



300617

---

UNIVERSIDAD LA SALLE

---

ESCUELA DE INGENIERIA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**" DESARROLLO DE UN PROCESADOR  
AMBIOFONICO "**

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

con especialidad en

**INGENIERIA ELECTRONICA**

Presenta:

**GUILLERMO EDUARDO TORRES  
QUINTANA**

TESIS CON  
PALA DE ORO

DIRECTOR DE TESIS  
ING. JACINTO CUAN LEE



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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 está 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.

**INDICE**

	<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
	<b>CAPITULO I</b>	
	<b>Principios básicos de acústica</b>	
I.1	Definición de Acústica .....	2
I.2	El oído humano y su funcionamiento .....	2
I.3	El sonido y sus principales características.....	9
I.4	Análisis del término "Reverberación" .....	22
	<b>CAPITULO II</b>	
	<b>Diversos métodos de reverberación</b>	
II.1	Sistemas de reverberación natural .....	30
	II.1.2 Construcción de una cámara de eco .....	30
	II.1.3 Forma de conexión de una cámara de eco en un canal de grabación .....	32
	II.1.4 Tubos de retardo .....	33

---

# DESARROLLO DE UN PROCESADOR AMBIOFONICO

---

II.2	Sistemas de reverberación mecánicos . . . . .	34
II.2.1	Construcción de una unidad de reverberación empleando resortes de acero . . . . .	34
II.2.2	Construcción de una unidad de reverberación utilizando una placa metálica . . . . .	38
II.2.3	Unidad de retardo magnético . . . . .	45
II.3	Sistemas de reverberación electrónicos . . . . .	48
II.3.1	Sistemas de reverberación analógicos . . . . .	48
II.3.2	Sistemas de reverberación digital . . . . .	53

## CAPITULO III

### El Procesador Ambiofónico

III.1	Orígenes del Procesador Ambiofónico . . . . .	54
III.2	El procesador ambiofónico actual . . . . .	58

## CAPITULO IV

### Desarrollo de Procesador Ambiofónico

IV.1	Especificaciones generales . . . . .	63
IV.2	Distribución de los canales . . . . .	66
IV.3	Diseño de los circuitos . . . . .	73

---

## DESARROLLO DE UN PROCESADOR AMBIOFONICO

---

	IV.3.1	Línea de Retardo . . . . .	75
	IV.3.2	Amplificador . . . . .	93
	IV.3.3	Filtro pasa bajos "Subwoofers" . . . . .	94
	IV.3.4	Indicadores . . . . .	99
	IV.3.5	Fuente de alimentación . . . . .	101
IV.4		Diseño de los circuitos impresos . . . . .	106
	IV.4.1	Circuito impreso de la línea de retardo . . . . .	106
	IV.4.2	Circuito impreso de amplificador . . . . .	107
	IV.4.3	Circuito impreso de filtro pasa bajos "Subwoofers" . . . . .	107
	IV.4.4	Circuito impreso de indicadores . . . . .	108
	IV.4.5	Circuito impreso de fuente de alimentación . . . . .	108
IV.5		Diseño y construcción del chasis . . . . .	111
	IV.5.1	Dimensiones y distribución requeridas por los componentes internos . . . . .	112
	IV.5.2	Dimensiones y distribución de los dispositivos del control . . . . .	114
	IV.5.3	Dimensiones y distribución de los elementos de entrada y salida . . . . .	116
	IV.5.4	Costados o tapa superior . . . . .	117

---

## CAPITULO V

### Análisis de los resultados obtenidos

V.1 Especificaciones obtenidas ..... 119

V.2 Análisis económico ..... 127

**CONCLUSIONES** ..... 131

**BIBLIOGRAFIA** ..... 133

---

# INTRODUCCION

El objetivo de esta tesis consiste en diseñar un dispositivo capaz de mejorar las características del sonido en los sistemas de audio, mediante el análisis y estudio de los elementos que proporcionan sensación de espacio, ambiente y realidad, así como diversas técnicas empleadas en las últimas décadas con esta finalidad.

El desarrollo de esta tesis no pretende limitar su objetivo a un caso específico, puesto que a través del desarrollo de ésta se fundamentarán los elementos necesarios para poder realizar mejoras en el aspecto acústico de la sonorización, con mejor sensación de espacio, ambiente y realidad para cualquier sistema de audio, tanto comercial como profesional e incluso contando con diversos equipos.

El origen e importancia de este proyecto radica en la observación de las limitaciones acústicas presentadas en numerosos recintos como salas de audición, discoteques, restaurantes, cines, teatros, automóviles, así como salas y estancias típicas, los que en ocasiones, a pesar de poseer equipos sofisticados de audio, llegan a carecer de elementos que refuercen la diferencia sonora entre sus canales, presentado así una sensación de sonido mono aural, siendo éste un punto importante e interesante por resolver.

## CAPITULO I

### PRINCIPIOS BASICOS DE ACUSTICA

#### I.1 DEFINICION DE ACUSTICA

Acústica es la ciencia que trata de la producción de efectos y transmisiones de las ondas sonoras, las cuales se realizan a través de distintos medios, incluyendo reflexión, refracción, difracción, absorción e interferencia, así como las características de auditorios, teatros y estudios y el diseño de los mismos.

Como se puede observar, la acústica debe tomar en cuenta el análisis y estudio del sonido desde su origen hasta su percepción en los oídos.

Entendemos por respuesta acústica a la medida de las características de un recinto, el cual puede ser un auditorio o sala.

El tratamiento acústico se define como la aplicación de material acústico o absorbente de sonido a una habitación o recinto, para obtener las características acústicas deseadas.

El Ohmio Acústico se considera la unidad de resistencia acústica y es equivalente a la presión sonora de una dina por centímetro cuadrado, produciendo una velocidad de volumen de un centímetro cúbico por segundo. Es empleada cuando nos referimos a impedancia o reactancia acústica. Una línea acústica es un equivalente acústico de una cámara sonora en la parte trasera de un altavoz.

#### I.2 EL OIDO HUMANO Y SU FUNCIONAMIENTO

La percepción del sonido es realizada mediante el oído, el cual es un órgano par, de muy compleja estructura que permite el registro de las oscilaciones o vibraciones del aire que se constituyen en ondas sonoras. En cada oído hay que distinguir tres partes: el oído externo y oído medio, que sirven para la transmisión de las vibraciones

---



sonoras, y el oído interno, que actúa como receptor de las mismas y contiene un dispositivo sumamente ingenioso, el cual gobierna el equilibrio del cuerpo humano.

**Oído externo:** Consta en primer lugar, del pabellón de la oreja, amplio pliegue de la piel que presenta como soporte un cartilago en forma de concha, englobando el orificio exterior del conducto auditivo, sólo en su parte más baja carece de cartilago para formar el lóbulo de la oreja. En los animales, con un gran desarrollo en su capacidad auditiva, este pabellón es móvil conteniendo diversos músculos inexistentes en el hombre; el pabellón de la oreja tiene la misión de captar las ondas sonoras a la manera que lo efectúa una antena de radar.

El conducto auditivo externo es una formación tubular con una longitud de 3 a 3.5 cm. y con un recorrido recuerda una suave "S" para terminar en el tímpano. En el tapizamiento interno de este conducto se encuentran numerosas glándulas sebáceas especiales ceruministas, que segregan el llamado cerumen, sustancia untuosa que cuando se seca, aparenta ser como la cera, y cuya misión es la de lubricar el conducto y evitar la llegada al tímpano de polvo y partículas extrañas. Esta actividad protectora también es realizada por los numerosos y finos pelos que se encuentran, más o menos abundantes, en la parte externa, cartilaginosa del conducto auditivo externo.

El tímpano separa el oído externo del medio; se trata de una membrana circular de unos 10 mm de diámetro, constituida por fibras elásticas de color nacarado, con una posición ligeramente oblicua y que, en su centro, está algo abombada hacia adentro. El tímpano se inserta firmemente en el peñasco o porción petrosa del hueso temporal. La elasticidad de esta membrana permite que entre en vibración cada vez que las ondas sonoras recogidas por el pabellón de la oreja y transmitidas por el conducto auditivo externo, hacen impacto sobre su superficie.

**Oído Medio:** Detrás del tímpano se encuentra el oído medio o caja del tímpano, oquedad que se encuentra en el interior del peñasco del hueso temporal. En su interior se hallan tres huesecillos llamados martillo, yunque y estribo, que están articulados entre sí, formando una especie de cadena que establece la conexión entre el tímpano y el laberinto del oído interno, para transmitir las vibraciones originadas de aquél. Por, ello el martillo tiene su mango bien insertado en toda su longitud, en el cebo mismo del tímpano, mientras que su cabeza se une al yunque. A su vez, éste se articula con el estribo, cuya placa basal transmite las ondas sonoras a través de la denominada ventana oval, que es ocluida por dicha base y contacta con el laberinto.

En la parte inferior de la caja del tímpano desemboca la trompa de Eustaquio, con un conducto de unos 3.5 cms. de largo, con forma de báculo, que se comunica con la

---

faringe nasal. La trompa aérea la caja del tímpano y así nivela la presión atmosférica entre el oído medio y el aire exterior; la finalidad es mantener una igualdad de presión en ambos lados del tímpano, éste puede hallarse en el óptimo estado de tensión para entrar en vibración. Esto explica la utilidad de los movimientos de deglución (tragar saliva, mascar chicle o chupar un caramelo) durante los rápidos ascensos o descensos en aviones, subida o bajada de puertos de montaña, debido a que al tragar, se abre y dilata la trompa. A través de ésta los gérmenes causantes de infecciones en la región nasofaríngea, pueden pasar al oído medio. En ocasiones, sobre todo en niños, puede obstruirse por la amígdala faríngea (vegetaciones), localizada cerca del orificio nasofaríngeo de la trompa, y así provoca fácilmente una sordera al abombarse el tímpano por existir un desequilibrio en la presión que dificulta la transmisión del sonido al martillo.

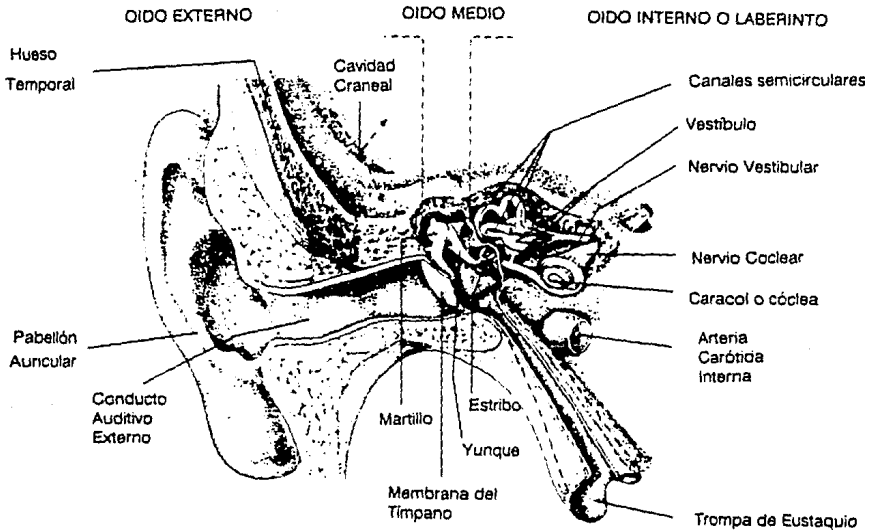


Figura 1 El oído humano

Oído interno: Se denomina al conjunto del laberinto, formado por el vestíbulo, los conductos semi circulares, el caracol y los nervios sensitivos referentes (vestibular y coclear). Este conjunto se encuentra para su protección, en el hueso más duro del organismo, el Peñasco del Temporal.

El vestíbulo es un pequeño espacio relleno de líquido, situado en el centro del laberinto, entre los conductos semicirculares y el caracol. Su pared exterior se abre para formar la ventana oval, abertura cubierta únicamente por una membrana. Delante del vestíbulo arrancan, con dilataciones en forma de botella, los tres conductos semicirculares, en los que se encuentra el órgano del equilibrio, integrado especialmente por unas concreciones calcáreas u otolitos. Estos otolitos son excitados por el líquido laberíntico que los rodea y, a través de las vías nerviosas (parte vestibular del nervio auditivo) que termina en el cerebelo, forman el dispositivo principal del que dispone el cuerpo humano para mantener el equilibrio. El caracol óseo o coclea, parecido en su constitución helicoidal a la estructura de una casa de caracol, es un tubo relleno de líquido que, como una espiral, se retuerce dos veces y media alrededor de su eje. El tubo está dividido por una lámina espiral en dos partes; una rampa o escala superior (vestibular) y una inferior (timpánica). El caracol membranoso que tapiza interiormente el canal óseo, alberga el verdadero centro del oído u órgano de corti. Sus diferentes fibras nerviosas auditivas (unas 20,000), están sincronizadas con determinadas vibraciones sonoras y actúan al unísono cuando son excitadas por éstas. El nervio auditivo (parte coclear), transmite las impresiones así recibidas a la corteza cerebral y ahí son percibidas como tonos.

La función auditiva puede ser resumida de la siguiente forma: las ondas sonoras recogidas por el pabellón auricular, pasan a través del conducto auditivo externo a la membrana del tímpano, haciéndola vibrar.

Estas vibraciones se transmiten a la cadena de huesecillos. La placa basal del estribo que se adhiere a la ventana oval conduce los movimientos ondulares al laberinto, cuyas vibraciones excitan a las terminaciones nerviosas del nervio auditivo.

La capacidad auditiva del oído humano está limitada hacia arriba y hacia abajo en relación a la altura de los sonidos o tonos. Una pequeña parte de los tonos más bajos o graves (es decir, los que tienen menos frecuencia) no son percibidos por el hombre, lo mismo que una gran parte de los tonos más agudos. En general, los límites de percepción se encuentran entre las 15 y las 20,000 vibraciones por segundo (Hertz, Hz).

---

La distribución de energía en la voz humana no es constante en los diferentes valores de frecuencia por lo que la mayor energía está situada para este caso, entre los 200 y los 400 Hz, cayendo rápidamente por encima de los 6,000 Hz.

Debido a lo anterior, se consideran frecuencias infrasónicas aquellas que están debajo de los 15 Hz, mientras que las que superan este valor son nombradas sónicas, siempre y cuando no sobrepasen la gama audible cuyo límite es considerado como 20,000 Hz. Las frecuencias que sobrepasan este valor son llamadas ultrasónicas.

Como mencioné anteriormente, el oído humano es menos sensible en los extremos inferior y superior del espectro de frecuencias, sin embargo, cabe notar que esta característica no es totalmente uniforme en todos los casos, puesto que varía con la edad y el sexo.

El oído humano presenta su mayor sensibilidad entre 500 y 6,000 Hz, por ejemplo, a las intensidades más bajas la sonoridad apreciada de un tono de 1,000 Hz varía aproximadamente en proporción al cuadrado de la presión sonora. a intensidades más altas, la sonoridad varía aproximadamente como los dos tercios de la potencia de la presión sonora. Esta relación acaba con el debate del uso del decibelio, el cual es utilizado en mediciones acústicas debido a que el oído humano responde lógicamente a la intensidad del sonido. A ningún nivel se indica una característica logarítmica. La sonoridad es aproximadamente proporcional a la presión sonora elevada a la potencia 0.6.

Como hemos observado en el estudio del sonido, los principios físicos, así como las unidades de presión, son de gran importancia.

Estudios recientes han demostrado que la presión acústica generada en una reproducción musical media es de aproximadamente 0.005 a 240 dinas por centímetro cuadrado.

La razón por la cual el tono de los sonidos percibidos por el oído humano aumenta y disminuye cuando se varía la intensidad del sonido, es debido a la no linealidad de la respuesta del oído humano, se ha determinado experimentalmente que la altura de tono se relaciona con la membrana basilar, que es una parte delicada del caracol (tubo cilíndrico en espiral que forma la parte más profunda de las tres porciones del laberinto del oído humano), debido a la estructura de esta membrana la relación entre altura de tono y frecuencia no es exactamente lineal.

