas polares distintas y tendrán relación únicamente en puntos específicos.

7.8 La distorsión armónica.

Desgraciadamente, los altavoces introducen en su reproducción frecuencias que no existían a la entrada. Este hecho se debe en principio a:

- (a) Las alinealidades en el producto "B1" y
- (b) Las alinealidades en la compliancia de las suspensiones.

En la figura 7.12 se representa la distorsión armónica y en ella se aprecia que al aplicar un tono de 1 KHz al sistema, se producen después componentes de distorsión. La distorsión armónica puede medirse eliminando la frecuencia fundamental y midiendo la suma de todos los componentes de frecuencias armónicas, llamándose a esta medición "distorsión armónica total". También puede ser medida la contribución a la distorsión debida a cada uno de los componentes armónicos, restando la distorsión armónica del orden de los componentes analizada, por ejemplo: Distorsión por tercera armónica.

Para el trazo continuo de la distorsión armónica total se usa un filtro esclavo heterodino, para cancelar cada una de las frecuencias continuamente variables que un oscilador heterodino suministra al altavoz a través de un amplificador de potencia. Necesariamente esta distorsión debe ser medida en un campo libre.

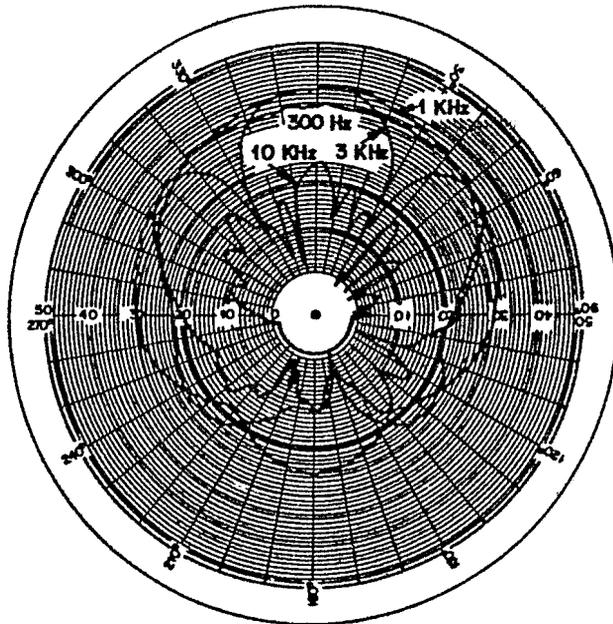


fig. 7.10 Características direccionales típicas de un altavoz.

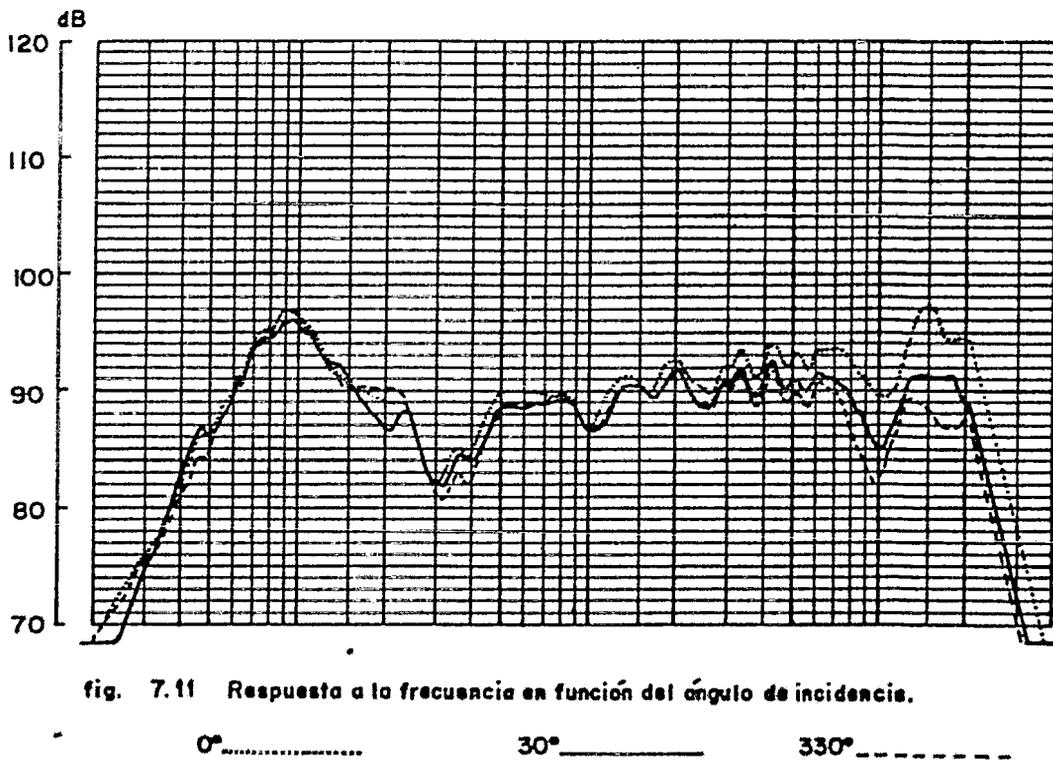


fig. 7.11 Respuesta a la frecuencia en función del ángulo de incidencia.

0°

30° _____

330° - - - - -

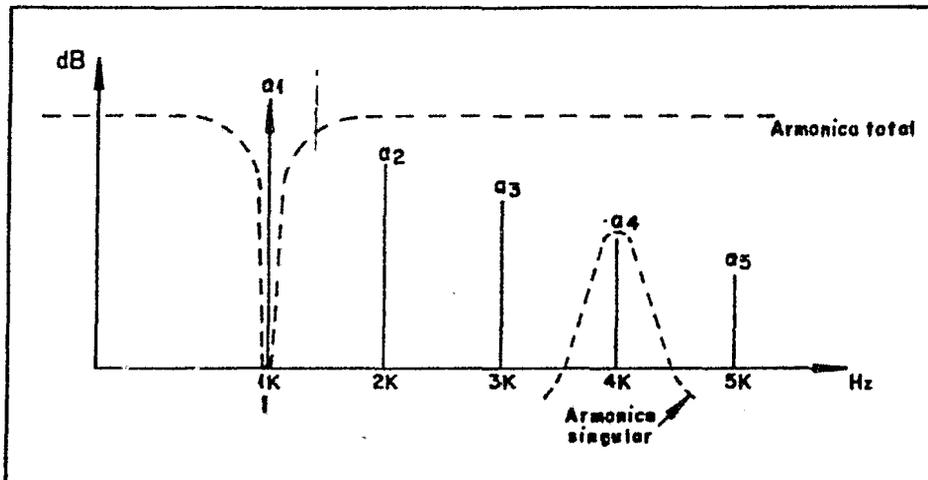


fig. 7.12 Ilustración de la distorsión armónica. Un filtro supresor de banda elimina la fundamental para medir la distorsión armónica total. Los componentes singulares de la distorsión se miden con filtros pasa banda.