---

El umbral de escucha o audibilidad para una frecuencia dada, es el nivel de sonido que el oído humano medio puede percibir durante 50% del tiempo. El umbral de escucha se refiere a una presión sonora de 0.000204 dinas por centímetro cuadrado que equivale a 0.0002 microbar ó 10(-16) watts por centímetro cuadrado.

El margen dinámico del oído humano es de 120 dB, o sea, una relación de un billón a uno. Un sistema de grabación de cinta magnética de alta calidad tiene sólo un margen de 60 dB o un millón a uno.

El oído humano es considerado excelente como sistema acústico, debido al margen de intensidades a las que responde sin ser dañado, así como su extremada sensibilidad para captar sonidos débiles. Sin embargo, como se ha comprobado, el oído es relativamente insensible a cambios en intensidad. La intensidad de un sonido debe aumentar aproximadamente en 26% para que el oído registre un cambio en la sensación sonora producida. Cuando una onda senoidal pura ataca al oído humano y la intensidad aumenta, aparecen armónicos de la frecuencia fundamental. Debido a que el oído humano no tiene una respuesta lineal, los tonos múltiples causan la generación de frecuencias, suma y diferencia, dando lugar a distorsión, por lo que con sólo dos frecuencias se podrían generar un gran número de tonos.

La distorsión armónica que puede tolerar el oído humano antes de que la reproducción se haga reusable, según datos experimentales para la reproducción moderna, se obtienen los porcentajes mostrados en la siguiente tabla:

	MUSICA	PALABRA
Acceptable	0.7%	0.9%
Tolerable	1.3 a 1.8%	1.9 a 2.8%
Molesto	2 a 2.5%	3 a 4.2%

Tabla 1 porcentajes de distorsión armónica.

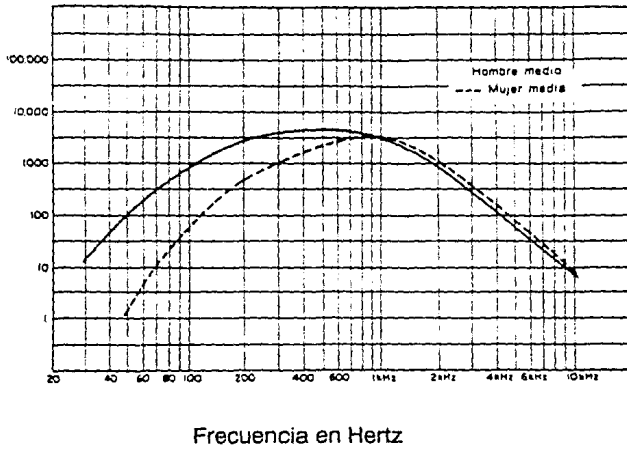


Figura 2 Distribución de energía de la voz humana.

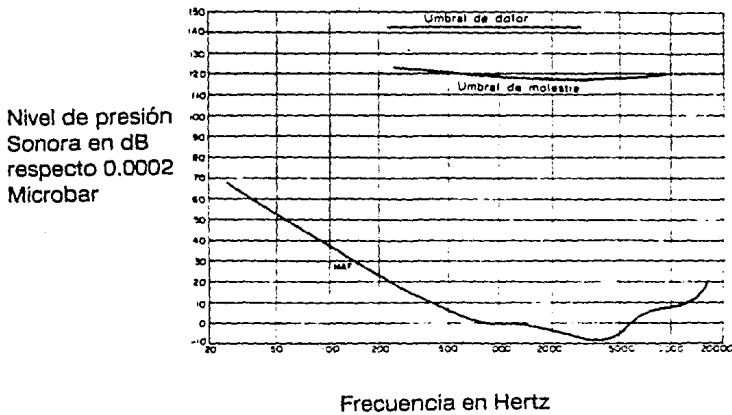


Figura 3 Curvas que muestran el umbral de escucha, molestia y dolor.

### 1.3 EL SONIDO Y SUS PRINCIPALES CARACTERISTICAS

El sonido es una onda en movimiento que se propaga a través de un medio elástico en ambas direcciones, longitudinal y transversal y que produce una sensación auditiva en el oído debido al cambio de presión sobre el mismo. Las ondas sonoras se producen mediante un cuerpo vibrante en contacto con el aire, las cuales se pueden clasificar y nombrar según sus principales características. Por ejemplo:

Onda Compresiva  
Onda de Corte  
Onda Plana  
Onda Cilíndrica

Onda Longitudinal  
Onda Transversal  
Onda Esférica

Los fisiólogos han desarrollado una escala de sonido la cual mide el nivel de presión sonora teniendo como unidad el son.

El sone es igual a 0.0002 microbar tomando como frecuencia de muestras 1,000 Hz a una presión sonora 40 dB encima del umbral de escucha.

La sonoridad es la intensidad del estímulo sonoro y está en función de la presión sonora. Sin embargo, depende también de la frecuencia y de la complejidad de la forma de onda.

En algunas ocasiones, es ventajoso expresar el cambio de sonoridad en porcentaje, para hacerlo así, debe conocerse el nivel de sonido original. La siguiente gráfica nos proporciona una respuesta aproximada para los diferentes valores de nivel de sonido original.

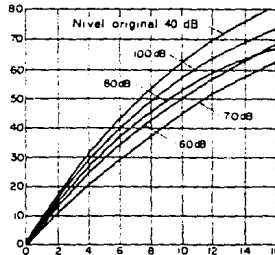


Figura 4 Porcentaje de reducción de sonoridad en función del nivel de sonoridad en decibelios.

Observando los valores de la figura 4, podríamos obtener la tabla 2 que nos proporciona el nivel de sonoridad original en función de la reducción en decibeles/porcentaje.

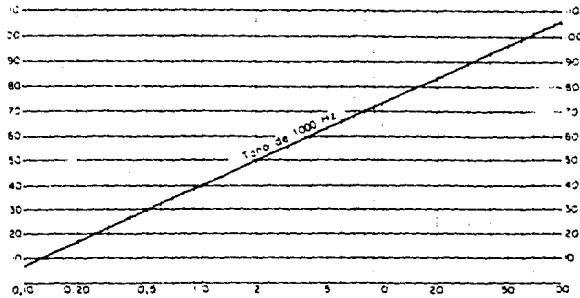
Nivel Original de Sonoridad (dB)	Reducción en Decibeles	Reducción de Sonoridad en Porcentaje
40	10	62
	6	43
60	10	50
	6	33
70	10	50
	6	29
80	10	53
	6	38
100	10	56
	6	40

Tabla 2 Nivel de sonoridad en función de la reducción en decibeles.

El sone es una unidad de sonoridad graduada en saltos iguales y utilizada en la medida de las características del oído humano. Un sone es igual a  $10(-6)$  microwatts por centímetro cuadrado. (La sonoridad de un tono de 1,000 Hz 40 dB por encima del umbral de escucha es un sone). Un tono dos veces más sonoro es igual a dos sones y así sucesivamente. Un milisone es igual a la milésima parte de un sone y se toma a menudo como la unidad de sonoridad, debido a lo anterior, podríamos establecer una gráfica.



Nivel de presión sonora en decibeles respecto 0.0002 microbar



Sonoridad en sones

Figura 5 Presión sonora en dB en función de sones.

El fono es la unidad de medida del nivel de sonoridad de un tono puro, debido a que el oído humano no es sensible según una escala lineal. Doblar la intensidad de un sonido no representa doblar la intensidad del sonido en el oído, por lo que una escala real de sonoridad sería aquella que doblara la sensación en el oído cuando se dobla la intensidad del sonido. Esta escala es la de sonoridad. Siendo su unidad de medida, el fono con una frecuencia de referencia de 1,000 Hz. La relación de sones a fonos se expresa de la siguiente forma:

$$S = 2^{\frac{P-40}{10}}$$

S = Sonoridad en sones

P = Nivel de sonoridad en fonos

El término TIMBRE es considerado como la cualidad característica de un instrumento musical que permite distinguirlo de otro. El timbre depende del armónico o sobretono del instrumento. Si se eliminaran los armónicos mediante filtros, todos los instrumentos sonarían de manera similar excepto por el nivel del tono. La altura de tono es determinada por su frecuencia. Cuando más alta es la frecuencia más alta es la altura de tono.

Se define como OCTAVA a ocho notas de una escala musical siendo ésta el intervalo entre dos sonidos que tienen una relación de frecuencia igual a dos; esta también el intervalo de altura de tono entre dos sonidos tales que uno puede ser considerado como reproducción del otro, pero con el tono superior más bajo posible.

## VELOCIDAD DEL SONIDO

La velocidad del sonido es el cambio de posición debido al tiempo transcurrido. Salvo que se especifique velocidad angular se entiende que el término se refiere a velocidad lineal.

Los experimentos han indicado que la velocidad del sonido en el aire a cualquier frecuencia es aproximadamente de 1,217 pies por segundo ó 343.5 metros por segundo ó 767.54 millas por hora. La velocidad aumenta ligeramente con la temperatura alrededor de 1.1 pies por segundo por cada grado fahrenheit en un rango que va desde 1,099 pies por segundo a 32 gradosF a 1,130 pies por segundo a 70 gradosF.

El valor de la velocidad del sonido a cualquier temperatura es:

$$V = \frac{1,087 (273 + t)}{16.52}$$

V = Velocidad del sonido en pies por segundo

t = Temperatura en grados centígrados

Tabla 3 Velocidad del sonido a través de materiales sólidos:

MATERIAL	METRO/SEGUNDO
Acero	5,029
Agua	1,441
Aluminio	5,102
Cobre	3,557
Dióxido de Carbono	258
Hierro	128
Ladrillo	3,810
Madera de Pino	3,322
Plata	2,607
Plomo	1,227
Vidrio	5,000

Cuando una onda sonora está viajando a través de un medio tal como el aire y encuentra otro tal como el agua, aire frío o un objeto sólido y el segundo medio es de gran espesor o profundidad en comparación con la longitud de la onda del sonido emitido, parte del sonido es reflejado desde el objeto de manera semejante a un rayo de luz, el resto del sonido es absorbido y transmitido por el segundo medio según un cierto ángulo una gran parte rebotará y será reflejada con un ángulo igual al de incidencia. El sonido reflejado aumenta la intensidad, produce desfase y añade reverberación. Todos estos efectos varían con el tratamiento acústico del recinto. Si la reverberación es excesiva la inteligibilidad se reduce.

## LONGITUD DE ONDA

La longitud de onda del sonido en el aire es igual a la velocidad dividida entre su frecuencia en Hertz.

Ejemplo de cálculo de longitud de una onda de 40 Hz

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343,4}{40} = 8,585 \text{ m}$$

$\lambda$  = Longitud de onda en metros

v = Velocidad del sonido en el aire

f = Frecuencia en hertz a 20 grados C

Debido a lo anterior, podríamos obtener una gráfica para diferentes valores de frecuencia considerando una temperatura y presión constante.

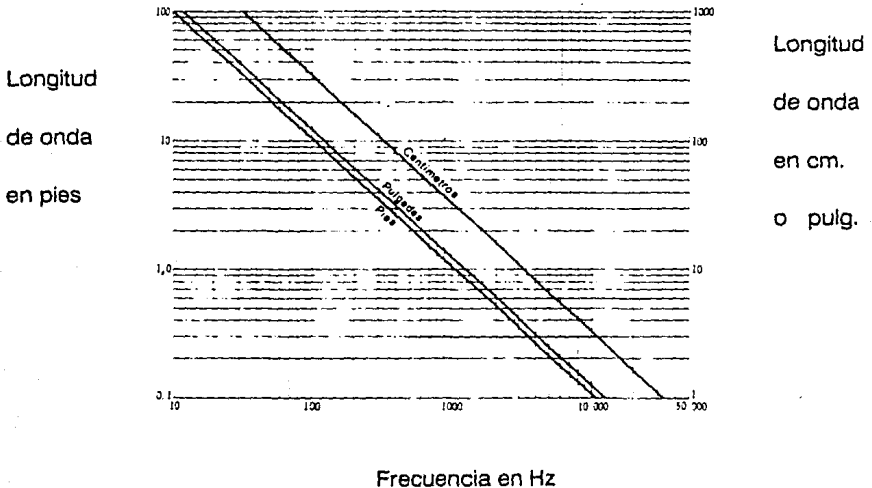


Figura 6 Longitud de onda del sonido en el aire en función de la frecuencia. Temperatura 20 gradosC a 760 mm de presión

## FACTOR DE VIVEZA

Este término está asociado con la viveza o brillantez de un auditorio o sala de grabación. Vivo es el sonido que proviene directamente de la fuente y el reflejado indirectamente. Cuanto más sonido se ha reflejado, mayor es la vivez de la estancia. La viveza es en ocasiones artificial, creando la ilusión de que el programa se oye en un gran auditorio.

La viveza se calcula de la siguiente forma:

$$L = \frac{1.000T^2 D^2}{V}$$

L = Viveza

T = Tiempo de reverberación de la sala en segundos

D = Distancia desde la fuente sonora al observador en pies

V = Volumen de la sala en pies cúbicos

Otra de las principales características que debemos tomar en cuenta, es que el sonido en el espacio libre sigue una ley cuadrática inversa: Esto es debido a que la intensidad del sonido varía con el cuadrado de la distancia, si un observador se desplaza el doble de la distancia desde la fuente de sonido, la intensidad disminuirá a una cuarta parte de la intensidad inicial. Si la distancia aumenta 10 veces, la intensidad se reducirá a una centésima parte de la intensidad inicial.

Esta relación existe debido a que el área cubierta por la onda sonora aumenta como el cuadrado de la distancia. La energía sonora es repartida sobre una área mayor, por lo que ésta decrece inversamente en la misma cantidad.

Otro de los efectos del sonido, importante a considerar, es el efecto doppler, el cual es considerado como el cambio en altura de tono de un sonido escuchado por un observador cuando la fuente de sonido está en movimiento. Observamos un ejemplo de este efecto cuando un tren se aproxima a un observador emitiendo su silbido. La sonoridad y la altura de tono del sonido aumentan conforme se acerca el tren y dis-

---

minuye cuando se aleja éste. La altura de tono y la intensidad caen rápidamente hasta que el sonido se desvanece totalmente.

El aumento de la altura de tono se debe a la comprensión de la onda sonora como resultado del movimiento hacia adelante del tren que se añade a la velocidad de la onda sonora.

Cuando el tren se aleja del observador, la altura de tono decrece debido a que la velocidad de recesión se resta de la velocidad normal de la onda sonora, resultando una altura de tono menor.

Como deseamos lograr una buena reproducción de sonido, necesitamos analizar el elemento a reproducir, puesto que sólo sabiendo sus características reales, podríamos emplear los elementos necesarios de sonorificación que no limitarán a éstas para así obtener una reproducción bastante aceptable.

Entre las características principales tenemos el margen de frecuencia, así como la consideración de sus armónicos, otra característica importante de los instrumentos, es la intensidad que éstos manejan, por ejemplo, podríamos mencionar los niveles de intensidad de algunos instrumentos musicales utilizados en una orquesta con respecto al umbral de escucha:

Piano	60 a 100 dB
Organo	35 a 100 dB
Tambor bajo	35 a 115 dB
Trompeta	55 a 95 dB
Violín	42 a 95 dB
Tambor metálico	30 a 110 dB
Címbalo	40 a 110 dB

Tabla 4 Intensidades medidas a una distancia de 10 pies desde el instrumento (32.8 m)

Tabla 5 Potencias de pico en watts alcanzadas por los instrumentos de una orquesta.