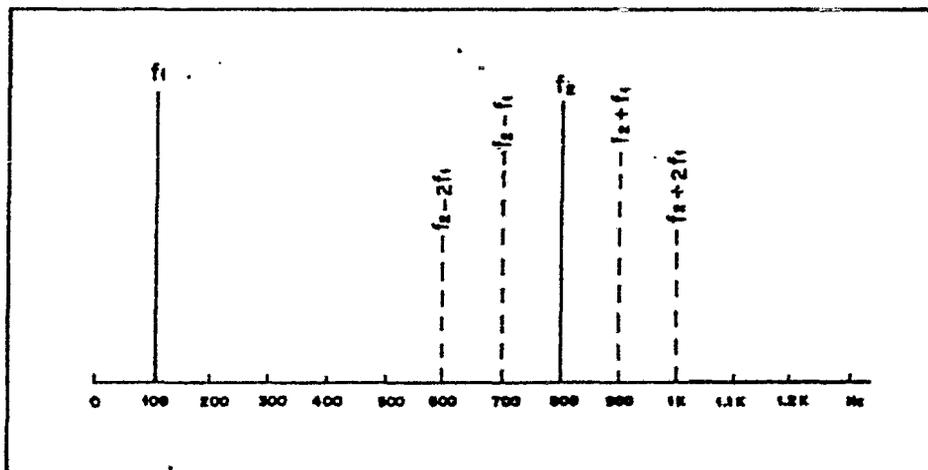


fig. 7.13 Ilustración de la distorsión por intermodulación de señales de 100 y 800 Hz.

El trazo continuo de la distorsión armónica de orden "n" es muy útil desde el punto de vista de su facilidad de realización; se obtiene información más detallada, de especial interés para el proyectista, midiendo por separado la amplitud de cada uno de los armónicos como función de la frecuencia. Para la medición tanto el oscilador como el filtro deben tener la misma velocidad de exploración, en octavas por unidad de tiempo y siendo la frecuencia fundamental la de la señal de oscilador, la frecuencia de paso en el filtro deberá ser el múltiplo correspondiente al armónico escogido.

Ahora, como en la gráfica el nivel distorsión resultará en dB, por debajo del nivel de presión sonora de la curva de respuesta que corresponde a la fundamental de la señal alimentada al altavoz, se puede usar la tabla de referencias que se da a continuación, para expresar la medición en por ciento como usualmente es expresada la distorsión armónica:

DISTORSION ARMONICA	
-20 dB	10 %
-40 dB	1 %
-60 dB	0.1 %

Tabla 7.1

7.9 La distorsión por intermodulación:

Se llama distorsión por intermodulación a la interacción de los componentes de una señal compleja que produce componentes de frecuencia inexistentes en la señal original. En la práctica, los sistemas alineales causan esta distorsión por intermodulación, que ocurren debido a la amplitud y modulación de frecuencia de los componentes de alta frecuencia a los componentes de baja frecuencia. Esto es ilustrado en la figura 7.13 donde las señales de 100 Hz y 800 Hz son introducidos a un sistema alineal. La señal resultante componentes de distorsión las cuales están localizadas alrededor de los 800 Hz. Las frecuencias de estas señales laterales son iguales a las sumas y diferencias de la frecuencia mayor, y los múltiplos enteros de la frecuencia menor.

Un caso especial de la distorsión por intermodulación es la llamada "Distorsión por diferencia de frecuencias" la cual considera únicamente a los componentes -

que son la diferencia entre los componentes de la frecuencia original y sus armónicos. Véase figura 7.14.

En la práctica, la mayoría de las mediciones de distorsión por intermodulación se hacen usando dos tonos, lo cual parece ser una aproximación razonable de una señal compleja.

Para esta medición se utiliza el circuito mostrado en la figura 7.15. Es indispensable que la medición se realice en un campo libre.

7.10 Medición de la potencia en el altavoz:

La potencia que suministra una fuente a un altavoz, operando con señal senoidal se mide de la siguiente manera: el altavoz se sustituye por una resistencia no inductiva, cuyo valor sea el que presenta la impedancia nominal del altavoz con sumiendo la potencia que le es suministrada por la fuente. Se mide la tensión, aplicada a la carga, utilizando un voltmetro eficaz, siendo calculada la potencia con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{(V_{ef})^2}{R} \quad (7.2)$$

en la cual:

V_{ef} : tensión eficaz aplicada a la resistencia que sustituye al altavoz.

R : es el valor de la impedancia nominal del altavoz.

P : potencia media suministrada al altavoz.

Cuando se confunde al usuario, especificando la potencia del altavoz en términos de una "potencia musical" que carece de argumentación técnica alguna y que sólo se utiliza como un nombre comercial.

Existen varias pruebas para predecir en un período corto si el altavoz puede o no

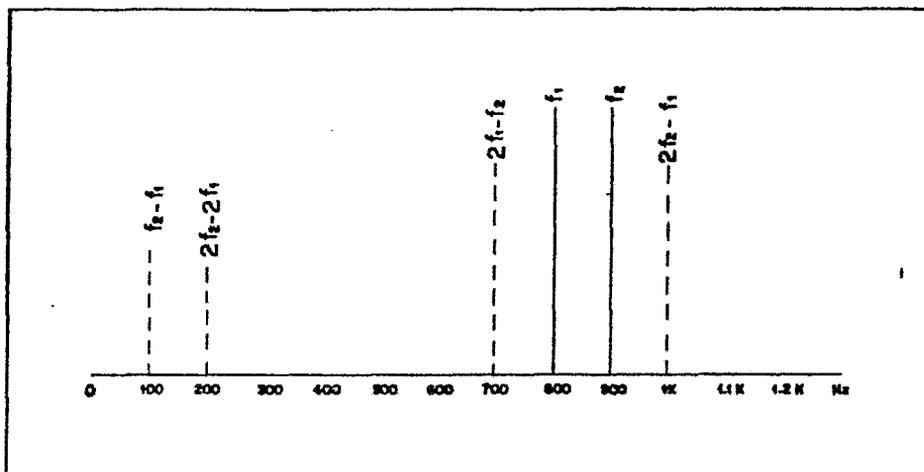


fig. 7.14 Distorsión por diferencia de frecuencias para señales de 800 y 900 Hz.