Tambor bajo de 36 pulgadas	24.6 Watts
Címbalo de 15 pulgadas	9.5 Watts
Tambor con tirantes de cuerda	11.5 Watts
Piano	0.267 Watts
Pícolo	0.084 Watts
Bolina Francesa	0.053 Watts
Violín	0.025 Watts

Como podemos observar, un tambor bajo genera una potencia de pico de 25 watts, mientras que un violín genera únicamente 0.025 Watts. Lo cual muestra la necesidad de un amplificador de alta potencia para excitar el sistema de alta voz si se desea que el material grabado sea reproducido con realismo y baja distorsión. Como podremos notar, el tambor bajo es un sonido de muy baja frecuencia mientras que el violín es un sonido de alta frecuencia, por lo cual ambas frecuencias deben reproducirse en su correcta perspectiva cubriendo un margen de frecuencia de 30 a 10,000 Hz. Frecuentemente los equipos de alta calidad dividen mediante crossovers activos, el rango de frecuencia y así de esta manera, emplean amplificadores con características favorables para determinados rangos de frecuencia.

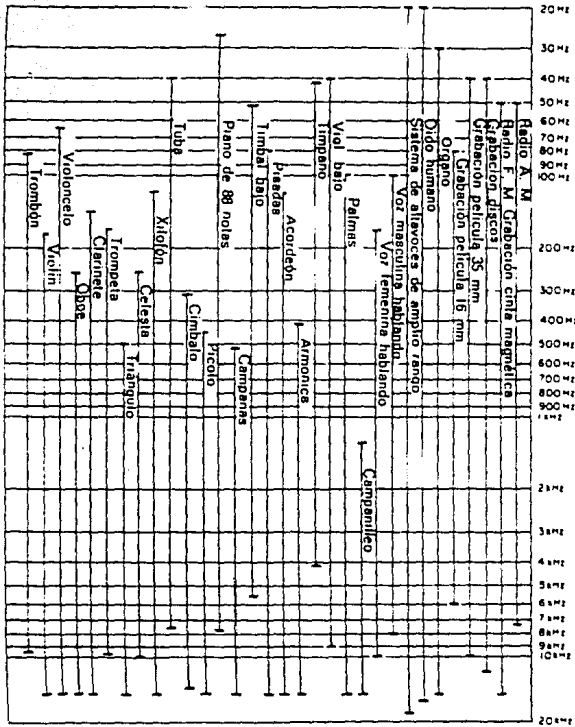


Figura 7.- Márgenes de frecuencia necesarios para la reproducción realista de varias fuentes de sonido



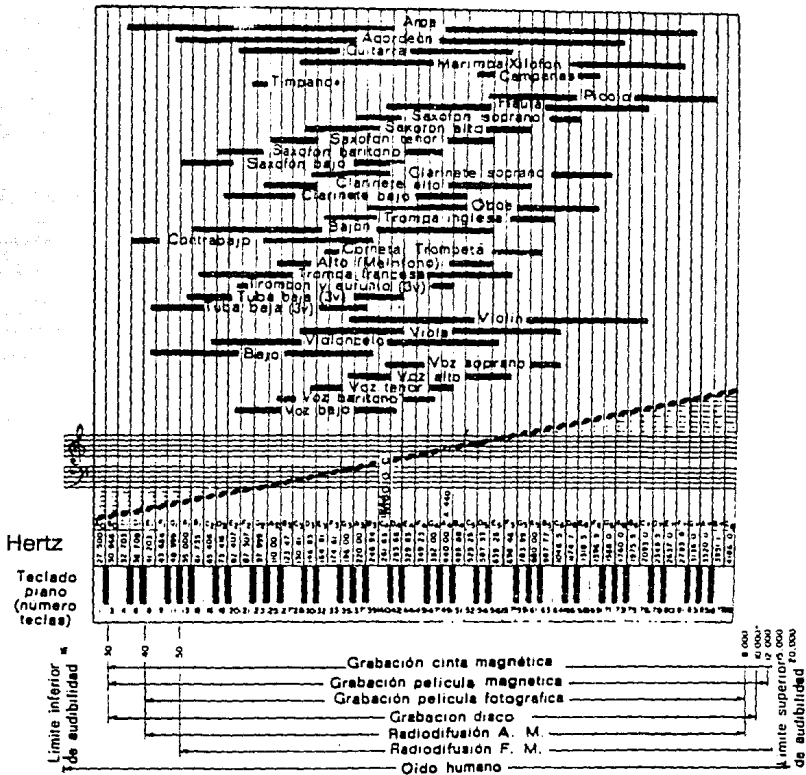


Figura 8.- Relación de frecuencias.

En la actualidad existe gran número de recintos acústicos, los cuales utilizan diferentes tipos de unidad sonora para diferentes rangos de frecuencia y así lograr una mejor reproducción, puesto que es realmente difícil para un solo altavoz, responder de manera satisfactoria a los diferentes valores de frecuencia.

Como podremos notar, el margen de frecuencia empleado para la reproducción de la palabra, es de 100 a 6,000 Hz, con un margen de volumen de 40 dB, mientras que para la música es de 40 a 15,000 Hz con un margen de volumen de 70 dB. La mayoría de los sistemas de audio diseñados para una reproducción de alta calidad, crean un rango más amplio alcanzando hasta 20,000 Hz y algunos se extienden hasta 100,000 Hz; debido a esto, nos cuestionamos por qué un margen de frecuencia tan amplio y esto se debe a que es útil reproducir las frecuencias inaudibles, las cuales batan con frecuencia de margen audible, produciendo frecuencias suma y diferencia. Estas frecuencias añaden realismo a la reproducción, sin embargo, para usar bandas de frecuencia anchas, la distorsión armónica y la intermodulación, debe reducirse a valores despreciables. También la distorsión debida a la desviación de fase, debe ser mínima y la característica de frecuencia uniforme.

Otro factor importante a considerar para poder lograr una buena reproducción, es el margen o rango de amplificación controlado que poseen las cintas, discos y gran número de dispositivos empleados. Como se puede observar según los valores y comentarios realizados, existen sonidos con un valor de amplificación muy bajo mientras que por otro lado, existen otros con muy alto valor; sin embargo, no es posible en muchas ocasiones cumplir con ambos sonidos sin tener por un lado distorsión y por el otro sonidos aleatorios que impidan escuchar el sonido de bajo nivel. Debido a esto, se han diseñado equipos compresores, los cuales centran dentro de un margen de ganancia toda una reproducción sonora para así estar en posibilidad de manejarla con mayor facilidad.

Cuando efectuamos la calibración de algunos dispositivos electrónicos de sonido, así como cuando se realizan las pruebas de éstos, es necesario recurrir a algunas fuentes de sonido con características muy particulares, las cuales nos favorecen el análisis del equipo sonoro. Una de las formas de onda sonora más empleadas, es el sonido rosa, razón por la cual describiré las siguientes tres formas de sonido.

El sonido blanco es una forma de onda compleja en la cual las frecuencias más altas son sucesivamente de menor amplitud, con los frentes de ondas similares a una forma de onda de diente de sierra. El sonido blanco incluye todos los sonidos perceptibles por el oído humano.

---

La forma de diente de sierra de sonido se llama ruido blanco, debido a su analogía con la luz blanca.

Cuando la salida de un generador de ruido blanco se visualiza en un osciloscopio o en un grabador gráfico de nivel, muestra una subida de 3 dB por octava. Para llevar la respuesta a un nivel de igual energía es necesario conectar un filtro de ruido rosa con una característica de frecuencia inversa a la salida del generador de señal. Si ahora se mide la salida se obtendrá uniforme. El único propósito del sonido rosa es el de medición.

En ocasiones podremos oír mencionar el término de sonido negro, el cual se refiere a sonidos inaudibles, es decir, fuera del rango de frecuencias audibles.

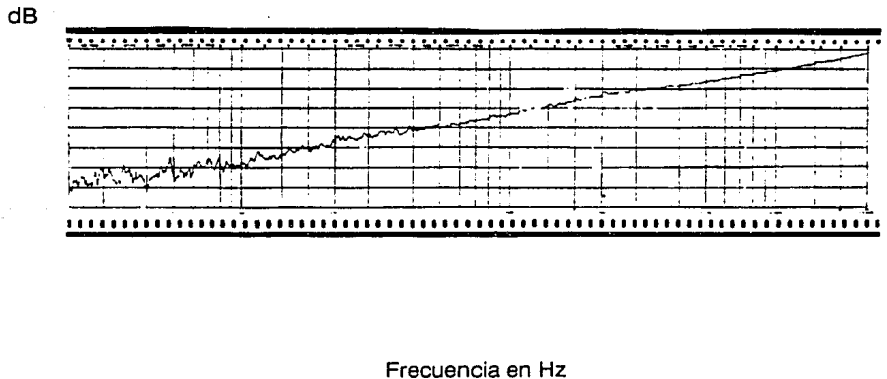


Figura 9.- Salida de un generador de ruido blanco.

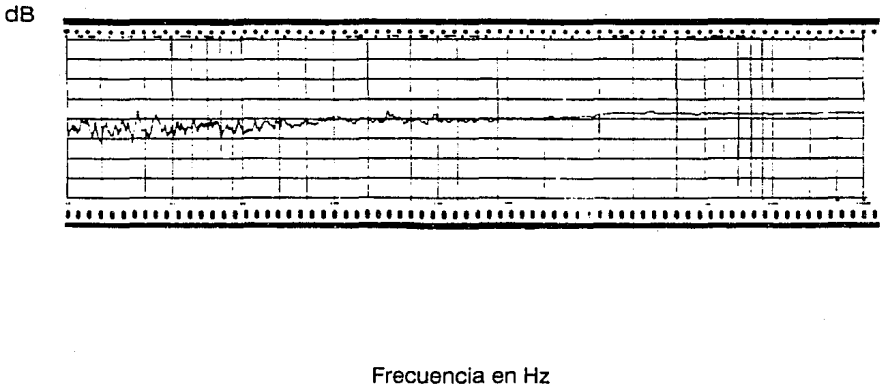


Figura 10.- Salida de un generador de ruido blanco con filtro de ruido rosa.

#### **I.4 ANALISIS DEL TERMINO REVERBERACION**

En la actualidad mucha gente suele confundir los términos resonancia, eco y reverberación, por lo cual diremos que resonancia es la vibración de la estructura misma y no una reflexión del sonido original.

La reverberación se transforma en eco si la reflexión proviene de una superficie lejana para que permita al oído detectarla como un sonido separado con un retraso respecto al original.

##### **Período de reverberación**

Es el tiempo requerido para que el sonido en un recinto caiga hasta una millonésima de su intensidad original o decrezca 60 dB. El tiempo de reverberación de un recinto puede ser calculado por la siguiente fórmula:

$$T = \frac{V \times 0.049}{As}$$

T = Tiempo de reverberación en segundos

V = Volumen del recinto en pies cúbicos

A = Coeficiente de absorción medio del recinto

S = Superficie total en pies cuadrados

El tiempo de reverberación cambia con la frecuencia dependiendo en gran parte de los materiales que cubren el interior del recinto, lo ideal es que sean más o menos uniformes.

En un recinto abierto no hay tiempo de reverberación.

Si las paredes son reflejantes el decaimiento es muy lento. El tiempo de reverberación varía con el mobiliario. En la reverberación el oído no distingue un sonido de otro.

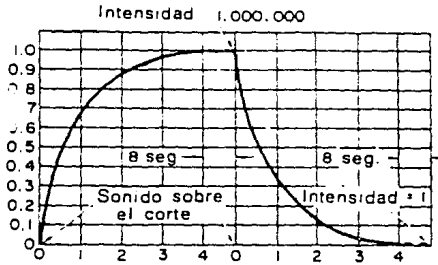
Con el tiempo de reverberación grande se pierde la inteligibilidad de la señal y se tienen sonidos traslapados. Por otro lado, para un tiempo de reverberación bajo se escucha con claridad pero el sonido es seco, carece de viveza y por lo general es desagradable.

El eco es la repetición de un sonido causado por reflexiones desde una superficie. Para ser un eco el sonido reflejado, debe estar retrasado del sonido original al menos 1/20 de segundo. La diferencia entre tiempo de reverberación y eco es que en el primero el oído no distingue un sonido de otro.

La figura 11 nos muestra un oscilograma de una caída grabada en un recinto, puede observarse que la disminución de amplitud con el tiempo sigue aproximadamente la curva media de la mitad de la segunda figura pero con una gran fluctuación posterior.

---

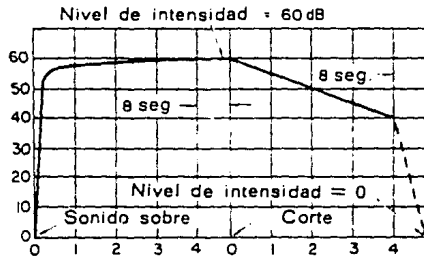
Intensidad  
10 (-6)



Tiempo en segundos

Figura 11.- Curva de caída típica, tiempo en función de intensidad.

Nivel de  
intensidad  
dB



Tiempo en segundos

Figura 12.- Curva representativa del tiempo en función de la intensidad en decibeles.

La reverberación tiene un efecto considerable sobre la palabra, puesto que puede producir corrimiento sobre las sílabas provocando así inteligibilidad en el mensaje; sin embargo, un poco de este efecto podría ayudar a la reproducción sonora de un cantante.

Tiempo de reverberación de un recinto.- Si multiplicamos el área de cada superficie del recinto por su coeficiente de absorción y la suma de éste es agregada a la absorción debida a objetos tales como sillas, cortinas, personas, etc., obtendremos el coeficiente de absorción medio.

Material	Coeficiente					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ladrillo rugoso	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Alfombra sobre hormigó	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65
Alfombra con soporte de látex sobre peludo 40 onzas de goma espuma	0,08	0,27	0,39	0,34	0,48	0,63
Bloque de hormigón	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Visillo ligero, diez onzas por yarda cuadrada en contacto con la pared	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Hormigón o terrazo	0,01	0,01	0,015	0,02	0,02	0,02
Madera	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Placa de cristal	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Cristal ordinario de ventana	0,25	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Placa de yeso claveteada con tacos de 2 x 4 separados 16 pulgadas	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,05
Argamasa, yeso o cal, pulida sobre baldosa o ladrillo	0,013	0,015	0,02	0,03	0,04	0,09
Contraplacado 3/8 pulgada	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1	0,11
Aire, Sabins por 1000 pies cúbicos					2,3	7,2
Audiencia sentada en butacas forradas, por pie cuadrado de area de piso	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Bancos ocupados por pie cuadrado de piso	0,57	0,61	0,75	0,86	0,91	0,86
Sillas metal o madera, asientos desocupados	0,15	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30

Tabla 6.- Coeficiente de absorción para distintos materiales de los laboratorios de Acoustical Materials Association.

Debido al análisis anteriore, podríamos afirmar que existen tiempos de reverberación apropiados para varios tipos de auditorio.

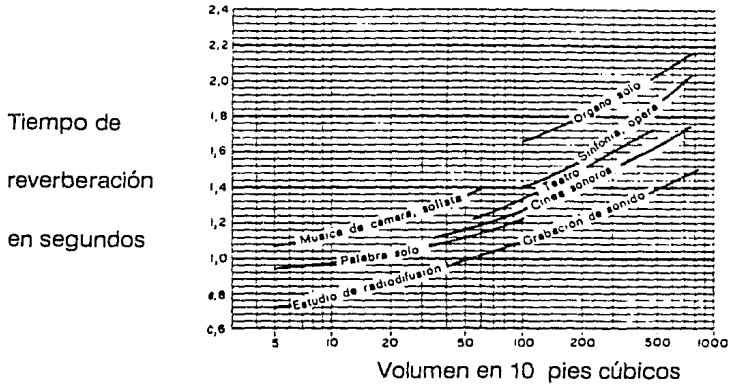


Figura 13 Tiempo de reverberación recomendable para varios tipos de auditorios, a una frecuencia de 512 Hz.

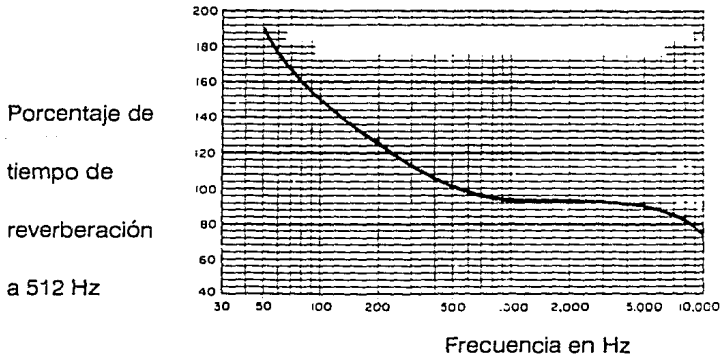


Figura 14 Tiempo de reverberación óptimo para distintas frecuencias.



El tiempo de reverberación óptimo para un recinto de dimensiones dadas está controlado por el volumen del recinto y los factores de absorción de las paredes, techos, piso y otros elementos.

Reverberación artificial en un auditorio y su propósito

El propósito esencial de añadir reverberación a un auditorio o sala, es controlar la acústica electrónicamente y mejorar las características acústicas totales de recinto.

Es muy común en estudios de radio difusión y televisión, tratar adecuadamente al estudio para reducir el ruido creado por el movimiento del equipo y de los actores por la estancia.

Como podemos concluir, para lograr una mejor reproducción sonora con sensación de realidad, es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos. El rango de amplificación, el de frecuencia utilizado y la cantidad de reverberación en cualquiera de sus formas.

Algunas soluciones o propuestas que han sido empleadas para lograr la mejor reproducción de sonido en forma ambiental, han sido procurando mejorar el nivel de amplificación (sobre todo en elementos de grabación que requieran de un grado alto de comprensión).

Otra solución muy empleada ha sido la modificación del sonido mediante la ecualización de la señal provocando así matizar ciertas frecuencias y atenuar otros rangos provocando un sonido más agradable. Esta solución es muy empleada y la observamos en diversos equipos modulares comerciales y profesionales, los cuales contienen ecualizador gráfico y uno o varios filtros como los de graves, agudos, sonoridad, etc. Otra mejora importante consistiría en la utilización de líneas de retardo.

## EL EFECTO HASS

Investigadores de Psicoacústica han realizado estudios desde los años sesentas y setentas, los cuales han concretado en la forma en que percibimos y localizamos los sonidos, determinando que el cerebro ignora gran parte de información, dándole más importancia al primer sonido que escucha en una fracción de segundo, por lo cual la reverberación que llega en este período llamado región de fusión, se une al primer sonido aumentando así los retumbos aparentes.

---

Como resultado de esta fusión percibimos un sonido más fuerte proveniente de la misma dirección de su primer llegada. Mientras que los reflejos que llegan retardados 20 o 30 milisegundos, se comienzan a percibir como sonidos separados, su densidad y valor de decadencia contienen información, la que el cerebro utiliza para medir la naturaleza del espacio acústico empleado

Existen materiales adecuados para disminuir la reverberación, pero si el tratamiento es excesivo y en algunos auditorios lo es, la reproducción del sonido será anodina para los oyentes, teniendo también un pronunciado efecto sobre los músicos, puesto que la reproducción de sus instrumentos no suena normal y esto produce dificultades. Para superar este problema y mantener un tratamiento acústico enérgico, se introduce un sistema electrónico de reverberación utilizado en muchos auditorios y salas musicales con éxito.

A la implementación de equipo adicional con el fin de mejorar las características acústicas o de espacio ambiente, se le denomina ambiofonía. Debido a la infinidad de materiales de construcción disponibles en el mercado, así como los variados acabados y texturas, es conveniente realizar medidas una vez que el recinto acústico, estudio o sala ha sido terminado. Dichas medidas se pueden realizar de diferentes maneras con diferentes equipos, así como distintos métodos por lo cual mostraré tres ejemplos:

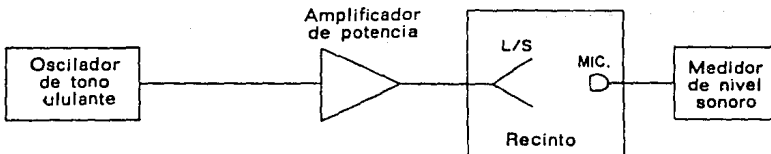


Figura 15 Equipo de medición de características acústicas utilizando un oscilador de tono variable y un medidor de nivel sonoro.

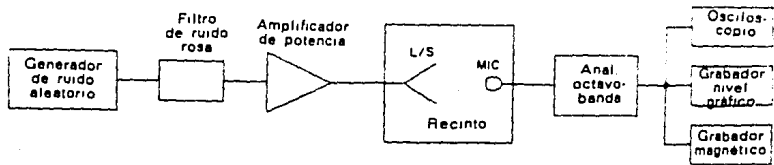


Figura 16 Equipo para medición de características acústicas utilizando un generador de ruido aleatorio, filtro de ruido rosa y analizador de octava.

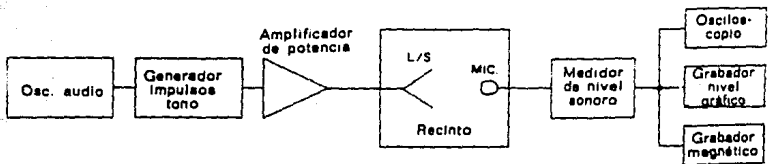


Figura 17 Disponición para realizar medidas de reverberación emplando un generador de tren de impulsos de tono.

## CAPITULO II

### DIVERSOS METODOS DE REVERBERACION

#### FINALIDAD DE LOS EQUIPOS DE REVERBERACION

Existen en la actualidad infinidad de técnicas que han sido propuestas y empleadas a través de las últimas décadas. Dichas técnicas han sido aplicadas en estudios de grabación, salas de audición, sonorificaciones de eventos especiales y en algunas ocasiones, por audioaficionados. En la actualidad podemos observar cómo en algunas ocasiones se emplean más de una técnica para lograr un mejor sonido con sensación de realidad y gran viveza, pero también podemos observar que para el logro de este objetivo no es posible prescindir de los reverberantes.

A través de los años se ha producido reverberación mediante una gran variedad de equipos, por lo que es posible dividir a los sistemas de reverberación en tres.

II.1 Sistemas de reverberación natural

II.2 Sistemas de reverberación mecánicos

II.3 Sistemas de reverberación electrónicos

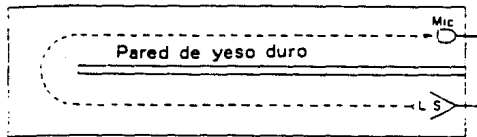
#### II.1 SISTEMAS DE REVERBERACION NATURAL

Dentro de estos sistemas podremos ubicar a las cámaras de reverberación. Una cámara de eco es una habitación altamente reverberante de forma larga y estrecha con paredes duras. En ésta se sitúa un altavoz en un extremo de la habitación y un micrófono en el otro. El sonido a reverberar es enviado al altavoz en un extremo de la habitación y un micrófono al otro. Se toma el sonido por el micrófono y posteriormente es amplificado, ecualizado y mezclado con el programa original, debido a las duras paredes se producen múltiples ecos de reflexión.

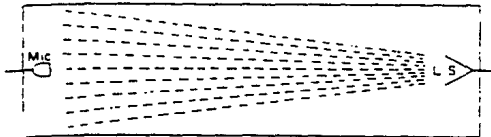
---

En la figura 18 se muestran diseños diferentes de cámaras de ecos:

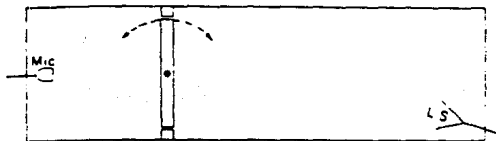
En la figura 18A el micrófono está separado del altavoz por una pared a lo largo de casi toda la habitación para asegurar los resultados deseados. En la figura 18C se ha instalado una pared móvil en el centro de la habitación que se controla a distancia para alterar la longitud del período de reverberación. En la figura 18D se muestra una



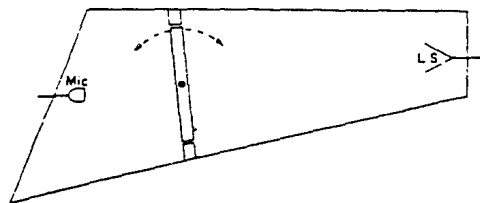
18A



18B



18C



18D

Figura 18 Cámara de Eco

habitación construída de manera similar excepto que las paredes final y lateral forman un cierto ángulo.

### **II.1.2 Construcción de una Cámara de Eco**

Dentro de la construcción de una cámara de eco existen dimensiones y características favorables, por ejemplo:

Las dimensiones interiores longitud 18 pies (5.48 m), ancho 15 pies (4.57 m), altura del techo 12 pies (3.65 m), Contando con alrededor de 3,200 pies cúbicos (91 m<sup>3</sup>) proporciona un tiempo de reverberación aproximado de 3.8 segundos. El piso deberá ser de cemento pulido y las paredes enyesadas, lisas y duras. El techo no debe ser paralelo al piso, el altavoz debe ser móvil y utilizarse micrófonos con diferentes características de grabación para asegurar el efecto deseado. Sin embargo, lo más conveniente para trabajar es una habitación con el micrófono y altavoz fijos y una pared móvil. Como se observa en la figura 18, las cámaras de eco se pueden construir de diferentes formas. La cámara de eco ideal está construída con paredes de hormigón armado de 6 pulgadas (15.24 cm). Para que una cámara de eco sea buena debe tener un mínimo de 2,500 pies cúbicos (70.7 m<sup>3</sup>). Según estudios realizados.

Una cámara anecoica es un recinto en el cual el sonido reflejado es despreciable, dichas habitaciones o unidades son utilizadas para medir características típicas de micrófonos, altavoz y otros transductores.

### **II.1.3 Forma de conexión de una Cámara de Eco en un canal de Grabación**

La salida de la fuente a reverberar está acoplada con un amplificador que excita al altavoz en la cámara de reverberación como se indica en la figura 19.

El sonido reverberado es captado por un micrófono, es amplificado, ecualizado y aplicado a la entrada del canal de grabación a través de un mezclador.

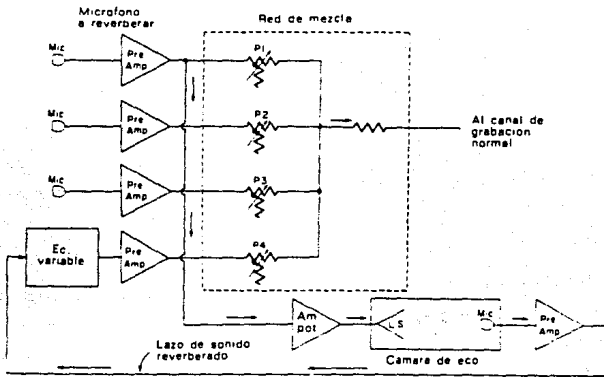


Figura 19 Diagramas a bloques para conectar una cámara de eco a un canal de grabación.

### II.1.4 Tubos de Retardo

El sistema de reverberación basado en tubos de retardo, se clasifica como el sistema anterior a los sistemas de reverberación mecánica debido a su pequeña complejidad de funcionamiento.

El sistema consta de tubos de una pulgada (2.54 cm) o mayores, variando desde 25 a 100 pies (7.62 a 30.48 m) de longitud. En los primeros días de la radio, estos sistemas se construyeron doblando los tubos en círculos de varios pies de diámetro y situando micrófonos a intervalos de 25 pies para conseguir los tiempos de retardo. El sonido se introducía en un extremo del tubo utilizando una unidad excitadora de tipo de trompeta para una distancia de 50 pies (15.24 m), el retardo es de 1/20 de segundo y 1/10 para 100 pies. La desventaja de este método es la gran pérdida de altas frecuencias y la calidad de ecualización y amplificación que se requiere para devolver la señal a aquel punto donde se alcanza buena inteligibilidad. Debido a la corta duración de la reverberación, la señal tomada por los micrófonos se debe realimentar a la fuente excitadora y en consecuencia se crean múltiples retardos. Para un tubo de 50 pies de longitud, la pérdida a 5,000 Hz es aproximadamente de 23dB y para uno de 100 pies es de 45dB, debido a estos problemas este sistema no fue muy utilizado.

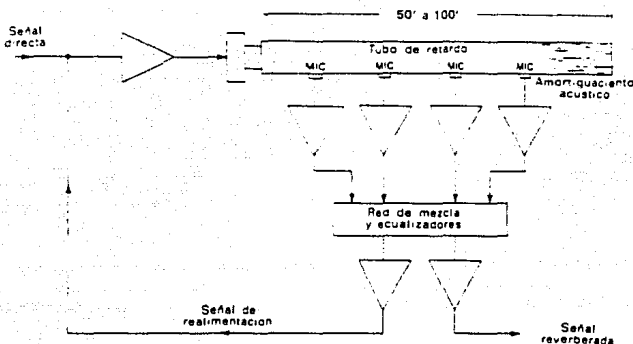


Figura 20 Tubo de retardo

## II.2 SISTEMAS DE REVERBERACION MECANICOS

Este tipo de dispositivos constan de elementos que se desempeñan o activan de manera mecánica para así proporcionar la reverberación siendo auxiliados como todos los sistemas anteriores, por transductores como micrófonos y altavoces. Dentro de estos sistemas encontramos las unidades a base de placas metálicas elásticas, así como unidades a base de resortes de acero.

### II.2.1 Construcción de una unidad de reverberación empleando resortes de acero.

Las unidades de reverberación con resortes de acero fueron empleadas a menudo en órganos electrónicos y en algunos tipos de unidades diseñadas para utilizarse con receptores de radio. Como he mencionado anteriormente, la reverberación es la prolongación de las ondas sonoras. Mediante reflexiones repetidas y si la reflexión es lo



suficientemente larga como para retrasarse  $1/20$  de segundo, se puede clasificar como eco, el funcionamiento de la unidad de resortes es por medio de reflexiones en una red de muelles de unos 3 pies de longitud. La señal de audio al entrar en la unidad de reverberación, se convierte en energía mecánica mediante una unidad excitadora, la cual es el diseño similar a un altavoz dinámico, pero sin diafragma.

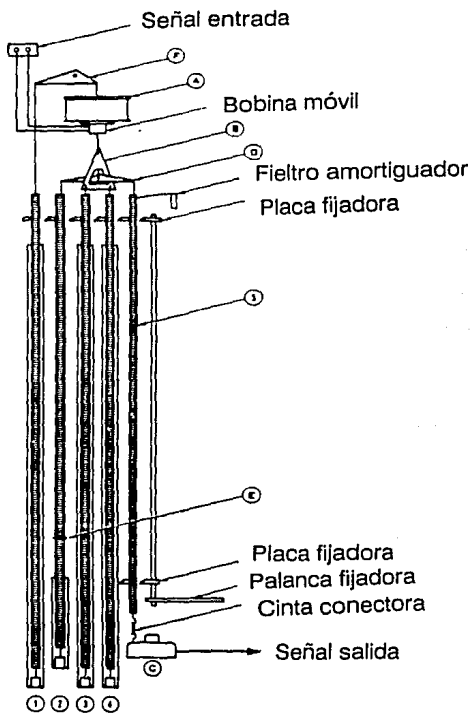


Figura 21 Construcción interior de una unidad de reverberación electromecánica que emplea resortes

La unidad excitadora (A) induce vibraciones en los estribos gracias a su movimiento vertical. Los resortes 3 y 4 mantienen el estribo en posición, pero le permiten moverse en libertad en el plano vertical. El resorte 1 a la izquierda equilibra la tensión de los otros resortes a través del nivel (F) sobre la unidad conductora. Los resortes 1, 3 y 4 están casi enteramente inmersos en aceite, puesto que actúan en gran manera como amortiguadores para estabilizar la respuesta de la unidad conductora y prevenir reflexiones indeseables.