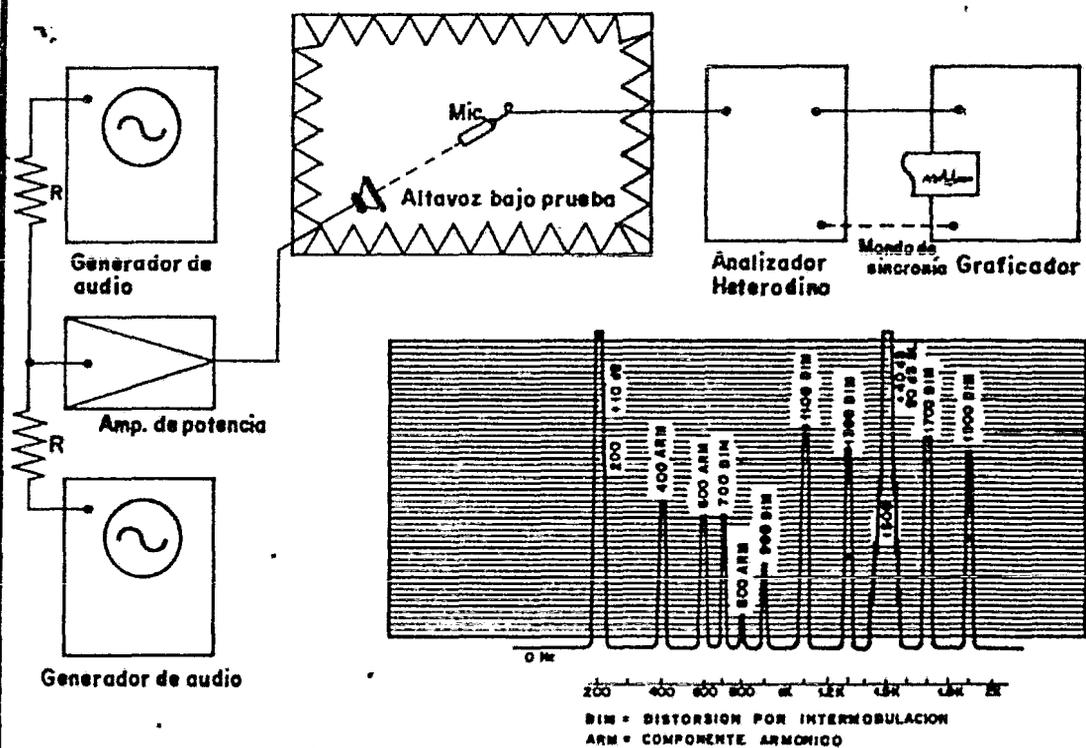


fig. 7.15 Medición de la distorsión por intermodulación usando dos tonos fijos.

operar a un nivel de potencia dado. En la recomendación de la Comisión Electrotécnica Internacional (1) se establece una prueba acelerada de vida, en un período continuo de 100 horas, utilizando una señal de ruido especial que se, obtiene de filtrar ruido blanco con una red de ponderación con características bien definidas. El espectro contenido de frecuencias de la señal de ruido especial, que se utiliza en esta prueba se ilustra en la figura 7.16.

Esta señal de ruido se alimenta al altavoz mediante un amplificador que debe, contar con un circuito descrestador para evitar que cualquier sobrecarga en el circuito pudiera afectar esta medición.

Al parámetro verificado en esta prueba, se le denomina de las siguientes maneras:

- (a) Potencia límite de utilización, ó
- (b) Capacidad de manejo de potencia, ó
- (c) Potencia máxima.

Por lo que respecta a la potencia nominal no existe un criterio unificado sobre el método y los requisitos con los que éste parámetro debe cumplir, sino que únicamente se trata de un valor atribuido al altavoz, con el que se dice "operar satisfactoriamente", sin que haya por ejemplo, una distorsión máxima que pudiera pensarse fuera limitante de la operación a esa potencia. Podría considerarse un valor de potencia nominal a aquella que resiste el altavoz cuando es alimentado con una señal bien definida y reproducirble hasta que ésta sobrepase un nivel de distorsión armónica escogido previamente.

(1) Comisión Electrotécnica Internacional, publicación 268 - 14 parte 5 (segunda Edición 1989) Ginebra, Suiza.

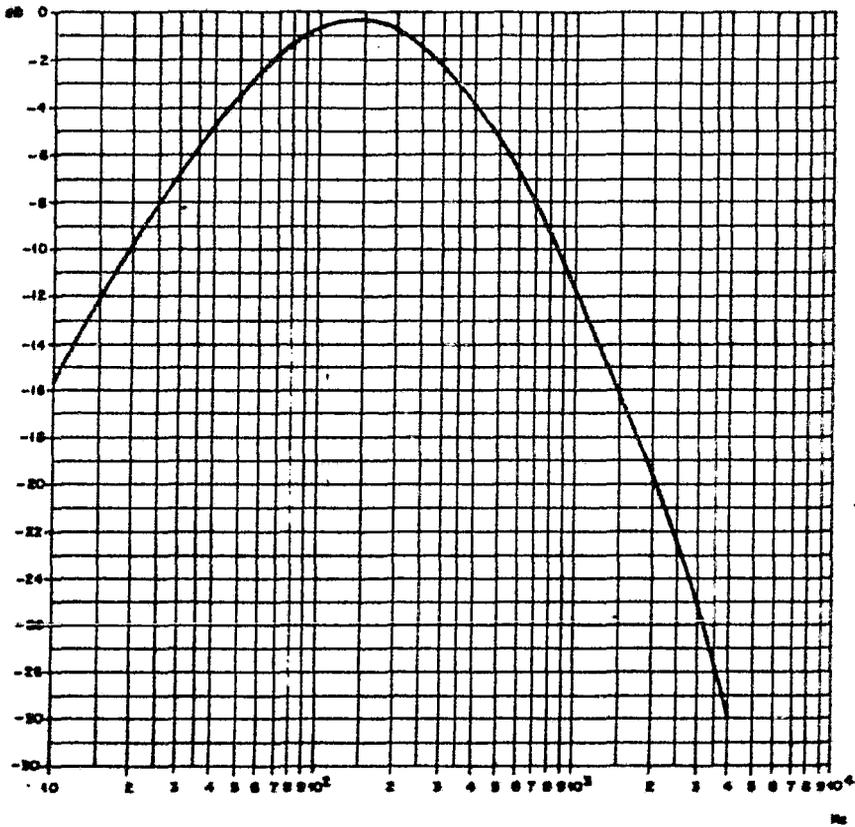
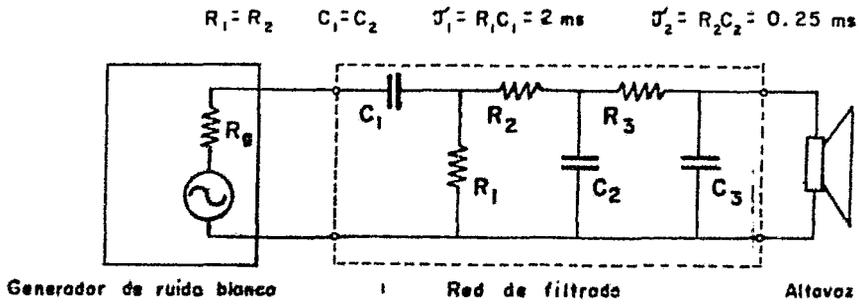


fig. 7.16 Espectro de la señal de prueba, obtenida con un filtro de un ancho de banda constante.

VIII

ESTADO ACTUAL DE LA INDUSTRIA DE ALTAVOCES

- I ESTADO ACTUAL DE LA INDUSTRIA EN GENERAL DE ALTAVOCES
- II ESTADO ACTUAL DE LA INDUSTRIA NACIONAL DE ALTAVOCES

I El diseño original de Rice y Kellogs (1) puede ser considerado vigente, aún para los altavoces actuales. Las modificaciones hechas en los componentes de los nuevos diseños son importantes, pero en esencia, tienen la misma función que tuvieron los componentes antiguos a los cuales sustituyen. Naturalmente estas modificaciones han tenido avances ventajosos en cuestiones de mejora de costos, y de optimización de características, aunque también se pueden ver en el mercado altavoces con construcciones modificadas que meramente constituyen innovaciones comerciales, con el único afán de impactar al consumidor y crear una demanda creciente día a día. A continuación se describen algunas modificaciones recientes:

(a) Imanes de tierras raras.

Estos imanes tienen la característica primordial de su elevado producto máximo de energía que puede ser obtenido entre 12 y 23 M. G. O., lo cual permite construir sistemas magnéticos de un alto coeficiente de acoplamiento magnético (Como pudiera llamarse al producto "B1") En los altavoces, estos imanes han encontrado su principal aplicación en unidades para audífonos livianos de alta sensibilidad, para reproductoras de "cassettes" portátiles de "alta fidelidad". - Estos altavoces se construyen usualmente con diafragmas tipo "domo" cuya base, es una película de mylar o también cloruro de polivinilo, a la cual se le hace un recubrimiento de boro y titanio.

(b) Alambres de sección transversal diferente a la circular.

Estos alambres permiten la construcción de bobinas con una cantidad mayor de conductor en el entrehierro, lo cual se traduce en una mayor sensibilidad de altavoz.

(1) "Loudspeakers" G. A. Briggs Ed. Rank Whartadale Ltd. 2a. Edición 1952.

Ejemplo de esas secciones es la rectangular, Ver figura 8. Estos alambres preferentemente son hechos de aluminio que además, ofrece reducir la reactancia de la bobina.

(c) Diafragmas de celosía de aluminio tipo "panal de abeja".

El comportamiento del altavoz siempre es analizado como el de un pistón plano rígido que vibra para la reproducción del sonido. Normalmente el diafragma del altavoz es construido cónico para incrementar su rigidez, procurando que cada punto del mismo radie en fase, y por ello se evite la producción de distorsión alineal. Algunos diseñadores mencionan que la forma cónica del diafragma tiene "efectos de cavidad"(1) en el sonido que reproduce el altavoz, considerando como un problema que concierne con las resonancias provocadas por la cavidad frontal del cono, resultando picos y valles en la respuesta a la frecuencia del altavoz. Como solución a ello, han desarrollado diafragmas -- planos a base de una celosía de aluminio cuyas celdas son hexagonales, similares a las de un panal de abeja, recubierta en ambos lados con una película de polímero que contiene grafito, vease fig. 8.1. El objetivo de usar la celosía de aluminio es de proporcionar una gran rigidez del diafragma que resulta ser mayor a la del diafragma cónico de papel. Las películas que recubren al aluminio proporcionarán la resistencia mecánica requerida por el diafragma.

Con éste tipo de diafragmas se han construido altavoces que han reducido la distorsión armónica contribuida por cada uno de sus componentes, de 1 % a 0.3% cuando operan a 1 watt, tal como se muestra en la figura 8.2.

Normalmente, la bobina móvil en el altavoz de diafragma plano ejerce su fuerza sobre una posición donde existe la formación de algún nodo de vibración importante, resultando un reforzamiento con el que se pretende eliminar el nodo de esa frecuencia; esto sucede en una región relativamente alejada del centro del diafragma como lo muestran los resultados teóricos de la fig. 8.3 en la cuál, puede apreciarse que el tamaño de la bobina es mucho mayor que lo usual.

(1) "coaxial Flat-plane loudspeakers with polymer-Graphite Honey comb Sandwich flat Diaphragm.

Revista de la Sociedad de Audio Ingeniería, Nov. 1991, pag. 80a.