Las ondas sonoras viajan desde el estribo hacia abajo a través del resorte abierto situado a la derecha hasta un captador cerámico (C), donde la señal mecánica se convierte en señal eléctrica y se aplica al preamplificador. La primer señal reflejada está retardada alrededor de  $1/5$  de segundo de la señal original, la cual va directamente al amplificador de salida. La misma forma de onda viaja también hacia abajo a través del resorte 2, el cual entra en un pequeño tubo amortiguador de aceite. Al final de este resorte, la onda se refleja con una intensidad reducida, causada por la acción amortiguadora de aceite. En el estribo el nivel horizontal (D) transfiere la onda al resorte de la derecha 5 y de ahí al captador (C) produciendo un sonido reflejado, el cual está retrasado alrededor de  $1/15$  de segundo de la señal directa. El captador absorbe una pequeña energía y la onda es de nuevo reflejada a través del resorte 5. La primer señal reflejada recurre al resorte 5, es transferida por el nivel (D) y viaja hacia abajo a través del resorte 2 hasta el corto tubo de aceite. Aquí la onda es nuevamente reflejada y reducida en intensidad. Posteriormente retrocede por el mismo camino y produce una tercera reflexión que está  $1/15$  de segundo detrás de la señal directa. La segunda señal reflejada se repite de manera similar, y este proceso continúa una y otra vez dando lugar a una serie de señales separadas  $2/15$  de segundo entre sí, hasta que son disipadas por la fricción del aceite en el tubo corto.

Por encima del tubo corto de aceite está situado un pivote reflector (E) adosado al resorte 2, el cual causa una reflexión parcial facilitando la respuesta total. Cuando más alto es el nivel de aceite en el tubo corto, menor es el número de reflexión. Por lo que ajustando el nivel de aceite, se cambia el tiempo de reverberación. Una vez que se ha establecido el nivel de aceite, éste no se cambia y sólo se usan los controles eléctricos para controlar la cantidad de reverberación.

Las ondas se transmiten a través de los muelles, los cuales tiene la propiedad de conducir las ondas sonoras a menor velocidad que la del sonido por medio del aire.

De esta forma puede hacerse un resorte de suficiente longitud para producir un retardo comparable al de un gran auditorio.

---

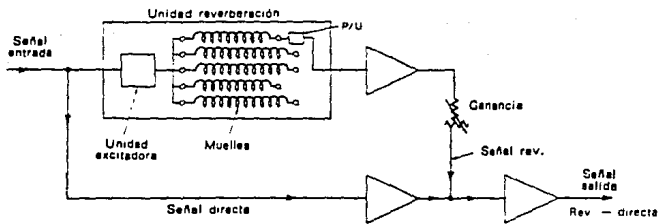


Figura 22 Conexión externa para una unidad de reverberación electromecánica

### II.2.2 Construcción de una unidad de reverberación utilizando una placa metálica.

Debido a las limitaciones y problemas que presentan los distintos métodos mencionados anteriormente y el espacio requerido para construir una cámara de eco, se han desarrollado otros medios para la generación de reverberación sintética controlada dando así origen a la producción de modelos avanzados de placas metálicas.

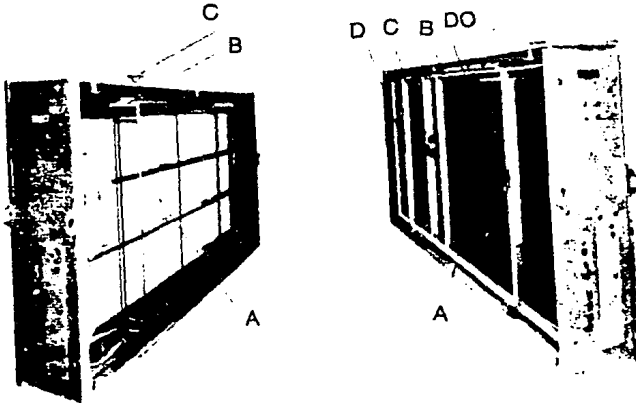


Figura 23 Unidad de reverberación fabricada por EMT en Alemania.

La unidad se emplea para reproducción monofónica o estereofónica.

## DESCRIPCION DE LA UNIDAD ESTEREOFONICA EMT

Esta unidad utiliza las propiedades físicas del metal para conseguir su efecto por medio de placas de acero templado especialmente seleccionadas. La placa se excita mediante un actuador que da lugar a oscilaciones que producirán reflexiones, las cuales aumentan en densidad con el tiempo. Las reflexiones en una cámara tridimensional tal como una cámara de eco, se hacen más densas en función del cuadrado del tiempo. Comparando los dos sistemas, el oído humano es incapaz de distinguir entre estos dos modos de funcionamiento.

Con el acero apropiado y buscando las dimensiones críticas, es posible producir una placa que tenga el número apropiado de oscilaciones. La longitud y respuesta en frecuencia del tiempo de retardo produce un efecto de reverberación artificial que es comparable al obtenido con una cámara de eco convencional.

El componente principal es una placa de acero de 1/32 de pulgada (0.74mm) suspendida en sus cuatro esquinas por un alambre de acero tensado en una entrada tubular de acero. En el frente paralelo a la placa de acero, hay una placa de fibra de vidrio suspendida sobre un mecanismo pantógrafo para permitir el movimiento acercándose o separándose de la placa de acero. En una posición de 1/8 pulgada (3.17 mm) de la placa. El tiempo de reverberación se reduce a 1 segundo a 500 Hz. En ningún momento la placa de material absorbente debe entrar en contacto con la placa de acero. El movimiento de la placa amortiguadora debe realizarse mediante un mando manual (C) o utilizando un control remoto desde la consola de mezcla. El tiempo de reverberación se indica en fracciones de segundo en un medidor situado en la consola.

Al seleccionar el material de la placa debe tenerse en cuenta su amortiguamiento interno y la reverberación resultante. Las pérdidas en la placa se originan por la adición de las partes dependientes e independientes de la frecuencia, las cuales son provocadas por la pérdida de conductividad de calor de los métodos de doblado.

Para las altas frecuencias predominan las partes independientes de la frecuencia. Para las frecuencias bajas y medias predominan las partes dependientes de la frecuencia, puesto que la velocidad de fase del método de doblado de la placa en el margen completo de frecuencias es menor que la velocidad del aire. El amortiguamiento de la placa a través de la radiación ampliamente reducida de sonido de aire libre, se puede despreciar cuando comparamos con otras causas de amor-

---

tiguamiento. El amortiguamiento es casi directamente proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional al grosor de la placa.

La placa es de acero tratado en frío de aproximadamente 3 pies x 6 pies x 1/64 de pulgada (0.9 m x 1.8 m x 0.39 mm) de grosor causando un retardo de alrededor de 5 segundos a una frecuencia de 500 Hz.

La placa debe ser extremadamente plana. En referencia a la figura 23, el entramado tubular que soporta la placa tiene tres puentes transversales; uno lleva la unidad excitadora de la bobina móvil (C), mientras los otros dos llevan dos micrófonos de cristal o unidades de captación (D y DD). El entramado soporta también el mecanismo de amortiguamiento para controlar la longitud del tiempo de reverberación como se muestra en el siguiente esquema.

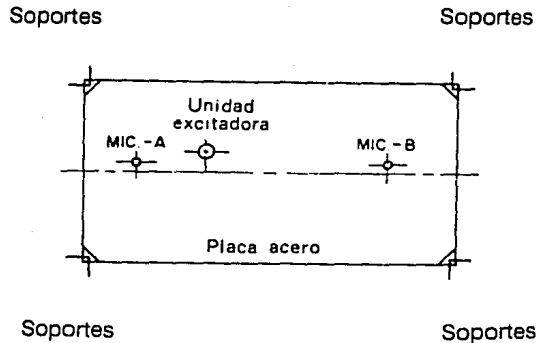


Figura 24 Ubicación de los micrófonos y la unidad excitadora de una unidad estereofónica EMT Modelo 140 ST.

La placa de acero se excita con una señal de audio aplicada a la unidad excitadora, la cual es similar en construcción a un altavoz dinámico, pero sin diafragma. La señal reverberada es captada por los micrófonos de contacto (D y DD), puesto que estos micrófonos son sensibles a la aceleración. Su tensión de salida sube a las bajas frecuencias alrededor de 250 Hz, permanece constante hasta 900 Hz y cae en razón inversamente proporcional a la frecuencia.

La frecuencia de resonancia de los micrófonos es buena más allá de 20,000 Hz. La capacidad interna del micrófono de cristal es aproximadamente de 500 pF. En la figura 25 se presentan los modelos de vibración producidos en una placa por una unidad monofónica.

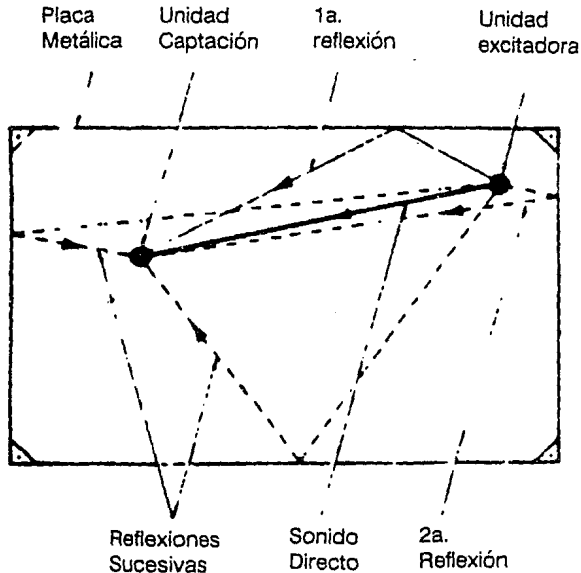


Figura 25 Caminos de reflexión en la placa de acero de una unidad de reverberación monofónica EMT 140.

A la frecuencia de 1 KHz, la duración del viaje entre la unidad excitadora y el micrófono, es alrededor de  $6 \times 10^{-13}$  segundos, que es el tiempo en que una onda sonora recorre en el aire 6 pies (1.8 m), debido a este corto tiempo de desplazamiento de las ondas, las sucesivas repeticiones se siguen rápida secuencia aumentando con el tiempo el número de reverberaciones.

Quando añadimos reverberaciones a las grabaciones, se debe cumplir con dos condiciones por separado; primera debe de separarse de la señal estéreo su componente directa y, segunda, ello no debe afectar adversamente la información significativa contenida allí. Para lograr este fin, se hace uso de un canal llamado "M", el cual está formado por la suma de dos señales estéreo, de acuerdo con la fórmula  $A + B = M$ . Esto se consigue alimentando una parte de la señal de salida no reverberada a los micrófonos D y DD a través de redes de aislamiento, a una vía común. Para señales grabadas compatiblemente, esta suma de señales D y DD en un canal "M" produce una señal monofónica que contiene toda la información de las dos señales estereofónicas. Las dos señales reverberadas de los micrófonos son incoherentes y no guardan relación. Este es un factor importante, pues las dos señales resultantes estéreo, deben tener entre ellas un contenido informativo y direccional distribuido estadísticamente. La respuesta en frecuencia del tiempo de reverberación, sin amortiguamiento adicional, corresponde aproximadamente al de una iglesia con paredes de piedra, vacía o alrededor de 5 segundos a 500 Hz. En el extremo de las bajas frecuencias hay una subida y hacia las altas una caída de alrededor de 1.5 segundos por encima de 10,000 Hz.

El amplificador excitador se debe diseñar para que los armónicos de tercer orden no excedan de 0.6 por 100 para un nivel de pico de 1.55 volts a la entrada utilizando ruido blanco a través de un filtro de 1/3 de octava. Esto toma en cuenta la distorsión estadística de potencia de la modulación del sonido, la cual normalmente cae hacia las altas frecuencias. La relación señal a ruido medida a la salida de un preamplificador de micrófono de contacto utilizando una frecuencia de referencia de 300 Hz con un tiempo de reverberación de 2 segundos es mayor de 60 dB.

Varias de estas unidades se pueden instalar en una habitación sin posibilidad de interferencia, prácticamente sin radiación de sonido. El nivel de ruido de la habitación no debe exceder de 40 dB. Para eliminar los ruidos de baja frecuencia transmitidos a través de la estructura, las unidades deben colocarse sobre montajes elásticos, separados alrededor de 1 pie.

---



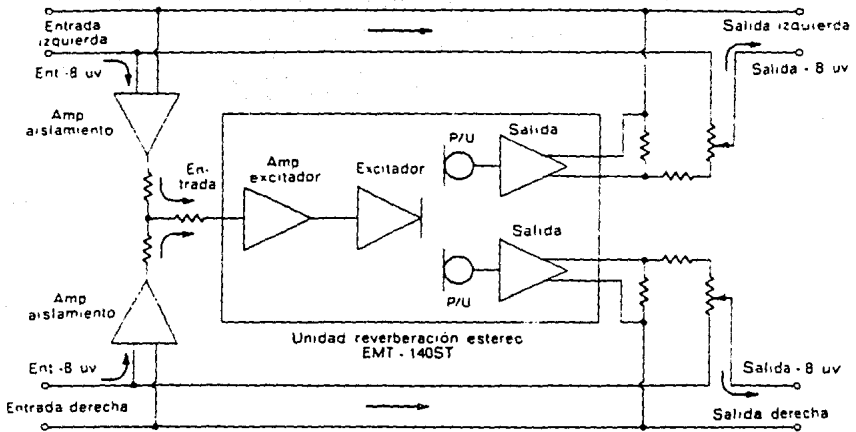


Figura 26 Diagrama de la conexión interna y externa para una unidad estereofónica y su equipo asociado.

1. 4.5 Segundos de tiempo de reverberación
2. 2 segundos de tiempo de reverberación
3. 1 segundo de tiempo de reverberación.

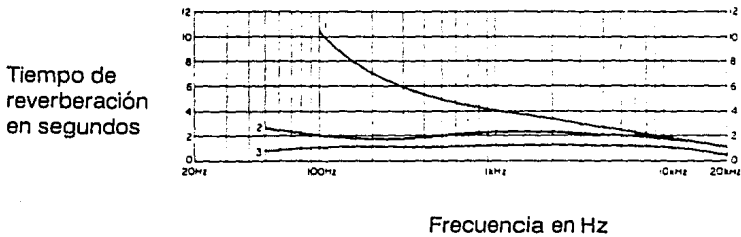


Figura 27 Tiempos de reverberación en función de la frecuencia pra varias distancias entre la placa de reverberación y la de amortiguamiento.

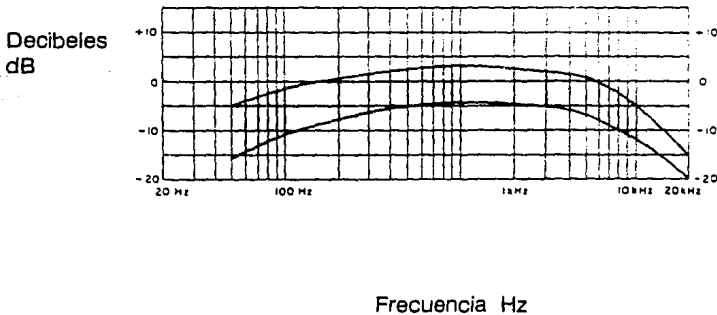


Figura 28 Tolerancia de frecuencia empleando un generador de ruido blanco y un filtro de 1/3 de octava para un tiempo de reverberación de 2 segundos con un generador de tono variable de 25 Hz.

Este tipo de unidades son montadas dentro de cajas de madera, teniendo un peso aproximado de 400 libras (181.4 Kg).