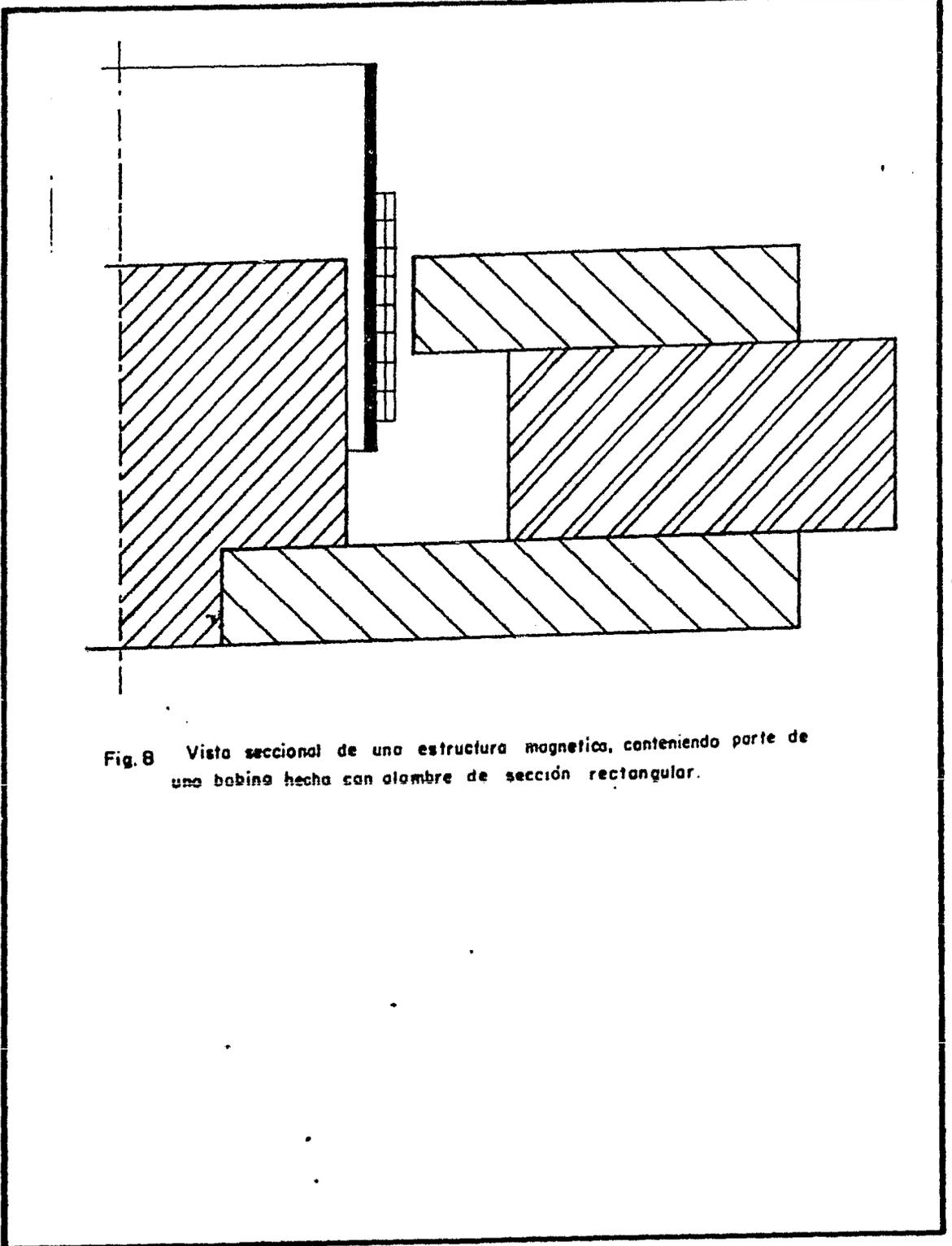


Fig. 8 Vista seccional de una estructura magnetica, conteniendo parte de una bobina hecha con alambre de sección rectangular.

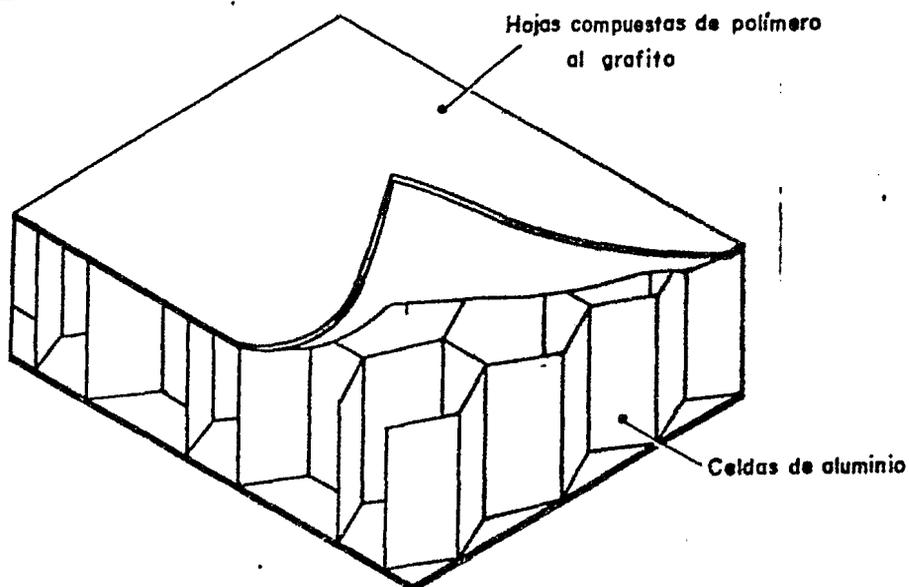


Fig. 8.1 Diafragma de duraluminio (tipo panel de abeja)

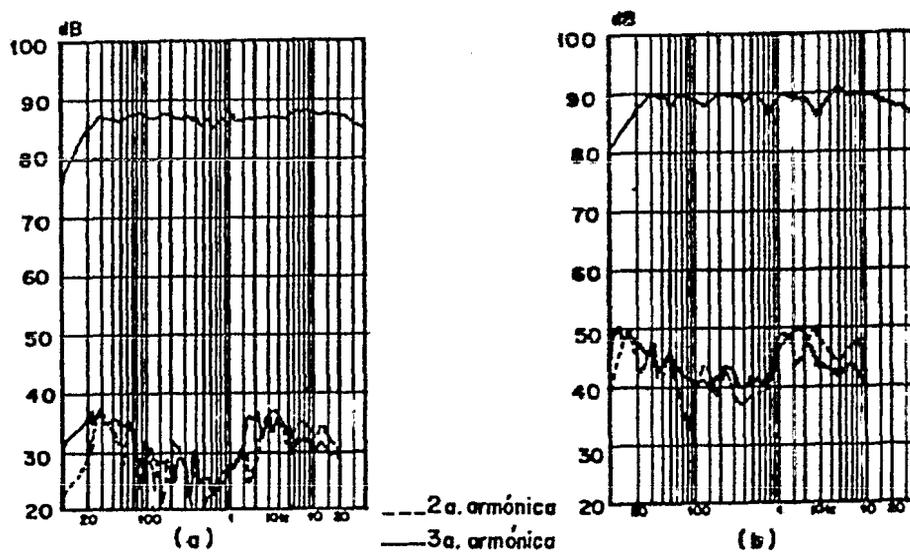


Fig. 8.2 Distorsión armónica en dos diferentes tipos de altavoces:
 (a) con diafragma de duraluminio tipo panel de abeja,
 (b) con diafragma cónico de papel.

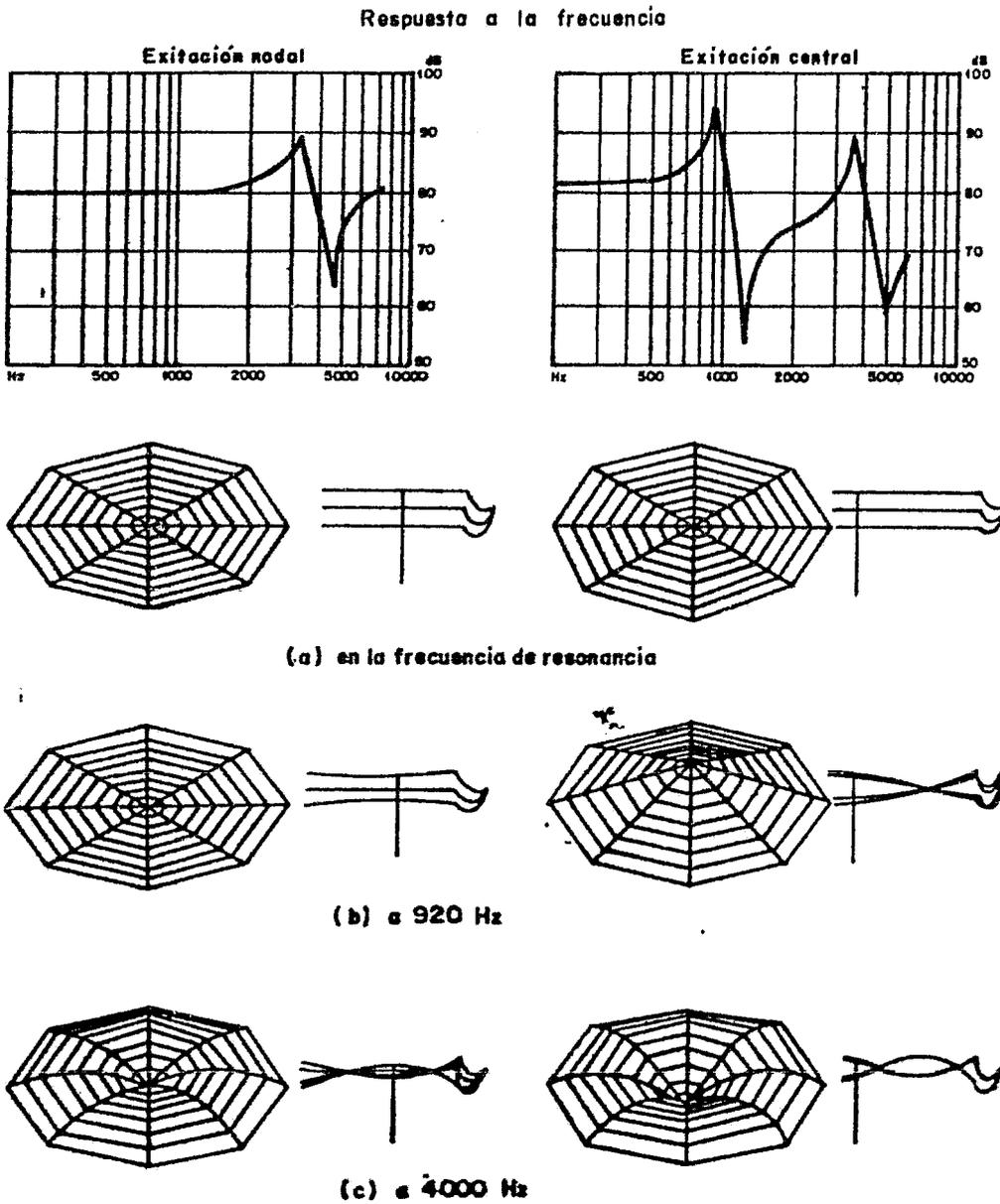


fig. 8.3 Comportamiento teórico de una membrana plana excitada en una región nodal, y en una región próxima al eje.

Otros diseñadores han optado en usar más de una bobina móvil, por ejemplo cuatro, situadas en la "región nodal" esperando los mismos resultados. Esto puede apreciarse en la figura 8.4. La figura 8.5 muestra diferentes resultados al aplicar la fuerza de cuatro bobinas sobre un diafragma a diferentes diámetros, afectándose un nodo de vibración que se presenta alrededor de 600 Hz.

I La industria nacional manufacturera de altavoces vive y ha vivido siempre, con una gran problemática: se ha recurrido a tecnologías extranjeras de cuya transferencia sólo se ha conseguido integrar a la producción nacional de diseños de altavoces que ya eran producidos por el que vende esa tecnología. Esta situación impide un desarrollo adecuado de los técnicos nacionales. Normalmente, el comprador de tecnología no quiere arriesgar su inversión y la busca externamente.

Los altavoces que se producen en México fueron introducidos bajo licencias de compañías extranjeras. Los inversionistas contrataron alguna transferencia de tecnología y compraron, los derechos, de producción de algunos modelos de altavoces que ya eran producidos por las compañías cedentes. También compraron algunos conjuntos de herramientas para la fabricación de los componentes, así como algunas máquinas para los mismos fines. La función primordial, de la Ingeniería dentro de esta industria ha sido dirigida entonces a la instalación de plantas industriales a la operación y la reparación del equipo de manufactura y al control de la producción. En segundo plano han quedado las investigaciones científicas, las experimentaciones y el desarrollo de una auténtica tecnología nacional. En la actualidad aún es muy difícil hacer una evaluación satisfactoria de los altavoces en nuestro país, si por satisfactoria se considera una evaluación en la que se reúnan las mediciones siguientes:

(a) de la respuesta a la frecuencia.

(b) de la distorsión armónica y por intermodulación

(c) de la directividad, y

(d) de la respuesta a los impulsos.

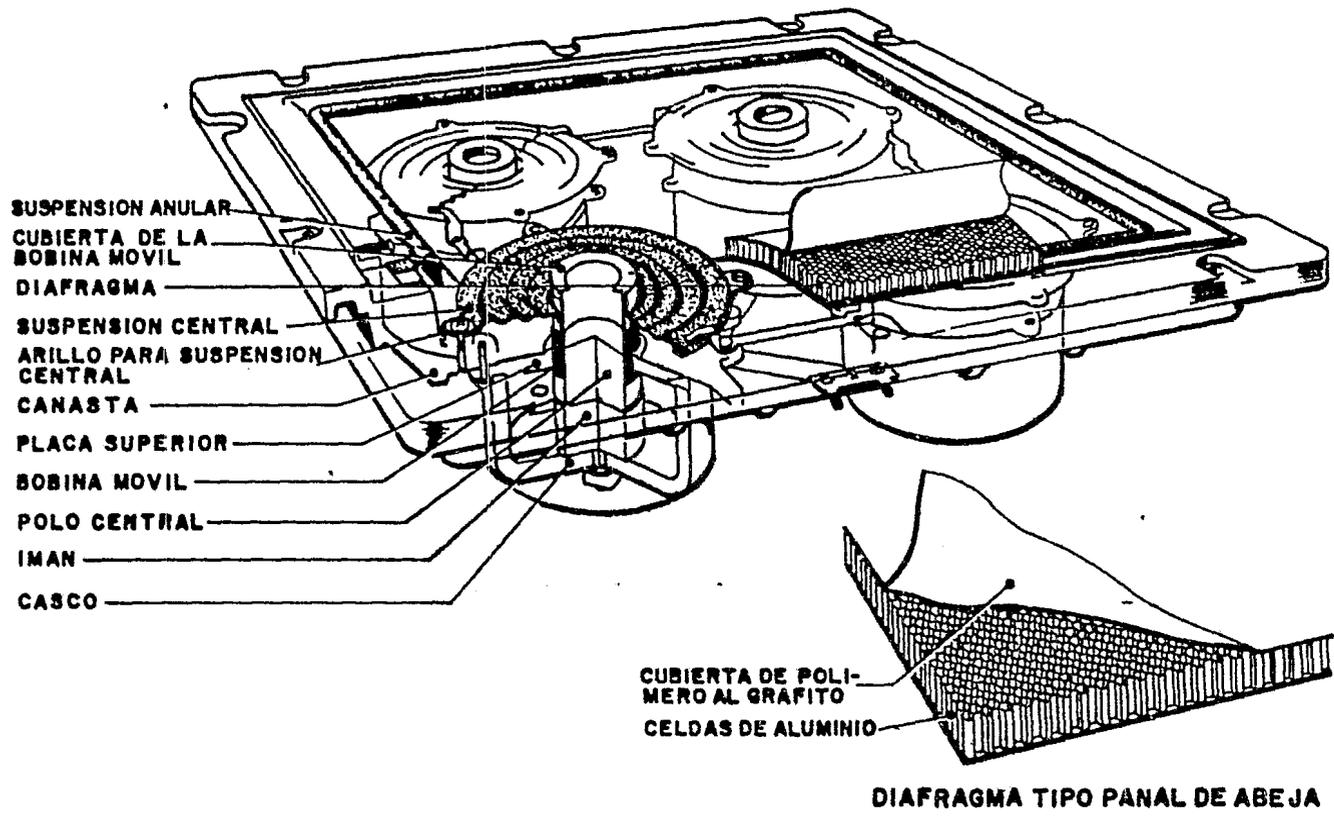


fig. 8.4 Altevoz de cuatro bobinas.