### II.2.3 Unidad de Retardo Magnético

En las salas de audición y espectáculos (teatros y cines) fueron utilizadas unidades magnéticas de retardo para inducir un retardo de tiempo entre las áreas de sonido original y las de audición. Las unidades de retardo se utilizan para eliminar la confusión o la interferencia. Fundamentalmente el dispositivo consiste en una grabación de cinta magnética utilizando un bucle continuo de cinta, que es borrado inicialmente y luego grabado. Las cabezas de reproducción se colocan a lo largo de la trayectoria del bucle de cinta, y la señal grabada es captada a diversos intervalos, induciendo un retardo entre el sonido original y el sonido reproducido. Por ejemplo, supongamos que no es posible cubrir toda la superficie de la planta de un gran teatro o auditorio que tenga un anfiteatro con un solo altavoz o un grupo de ellos concentrados en un solo punto. Los altavoces colocados sobre el escenario a cierta altura, se pueden ajustar para que cubran la mayor parte del suelo y el anfiteatro con la mínima realimentación acústica. Sin embargo, no cubrirán la superficie que hay debajo del anfiteatro, instalando altavoces a los lados del escenario, sólo se aumenta la realimentación acústica. Esta dificultad se puede solventar colocando varios altavoces debajo del anfiteatro. En este caso el cubrimiento de la pared posterior será satisfactorio, pero existirá un área de confusión e inteligibilidad cuando los altavoces del escenario y los que hay debajo del anfiteatro tengan el mismo nivel de potencia sonora; la causa de esto es que el sonido de los altavoces del escenario está retrasado y llega con un retardo considerable después de que se oye el sonido de los altavoces situados debajo del anfiteatro. Esta condición se puede remediar retrasando el sonido emitido por los altavoces que hay debajo del anfiteatro hasta 50 milisegundos con respecto al tiempo que tarda el sonido en llegar a la parte anterior del anfiteatro desde los altavoces del escenario.

Las cabezas de grabación y de reproducción por lo general se pueden ajustar para un tiempo de retardo de 25 a 180 milisegundos en 60 Hz. Este bucle de cintas proporciona aproximadamente 20 horas de servicio a 30 pies o aproximadamente 8 hrs. a 90 pies.

Como podemos observar, el efecto de esta unidad es la repetición de la lectura, la cual está siendo reproducida con un tiempo de diferencia mínimo y controlado por lo que se puede concluir la siguiente fórmula:

---

$$t_d = D/v_c$$

$t_d$  = Tiempo de retardo

$D$  = Distancia entre las cabezas

$V_c$  = Velocidad de la cinta

Múltiples repeticiones se pueden obtener realimentando parte de la salida de la cabeza de reproducción a la entrada de la grabadora. Así, la primera repetición se graba nuevamente, se retarda y se reproduce. Mediante una resistencia variable  $R$ , se podría controlar el número de repeticiones que dependerá de la cantidad de señal reproducida que se realimenta a la entrada de la grabadora.

Cuando las repeticiones son muchas, la señal gradualmente se deteriora, debido a que cada ciclo de grabación y reproducción adiciona una pequeña distorsión y ruido de cinta, por otra parte, al regresar excesiva señal a la entrada, se genera una oscilación.

Entre las ventajas de este equipo se encuentra el poder obtener tiempos entre las repeticiones iguales o mejor dicho, muy controlables.

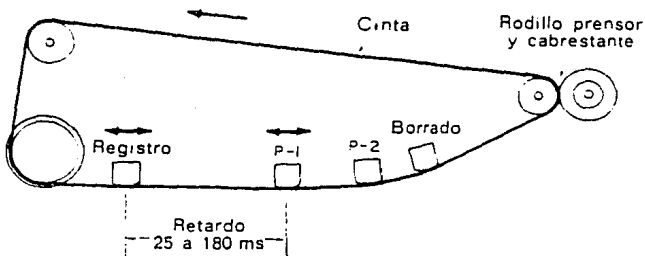


Figura 29 Sistema de transporte y disposición de las cabezas para unidad magnética de retardo.

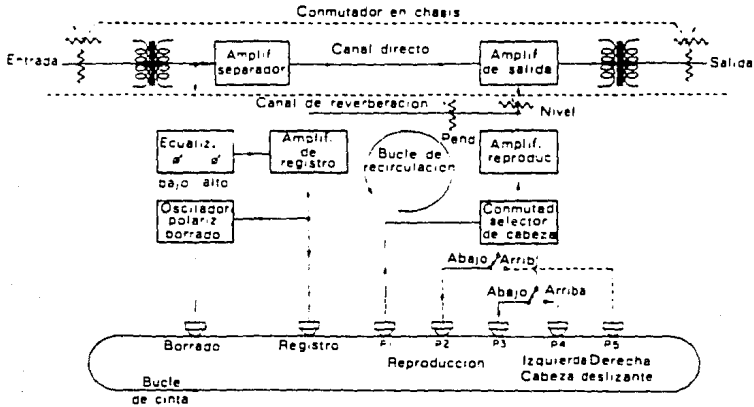


Figura 30 Diagrama de unidad magnética de reverberación, Audio Instrument.

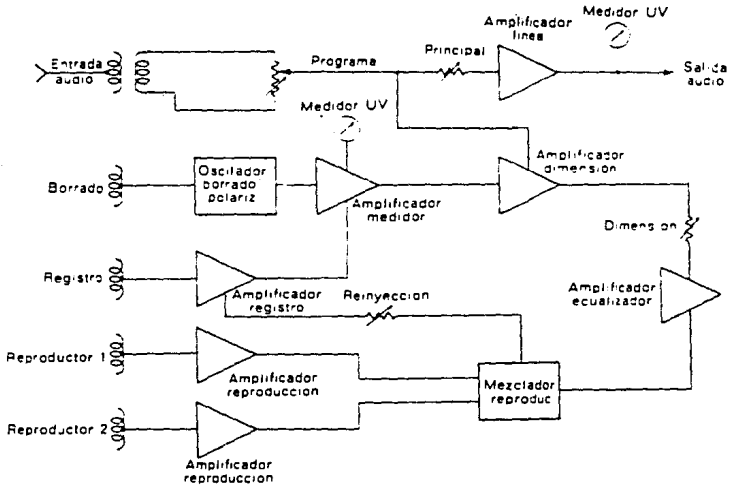


Figura 31 Diagrama de la unidad de reverberación Bauer Electronics Co de cinta magnética.

## II.3 SISTEMAS DE REVERBERACION ELECTRONICOS

A partir de los comienzos de los años setentas y debido al desarrollo de los componentes electrónicos, comienza a surgir un cambio importante en los diseños de sistemas de reverberación, puesto que en años anteriores las únicas unidades disponibles eran las mencionadas anteriormente y a pesar de los buenos servicios prestados estaban sujetas a numerosos inconvenientes, tales como: sensibilidad a las vibraciones mecánicas, tiempo de retardo fijo, respuesta en frecuencia irregular y limitada así como su elevado costo y gran complicación para obtener buenos servicios. Sin embargo, debido al avance de la tecnología electrónica, se ha hecho posible la realización de sistemas de reverberación totalmente electrónicos e inclusive con gran sencillez, bajos costos y grandes beneficios.

Como hemos podido observar, el audio aficionado día a día va ganando terreno en la disponibilidad de sistemas de alta calidad y grandes prestaciones, las cuales no se consideraban en los grandes estudios.

Los sistemas de reverberación electrónicos se pueden clasificar en dos tipos, los sistemas analógicos y los digitales.

### II.3.1 Sistemas de Reverberación Analógicos

Estos equipos se basan en el funcionamiento de los registros de desplazamiento analógico, los cuales son muy conocidos bajo el nombre de "Buketbrigade Memories".

Este nombre es utilizado para hacer referencia a las memorias de transferencia de carga cuyo funcionamiento es comparado con una cadena de hombres pasándose un cubo de agua de uno a otro, siendo los cubos los condensadores y el agua la carga eléctrica que pueden almacenar.

El principio básico de funcionamiento de los registros de corrimiento analógico se compone de un cierto número de condensadores e interruptores electrónicos. Los interruptores se abren y cierran alternadamente por la acción de un generador de reloj bifásico que genera dos señales en oposición de fase. Cuando  $S_1$  a, b, c ... etc. se encuentran abiertos  $S_2$  a, b, c ... etc. están cerrados y viceversa (observar el siguiente esquema). La señal de entrada es aplicada a  $S_1$  a debido a que este interruptor está cerrado, el condensador  $C_1$  se carga al valor instantáneo de tensión que en este momento posee la señal de entrada: dicho de otra forma, se produce un muestreo de la señal de entrada, cuando  $S_1$  está abierto y  $S_2$  cerrado, una parte de la car-

---

ga de  $C_1$  pasa a  $C_2$  a través de  $S_{2a}$ . Cuando  $S_1$  nuevamente se cierra, toma una segunda muestra de la señal, mientras que  $C_2$  transfiere parcialmente su carga a  $C_3$  a través del interruptor  $S_{1b}$  y así sucesivamente.

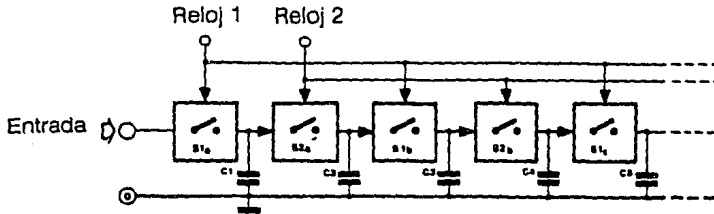


Figura 32 Ilustración del principio de funcionamiento de los registros de desplazamiento.

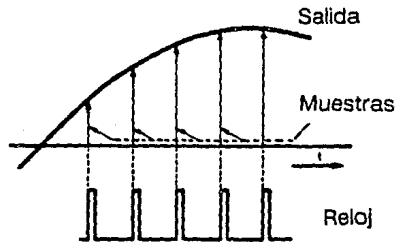


Figura 33 La señal analógica de entrada sufre un muestreo a cada pulso de reloj.

Como se puede observar en la figura anterior, la señal de entrada sufre un cierto número de muestreos que se suceden separados por un corto intervalo de tiempo; estas muestras de la señal de entrada son transferidas a lo largo del registro en forma de paquetes.

El funcionamiento real de un registro de corrimiento analógico es más complicado de lo que muestra la explicación anterior, aunque el principio del mismo sigue ajustándose a la explicación dada. En un registro de desplazamiento (integrado) real, los interruptores son mosfets y los condensadores se encuentran igualmente integrados en el chip.

En la figura 34 se muestra un registro de desplazamiento analógico realizado en base a la tecnología mosfet. La señal de salida del registro de desplazamiento analógico. Se presenta como un tren de impulsos, sincronizado con la señal de reloj, que sigue la envolvente de la señal de entrada. La señal original puede recuperarse mediante un filtro paso bajo que elimina la componente de la frecuencia de reloj.

La teoría de muestreo de señales específica que la frecuencia de reloj debe ser al menos el doble de la frecuencia máxima de la señal de trabajo. Esto es evidente debido a que no se podría filtrar bien la frecuencia de reloj.

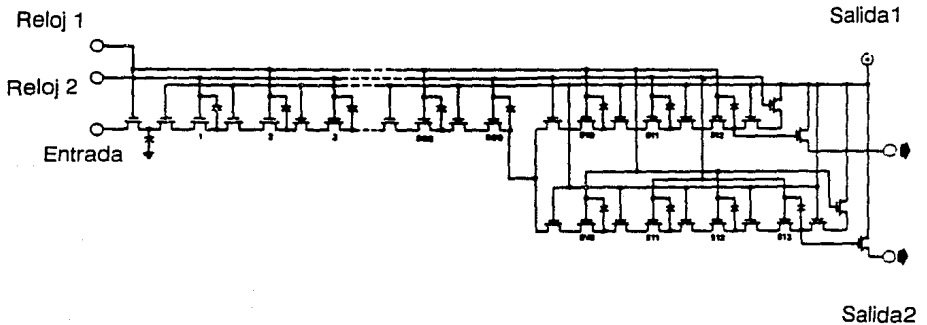


Figura 34 Circuito interno del registro de desplazamiento analógico SAD 1024.



Si no se respetan las condiciones impuestas por la teoría de muestreo de señales, puede producirse un efecto bastante molesto llamado distorsión por desdoblamiento "foldover". Este efecto es debido a las interferencias de la señal de entrada y las frecuencias de la señal de reloj provocándose señales fantasmas en todo el espectro de audio, aunque la señal de reloj sea de frecuencia superior a esta gama y por lo tanto, inaudible.

La duración del retardo producido por una memoria de transferencia depende de dos factores: el número de etapas de la memoria y la frecuencia de reloj. Como la señal se desplaza dos pasos o etapas por cada pulso de reloj, la duración del retardo puede definirse mediante la siguiente fórmula:

$$t = \frac{n}{2 fr}$$

t = duración de retardo

n = número de etapas de la memoria

fr = frecuencia de reloj

Debido a que la frecuencia de reloj debe ser como mínimo el doble del valor de la máxima utilizable en la entrada, el retardo máximo que puede conseguirse es:

$$t = \frac{n}{4 fs \text{ (max)}}$$

Provocando un compromiso entre el retardo máximo y la anchura de banda de la señal, si uno aumenta, el otro debe disminuir, lo cual implica que el ancho de banda de la señal de entrada será ligeramente menor e inferior al espectro completo de audio: siempre y cuando se deseen retardos de longitud razonable con registros no excesivamente largos

Debido a lo anterior, se tendrá una reducción en el ancho de la banda de la señal de entrada, mediante un filtro pasa bajo.

---

---

Los registros de desplazamiento más comunes empleados en los años sesentas, son los denominados SAD.

Dos memorias de transferencia de carga

SAD 1024	512 etapas cada una
SAD 2040	1024 etapas cada una
SAD 4096	2048 etapas cada una

De acuerdo con la fórmula planteada, el efecto de tener un mayor número de etapas podrá aumentar el ancho de banda.

En base a estos circuitos se han realizado diferentes circuitos para aumentar el tiempo de retardo. La primera idea propuesta es la conexión en cascada de estos registros, sin embargo, se ha observado que esto provoca problemas en la relación señal-ruido, debido a que el paso por las otras etapas degradaría aún más la señal aparte de la distorsión por desdoblamiento. Otra idea manejada ha sido aumentar el valor de la frecuencia de reloj, ligeramente superior al doble de la frecuencia máxima de la señal de audio, sin embargo, es difícil filtrar las interferencias del reloj aunque el filtro sea de elevada pendiente, en la práctica es recomendable emplear un filtro mínimo de 48 dB /octava. Se ha obtenido una buena solución a este problema, empleando las dos secciones de registros en modo paralelo multiplexado, lo cual significa que la señal es enviada simultáneamente a las dos entradas del registro conectadas en paralelo, recibiendo cada etapa la señal de reloj en oposición de fase. De esta forma la señal de trabajo se muestrea dos veces por cada impulso de reloj, una para cada registro alternativamente.

Posteriormente, las salidas de los dos registros se mezclan consiguiéndose así una anulación mutua de las dos componentes de la señal de reloj (puesto que están en oposición de fase). La ventaja es el poder anular la frecuencia de reloj, sumando las salidas de las dos últimas etapas de retardo, ya que están en oposición de fase.

Podría parecer que el hecho de mezclar dos memorias en paralelo sólo proporciona el retardo equivalente a 512 etapas (supondremos el ejemplo para el uso del SAD 1024), lo cual es cierto, pero tomando en cuenta que se realizan dos muestreos por cada pulso de reloj.

---

### II.3.2 Sistema de Reverberación Digital

Un sistema de este tipo es un sistema elegante para producir efectos de retraso en la prolongación de señales de audio. En este tipo de aparatos la señal analógica de entrada es transformada en señal digital mediante un convertidor (A/D) analógico/digital. Posteriormente esta señal se envía a un registro de corriente cuya longitud es proporcional al retardo deseado, a la salida del registro un convertidor (D/A). Digital/Analógico se encarga de reconstruir la señal.

Este método presenta algunas ventajas debido a la naturaleza de la señal que se maneja (Digital), la señal que entra en el registro de desplazamiento es igual a la que sale, independientemente de la longitud de éste.

Otra ventaja de tratar con señales digitales es que la única fuente de ruido y distorsión del sistema son los convertidores A/D y D/A, debido a que la señal digital es la misma en todo momento. Como puede suponerse, una vez hecha la conversión A/D, es posible ampliar la línea de retardo a voluntad, tan solo con añadir más registros de desplazamiento. Estas cualidades hacen de la línea de retardo digital, el dispositivo ideal para producir largos retardos, como el requerido en los efectos de eco, así como también cuando se desea almacenar la información en memoria o procesar para lograr algunos efectos especiales como es en el caso de modernos teclados electrónicos. Debido a lo anterior, es posible considerar el uso de cámaras con líneas de retardo analógicas cuando se trata de tiempos menores de 100 ms, obteniendo buenos resultados a un costo menor y esto es debido básicamente, al hecho de prescindir de los respectivos convertidores A/D y D/A; por otra parte, en estos dos convertidores se obtienen ruidos de cuantificación inherentes a todo proceso de conversión analógico/digital, sin embargo, dichos problemas han sido resueltos gracias al gran avance en la electrónica digital.