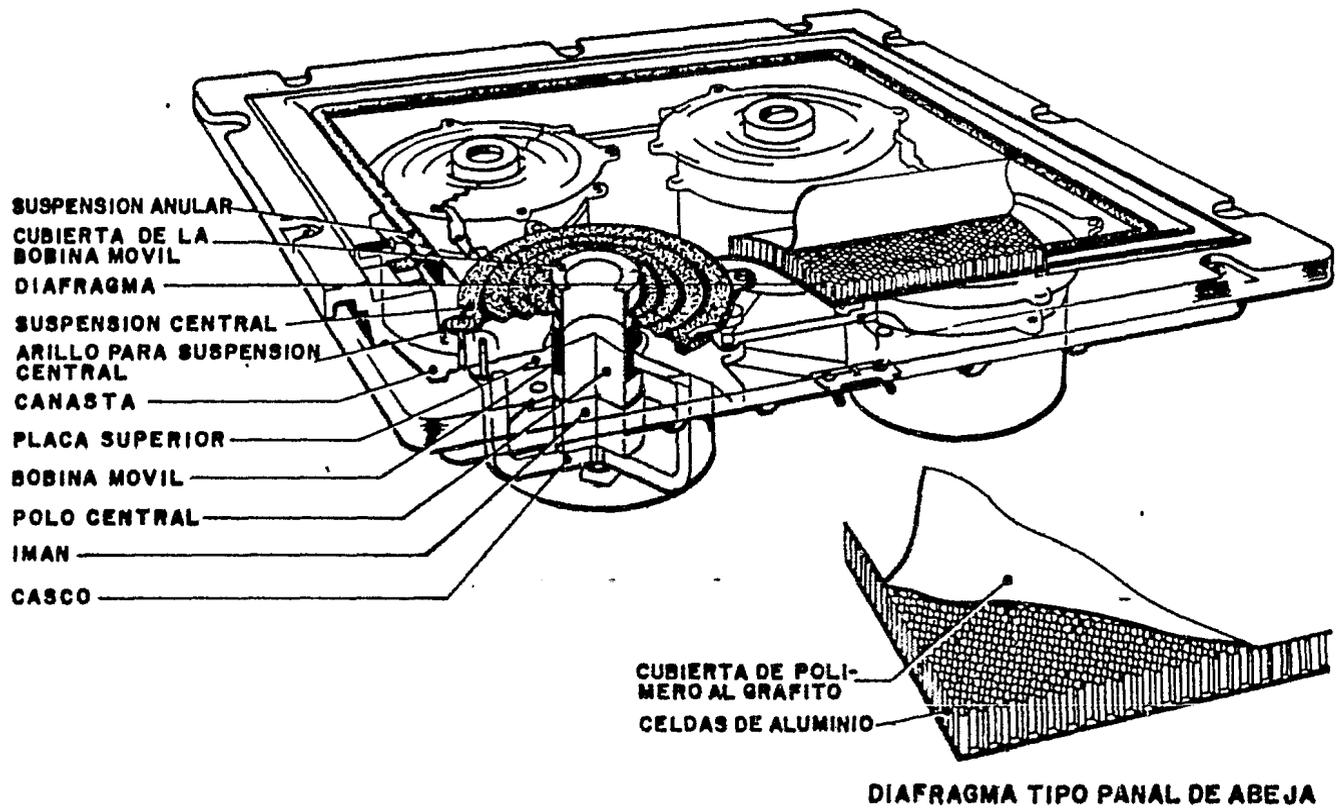


fig. 8.4 Altoparlante de cuatro bobinas.

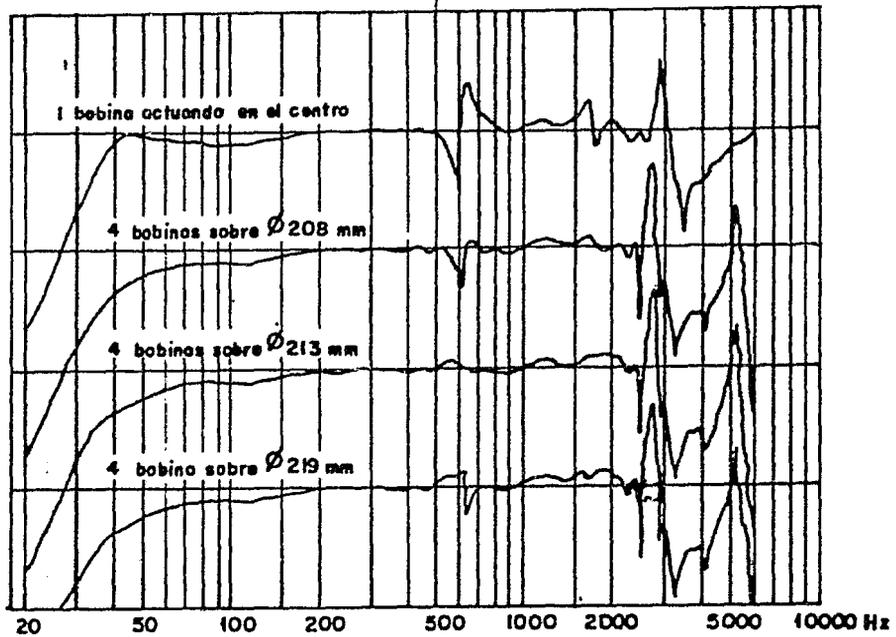


Fig. 8.5. Respuesta a la frecuencia obtenida al ejercer la fuerza de una o varias bobinas en diferentes regiones de un diafragma plano de duraluminio, tipo panel de abeja.

Este problema ha tenido implicaciones en problemáticas aún más complejas:

- I) Existe un grave desconocimiento de como interpretar las características de los altavoces, se confunden términos y se crean falacias, tanto entre consumidores como entre fabricantes.
- II) El término "calidad" se convierte en algo vago e indefinido, y se le usa deshonestamente en la publicidad.
- III) La solución a los problemas técnicos de la calidad del producto a veces es buscada por caminos equivocados o por caminos que resultan más largos que, lo necesario.
- IV) Se crea dependencia de tecnologías extranjeras.

En México la demanda parece siempre haber sido mayor que la oferta, poniendo al fabricante en posición ventajosa frente al consumidor, ofreciendo aquel la calidad que considere conveniente para sus fines. Ante esto, el fabricante no ha sentido la necesidad de disponer de laboratorios bien equipados. Es entonces, cuando la industria orienta a su ingeniería a objetivos muy diferentes a los del análisis de los altavoces, rindiendo resultados mínimos en la síntesis de nuevos y mejores productos.