## CAPITULO III

### EL PROCESADOR AMBIOFONICO

#### III.1 ORIGENES DEL PROCESADOR AMBIOFONICO

El procesador ambiofónico conocido también bajo los nombres de: Procesador ambiental de sonido, codificador ambiente, "surround processor", "soundfield processor", "acoustics processor", tiene como objetivo mejorar las características del sonido, proporcionando uno o más efectos de espacio ambiente. Dichos equipos tienen sus orígenes en diversas técnicas y métodos empleados a través de los años con la finalidad de mejorar la calidad ambiental de reproducción sonora, tanto en recintos pequeños como en grandes auditorios.

Durante los años cuarentas, el sonido poseía una sola dimensión, es decir monoaural, se manejaba un solo canal pero esta visión fue desechada con la invención del LP con característica estereofónica, siendo éste un paso muy grande en este campo, el cual fue perfeccionado en gran medida durante los años posteriores, es decir, las técnicas de grabación y equipos fueron perfeccionándose en todos sus niveles, tanto domésticos como profesionales. Durante la década de los sesentas, se promovió el empleo o uso de cuatro canales. En septiembre de 1969 Peter Scheiber realizó una contribución importante con su matriz compatible de grabación y reproducción. En los años setentas se vieron gran cantidad de métodos que producían algunos equipos de sonido de cuatro canales. David Hafler ofreció el sistema Dynaquad, el cual requería una mínima inversión adicional para el consumidor en poco tiempo. RCA lanzó al mercado su modelo Q-B para cartuchos de grabación. Sansui reveló el QS matrizado de disco y reproducción. JVC lanzó al mercado el CD-4 equipo de cuatro canales, el cual poseía decodificador para extraer la información de los cuatro canales, mediante matrizado. Por otra parte, Columbia Records y Sony promocionaron el sistema SQ, siendo uno de los mejores diseños

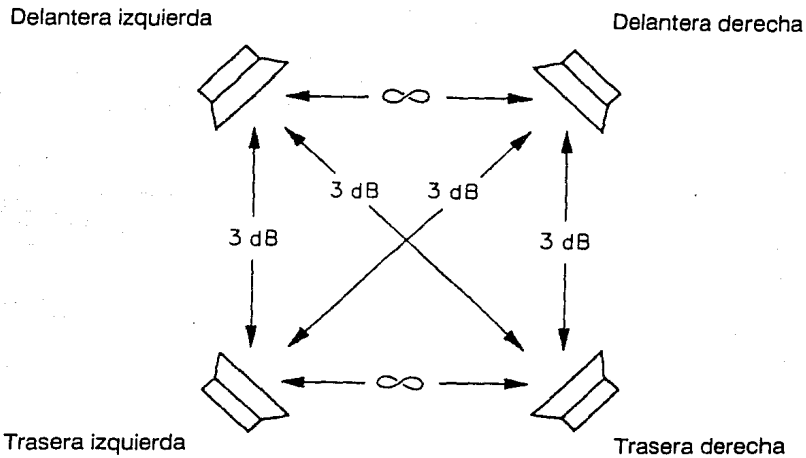


Figura 35 Interconexión del sistema cuadrafónico SQ Matrix.

Durante los años setentas, gran cantidad de artículos discutieron sobre las diversas opciones disponibles.

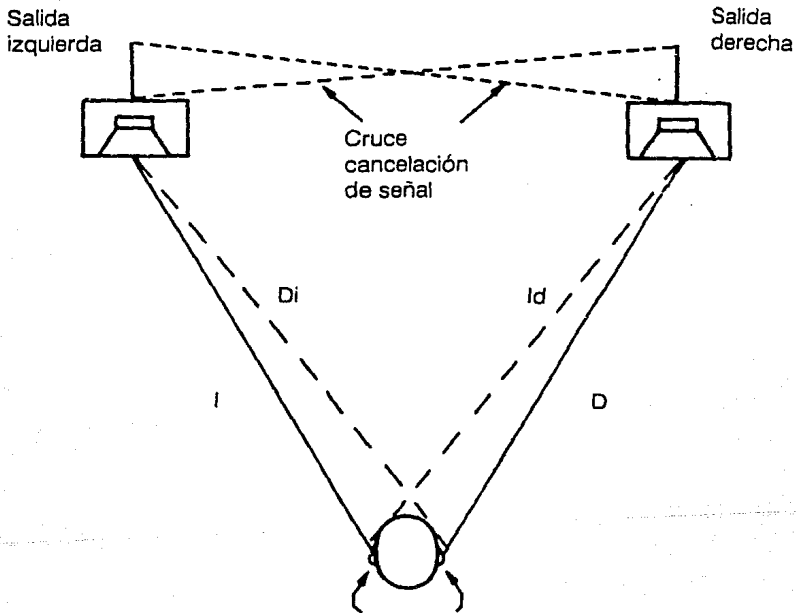


Figura 36

Marzo de 1982  
Sonido Olográfico  
Roberto Caver

En marzo de 1982 Roberto Caver mostró su sonido olográfico, el cual es empleado mediante la alimentación de sonidos cruzados. Para estas fechas Polk Audio introdujo su configuración estéreo dimensional SDA.

Para fines de los setentas y principios de los ochentas, las líneas de retardo fueron surgiendo en sus diversas formas, siendo empleadas para adicionar realidad de ambiente al sonido, dando origen al sonido surround, por lo cual desde esas fechas numerosas películas fueron grabadas en canales izquierdo, derecho, central (delantero), surround (trasero).

En algunas ocasiones se llegaron a reproducir los efectos especiales como sonidos de temblores a través de hasta seis canales discretos, en muchas ocasiones la información fue mezclada con el formato ordinario de pista estereofónica de dos canales. El canal central es matizado de los canales derecho e izquierdo dentro de fase, mientras que el canal surround es matizado hacia los izquierdo y derecho fuera de fase. Debido a esto, parecen tener una cualidad diferente y más aún, cuando en ocasiones agregamos pequeñas cantidades de retardo al canal surround.

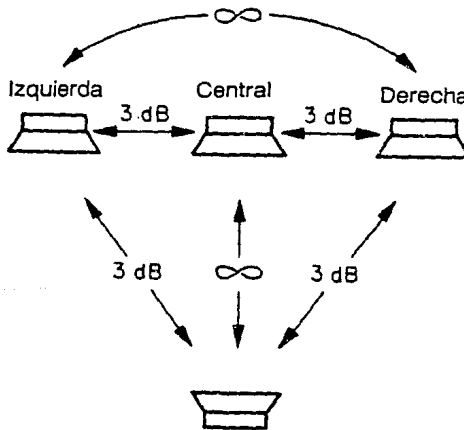


Figura 37 Sistema acústico surround matizado dolby surround

La industria cinematográfica realizó más de 2000 films con dolby estéreo hasta el año de 1975. Más de 13,000 teatros en el mundo poseían equipos para presentar films con sonido surround codificado. El siguiente paso en la evolución del sonido de películas ocurrió en 1981, cuando los laboratorios de Dolby mostraron un circuito práctico para consumidores adaptado al audio de equipos de video comerciales a partir de este momento numerosas películas con sonido Dolby estéreo fueron transferidas a video tapes estéreo, obteniendo así en el sistema casero dolby surround, la misma información y resultados de los cines.

A partir de esta década de mediados y principios de los ochentas, comenzaron a surgir procesadores ambiofónicos con la finalidad de extraer dicha información, posteriormente surgieron modelos con mayor versatilidad agregando retardos al canal trasero surround, haciendo esto mediante procedimientos análogos y más tarde digitalmente, siendo éste el más reciente avance característico de la época de fines de los ochentas, donde las mejoras en todos los campos que abarca la electrónica fueron debidas a la digitalización, es decir, la utilización de circuitos procesadores digitales de señal, así como sus respectivos convertidores como mencioné anteriormente.

### **III. 2 EL PROCESADOR AMBIOFONICO ACTUAL**

Para fines de los ochentas, el desarrollo de procesos digitales comenzó a ser más grande día a día, abarcando más campos, proporcionándonos nuevas y mejores aplicaciones. Debido a este gran desarrollo, los procesadores de sonido, así como sus respectivas funciones, tienen lugar en el dominio de la digitalización sin ningún problema de ruido o distorsión. En el transcurso de estos últimos años, años de 1989 y 1990, han surgido diversos equipos procesadores de ambiente de diferentes marcas, algunos de aplicación profesional y otros de aplicación casera, por lo que considero importante describir algunos de ellos.

Características principales de procesadores ambiofónicos.

Procesador digital Ambiofónico Yamaha DSP-3000.

Este procesador lanzado al mercado a mediados de 1990, nos ofrece 20 sonidos diferentes con una variación total de hasta 35 diferentes señales. En éste se encuentran 17 efectos de ambiente nuevos y su principal aplicación es recomendable en auditorios, teatros y cines. Este equipo no incluye amplificadores de potencia, realiza todos sus procesos en el dominio de la digitalización, posee control remoto y un costo de 1,899 dólares, (Diciembre 1990).

---



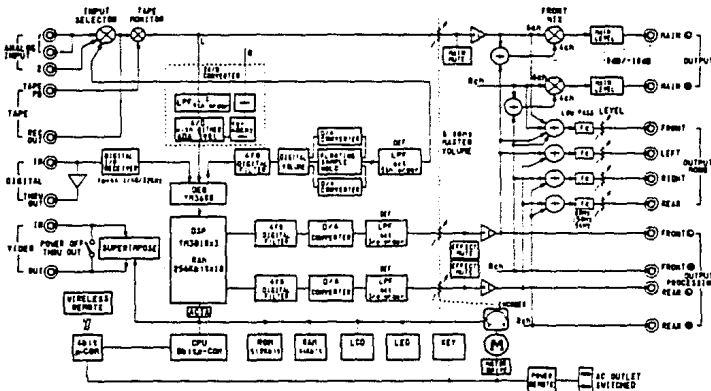


Figura 38 Diagrama a bloques del procesador DSP-3000

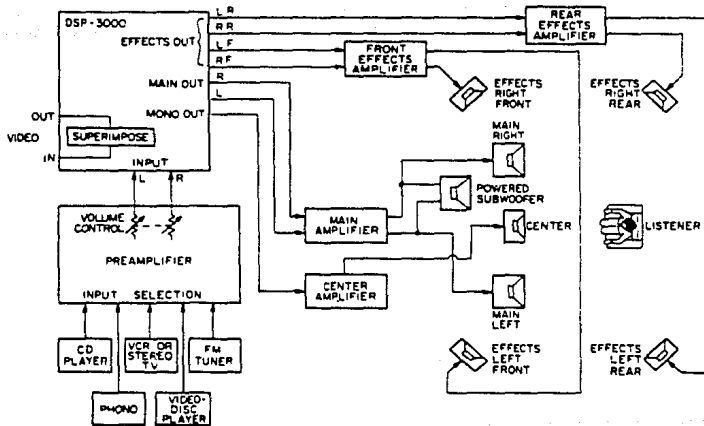


Figura 39 Diagrama de una aplicación del procesador Yamaha DSP-3000

## SHURE HTS 5300

Este procesador realiza sus funciones en el dominio de la digitalización, no posee amplificadores de potencia, tiene una sensibilidad de entrada de 0.25 V y como máximo nivel, tanto de entrada como de salida, 4 Volts. Tiene un costo de 994 dólares (Dic.1990) y posee control remoto.

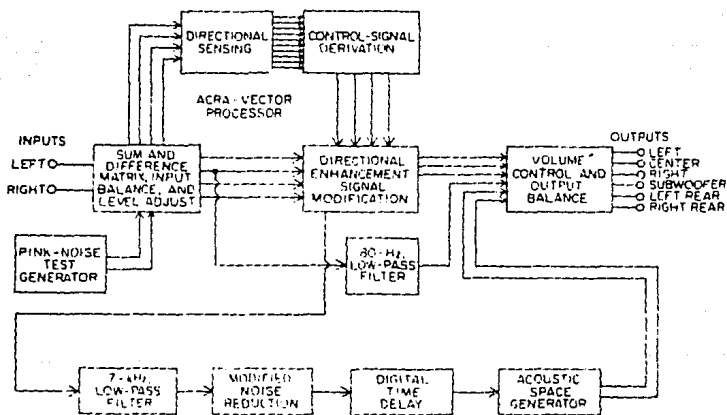


Figura 40 Diagrama a bloques del procesador shure Hts 5300

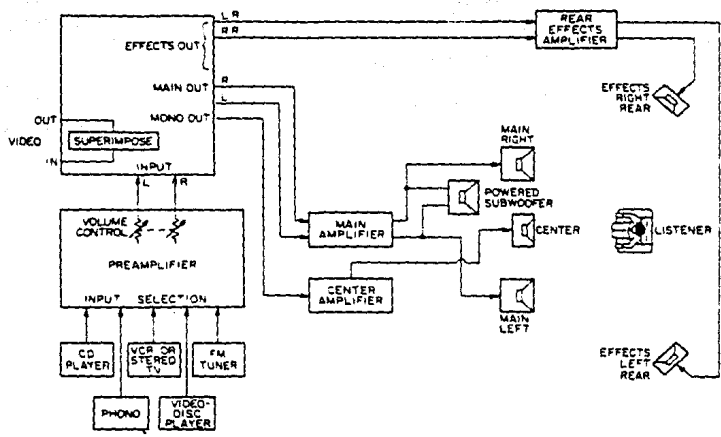


Figura 41 Diagrama de la aplicación del procesador Shure Hts 5300

## CAPITULO IV

### DESARROLLO DEL PROCESADOR AMBIOFONICO

#### IV.1 ESPECIFICACIONES GENERALES

A continuación mostraré algunas proposiciones básicas para la elaboración del proyecto basándome en los antecedentes analizados en capítulos anteriores.

El número de unidades por alimentar será limitado a cinco, debido a que más de este número no sería práctico para un audio aficionado convencional, puesto que los costos del equipo se incrementarían notoriamente (sobre todo en los altavoces adicionales) y también debido al tamaño típico de una sala recibidor o estancia a sonar dichas dimensiones no requieren más de cinco unidades, puesto que al ser un recinto regularmente pequeño podría comenzar a perder las cualidades que distinguen cada una de las cinco unidades como consecuencia de una poca separación física entre ambas.

El principal elemento a desarrollar dentro del procesador ambiofónico será la línea de retardo, debido a las características mencionadas anteriormente entre las cuales destaca la sensación de encontrarnos ubicados en un recinto de gran tamaño y el poder obtener una mayor definición de canales independientes, la línea de retardo a realizar será un sistema electrónico analógico (descrito anteriormente II.3). Tomando en cuenta entre sus principales ventajas su costo y nivel de complejidad bajo, comparado con un sistema de reverberación digital y no requiriendo retardos excesivos, es decir, no se requiere más de 50 milisegundos.

Después de haber trabajado y observado el funcionamiento de algunos de los procesadores ambiofónicos descritos en el capítulo anterior, considero como uno de los puntos más importantes por cuidar, los niveles de potencia empleados en las diferentes salidas, debido a que en algunos equipos los cuales ofrecen efectos como "dolby Surround" o "dolby pro-logic", la potencia empleada en dichos canales es muy baja con respecto a los canales de información original (derecho e izquierdo). En algunos equipos estos niveles no se pueden ajustar y en otros casos su ajuste no es muy ac-

---

cesible. Para no caer en este problema considero importante tener un fácil y buen control de todos los niveles.