La manufactura de buenos altavoces en México debe además enfrentarse a otros problemas: a los que resulten involucrados con la calidad de la materia prima nacional o extranjera, y los que representa la dependencia de proveedores extranjeros para el abastecimiento de materiales magnéticos y de ciertas resinas sintéticas. Así, se tienen problemas con la lámina con la que las canastas son producidas, la cual resulta con durezas que exceden los límites tolerables de sus especificaciones; lo mismo sucede con los espesores de las mismas. Otro problema es el abastecimiento de la tela para fabricación de las suspensiones; resulta difícil ser conseguida, ya que se le fabrica raramente; entonces es necesario estar haciendo modificaciones continuamente con telas sustitutos, que muchas veces llevan a resultados no deseados.

Respecto a los materiales de importación puede mencionarse la dependencia que el

país sufre del abastecimiento externo de los poliuretanos, los cuales han tenido un papel importante en la nueva tecnología de los altavoces, para la fabricación de suspensiones de alta compliancia y elevada resistencia mecánica, que ofrecen, la producción de altavoces reproductores de frecuencias bajas de muy buena calidad.

En conclusión, puede decirse que la industria nacional fabricante de altavoces, urge de un desarrollo general de las industrias que se relacionan con ella, en el cual debe caber la participación de los centros de estudios para el desarrollo tecnológico del país, ya que hasta el momento, esta participación no ha sido lo suficientemente notoria en ésta rama de la industria.

Puede considerarse que los centros de estudios pueden intervenir en las industrias siguientes que se relacionan con la fabricación de los altavoces:

- (a) de la celulosa y del papel.
- (b) de los productos textiles
- (c) de los productos químicos para la obtención de poliuretanos espumados y de adhesivos.
- (d) de la metalurgia relacionada con la producción de aceros e imanes.
- (e) y de la galvanoplastia.

IX

CONCLUSIONES

En el avance tecnológico de los países desarrollados, queda de manifiesto la característica de generar conocimientos científicos y tecnológicos apropiados al momento histórico del país (político, económico y social), lo que les permite estar en una situación ventajosa en los mercados internacionales de bienes y servicios.

Mediante la ayuda de la ciencia y tecnología, se pueden apreciar, controlar, y optimizar el uso razonado de la naturaleza, razón por la cuál se debe apoyar a nivel Gobierno.

En el campo de la metal-mecánica, electrónica, química y acústica, México no ha logrado desarrollarse de una manera definitiva, puesto que se depende, de tecnología extranjera, que en la mayoría de los casos es obsoleta en los países desarrollados.

Debido a que los sectores destinados a la investigación no están en una relación continua y efectiva con la industria nacional, la dependencia tecnológica hacia el extranjero es tremenda, lo cuál obstaculiza el desarrollo nacional de tecnología extranjera.

Ahora bien, con la publicación del "Plan Global de desarrollo" se vislumbra, una relación estrecha entre la industria y organismos dedicados a la investigación, éste último deberá apoyar de una manera clara, objetiva y productiva a la industria nacional.

La industria Mexicana, relacionada con la de altavoces, podrá utilizar el apoyo tecnológico necesario para poder obtener sustitutos de materiales de exportación, apegandose a los servicios de normalización, metrología y control, deberá la industria, ser capaz de proporcionar al mercado un producto, uniforme.

Otros aspectos a desarrollar, son las relaciones económico-jurídicas y de trabajo para la relación investigación tecnológica-Industria.

Se deberán eficientar los sistemas de producción con el fin de ofrecer un producto bueno y competitivo a nivel nacional primeramente, y después internacional.

Por último, se pone de manifiesto que, una manera efectiva para el control de calidad del altavoz o cualquier otro bien, es el informar al consumidor sobre las características que se deben observar al comprar, con el fin de exigir las por éste.

Considero que con éste plan de apoyo a la industria lo único que queda por el momento es llevarlo a cabo.

En el análisis realizado en los capítulos anteriores, se puso de manifiesto, lo útiles que son las analogías dinámicas, puesto que se visualiza objetivamente el fenómeno. En cuanto al diseño de estructuras magnéticas es posible elaborar programas de computación que iterativamente "encuentran" el imán óptimo para una estructura magnética dada, no olvidando que se tendrán que hacer unos últimos ajustes al evaluar los prototipos.

En los aspectos relacionados con la fabricación de altavoces, existen tantas formas de hacerse como inventiva pueda tener el interesado en el tema, lo único que debe siempre observarse son los compromisos de ortogonalidad entre el movimiento de la suspensión central y la bobina y el correcto centramiento de la bobina móvil.

Para la evaluación de altavoces es conveniente abrir un expediente por cada modelo y archivar en él los parámetros medidos y bajo que condiciones se efectúan, teniendo cuidado de registrar para toda prueba, la fecha en que ésta se realizó.

Por último, se recomienda que toda mejora que se desee hacer sobre algún elemento del altavoz, se haga primero un ensayo, evaluando las mejoras que se obtuvieron y de no quedar satisfechos, hacer otras más, como sea necesario, hasta lograr el deseado, con ésto pasar a una producción piloto de unas decenas de muestras e ir incrementando hasta una producción final.

Es aconsejable cambiar parámetro por parámetro por cada prueba a efectuar, con el fin de tener una conclusión adecuada en la prueba.

X

BIBLIOGRAFIA

- 1.- "Acoustic Measurements" L. Beranek Ed. John Wiley & Sons.
- 2.- "Acustical Engineering" H. F. Olson Ed. Van Nostrand.
- 3.- HI-FI Loudspeakers and Enclosures A. B. Cohen Ed. Hayden Book Co.
- 4.- "Loudspeakers" E. J. Jordan Focal Press.
- 5.-"Electro acustics" M. L. Gayford 1971 Ed. American Elsevier Publishing Co. Inc.
- 6.-"Loudspeakers" Mac Lacland 1960 Ed. Dover Publications Inc.
- 7.-"Acustica" Leo L. Beranek 2a. Edición Ed. Hispano Americana, S. A.
- 8.-"Acustical Engineering" Harry F. Olson Ed. Van Nostrand Company, Inc.
- 9.-"Audio Cyclopedia" Howard M. Tremaine 2a. Edición 1973 Ed. Howard W. Sanas & Co. Inc.
- 10.-"Permanent Magnet Handbook" aut. Varios 1959 Ed. Clusible Steel.
- 11.- Bruel d. Kjaer "Aplication notes" paper presented at the AES Convention in N. Y. 1977, 17-206
- 12.- "Loudspeakers Voice Coils" Journal of Audio Engineering Society John King Vol. 18 No. 1 Pag. 34-43 Feb. 1970
- 13.- "Hitachi Permanent Magnet Manual" HMC 742 5M Hitachi Magnetics Corp.
- 14.-"International Standard" ISO 5267/'82 Ed. 1979-1980.
- 15.- TDK Data Book "Magnets" TDK Electronics Co, Ltd. Abril 1979.