En cuanto a las cinco unidades por emplear, se requerirá de seis canales de salida del procesador debido a que la unidad central será un "subwoofer" que deberá poseer la información de los dos canales originales, derecho e izquierdo, teniendo como función reproducir todos aquellos sonidos de baja frecuencia como en el caso de videos correspondería a relámpagos, truenos e impactos. En la figura 42 muestro un esquema de una unidad comercial de "subwoofer", la cual al igual que la mayoría, es alimentada por las señales de baja frecuencia de ambos canales teniendo en su interior dos unidades sonoras.

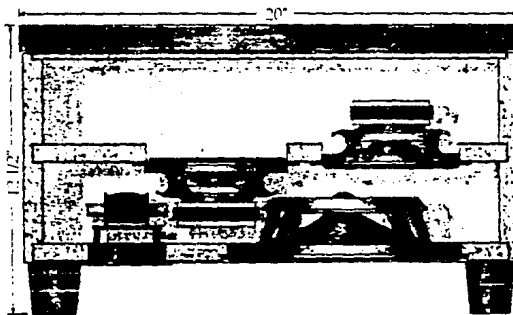


Figura 42 Unidad reproductora de baja frecuencia marca Polk Audio Subwoofer RM 3000

En cuanto a las 4 unidades restantes por alimentar, delanteras (derecha e izquierda) y traseras (derecha e izquierda), serán de la mejor calidad posible siendo de uso convencional. Cabe notar que en dos de ellas se manejarán los efectos de retardo en una forma opcional y regulada.

En cuanto a los amplificadores de potencia podrán ser de características convencionales e incluso carecer de control de volumen debido a que el proyecto contendrá controles de volumen para sus seis salidas de baja potencia.

Otra de las características importantes en el diseño, es la versatilidad del mismo. Razón por la que todo el circuito trabajará con voltaje de corriente directa menor a doce volts. Esto permitirá conectarlo en circuitos de automóviles, lo que significa la necesidad de diseñar el procesador ambiofónico en un tamaño moderado, es decir, lo más pequeño posible.

Debido al análisis de los puntos anteriores y para facilitar el trabajo, las especificaciones deseadas son resumidas en el siguiente cuadro:

CORRIENTE DE ALIMENTACION:	120 V a.c. 12 V d.c.
ENTRADAS ANALOGICAS:	2 (derecha e izquierda)
SALIDAS ANALOGICAS:	6(2 delanteras derecha e izquierda) (2 "Subwoofer" derecha e izquierda) (2 Traceras derecha e izquierda)
MAXIMO NIVEL DE ENTRADA:	2.5 volts (pico a pico)
MAXIMO NIVEL DE SALIDA:	10 volts (pico a pico)

---

GANANCIA DE SALIDA:	0, + 10 dB (ajustable)
TIEMPO DE RETARDO:	0 a 50 ms (ajustable)
EFFECTOS MANEJADOS:	Retardo del tiempo y control de frecuencias
NUMERO DE CANALES CON RETARDO:	2
CORTE DE SUBWOOFER:	Regulable

#### IV.2 DISTRIBUCCION DE LOS CANALES

En las siguientes figuras 43 a 45, se muestra la información que puede manejar cada una de las unidades.

Figura 43 Primera configuración:

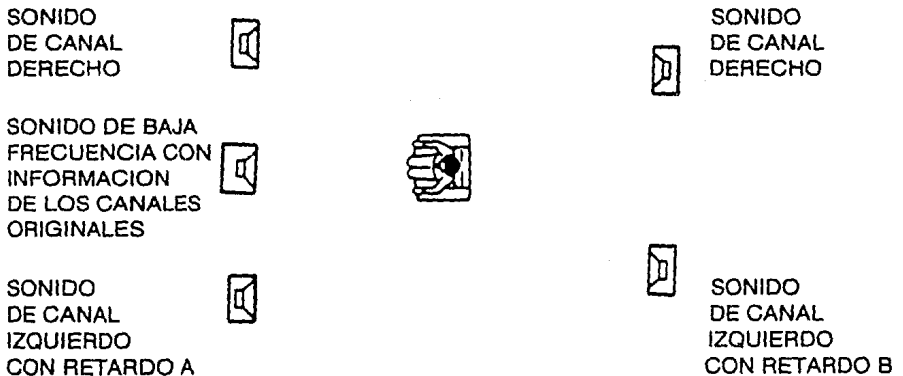




Figura 44 Segunda configuración:

SONIDO  
DE CANAL  
DERECHO



SONIDO DE CANAL  
DERECHO CON  
RETARDO A



SONIDO DE BAJA  
FRECUENCIA CON  
INFORMACION DE  
LOS DOS CANALES  
ORIGINALES



SONIDO  
DE CANAL  
IZQUIERDO



SONIDO DE CANAL  
IZQUIERDO CON  
RETARDO B



Figura 45 Tercera configuración:

SONIDO  
DE CANAL  
DERECHO



SONIDO DE CANAL  
DERECHO CON  
RETARDO B



SONIDO DE BAJA  
FRECUENCIA CON  
INFORMACION DE  
LOS DOS CANALES  
ORIGINALES



SONIDO DE CANAL  
IZQUIERDO CON  
RETARDO A



SONIDO  
DE CANAL  
IZQUIERDO



### Observaciones:

En cuanto a la primer configuración figura 43, se observó que si la separación o efecto estereofónico es muy pobre e incluso careciendo de éste, se obtendrá como resultado la sensación de un sonido de un lado completamente parejo mientras que del otro con sensación de dos canales diferentes en función de que tan diferentes sean los tiempos de retardo A y retardo B.

En cuanto a la segunda configuración Figura 44, se obtiene un resultado parecido en el que el sonido parejo estará al frente, mientras que la sensación reforzada de dos canales se percibirá atrás.

En la tercer configuración, figura 45, se observa cómo aún en los casos de carecer de estereofonía en la señal de entrada, se obtiene una mejor sensación dimensional de sonido, debido a que adelante se percibe separación entre canales gracias al retardo A, mientras que atrás percibimos la misma sensación gracias al retardo B y más aún, siendo diferentes los retardos A y B percibimos diferencia entre bocinas de ubicación opuestas, por lo cual es ésta la mejor disposición de canales. Cabe destacar que entre mayor sea la calidad y características de la señal estereofónica original o de entrada, más satisfactorios serán los resultados obtenidos.

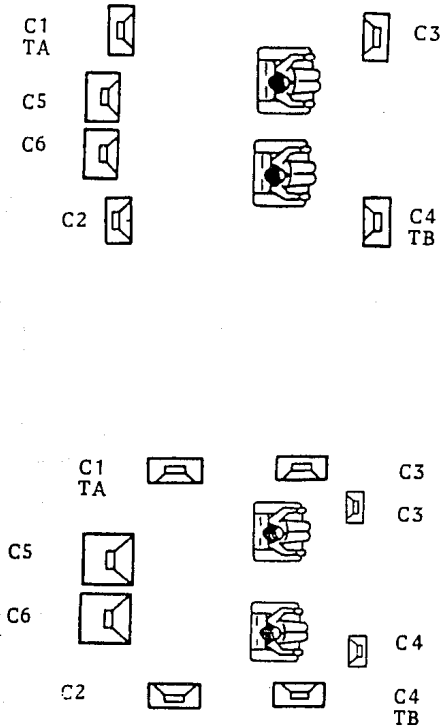


Figura 46 Disposiciones sugeridas para recintos muy pequeños como automóviles.

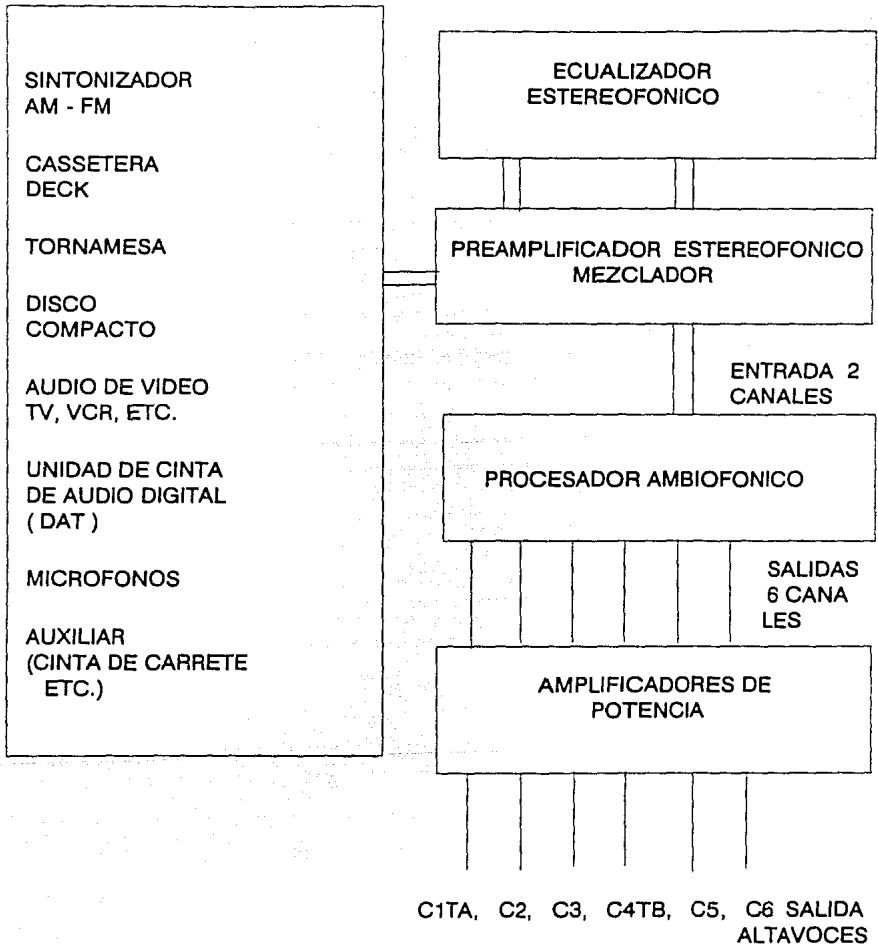


Figura 47 Diagrama de una aplicación del procesador ambiofónico

El diagrama y esquema anterior (figura 47), tienen como finalidad mostrar la versatilidad o alcance del proyecto aunque en algunos casos sólo se posea un elemento de entrada como podría ser el sintonizador o casi todos. El punto más importante como en todo equipo, es tener en cuenta las especificaciones del mismo para poder obtener el mayor provecho posible.

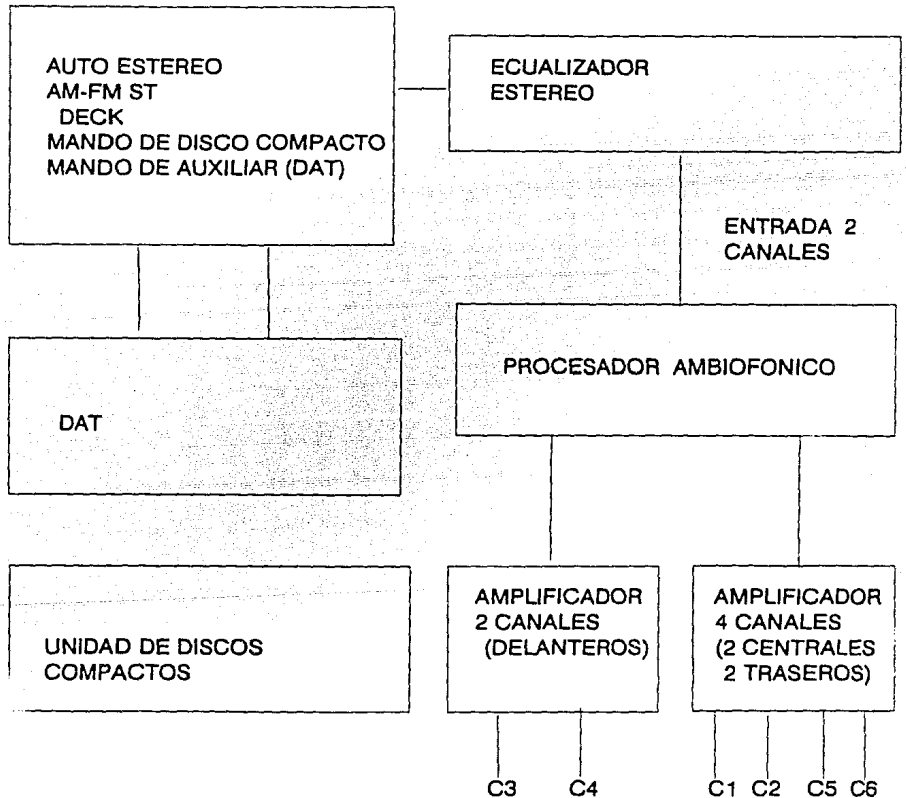


Figura 48 El siguiente diagrama a bloques, muestra una aplicación que se podría realizar en un automóvil por un audio aficionado.

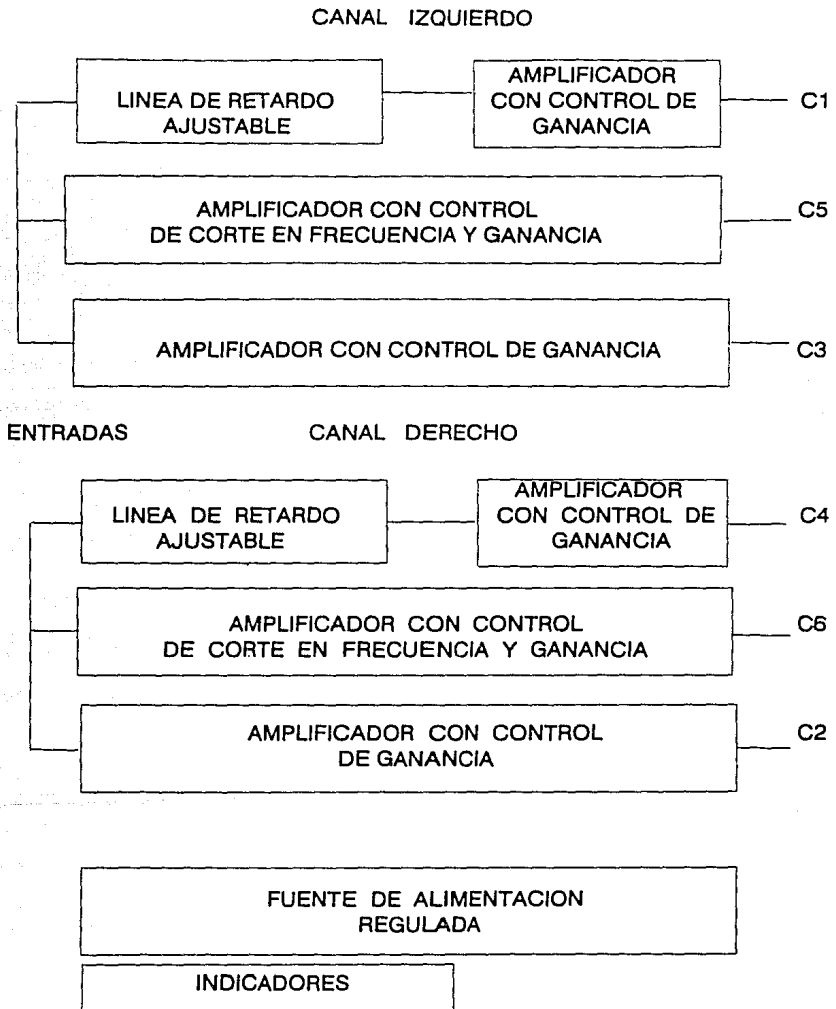


Figura 49 Diagrama a bloques de los circuitos que componen el procesador ambiofónico.

### IV.3 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS

En este punto cabe hacer notar la aclaración de los procedimientos y metodología a emplear principalmente en los puntos IV.3, IV.4 y IV.5, puesto que tienen su justificación en el diseño de un aparato prototipo que está siendo sujeto a cambios y mejoras continuas durante su construcción. La metodología empleada es de carácter personal basada en la experiencia del diseño de circuitos prototipos. Debido a lo anterior, se concluye que los procedimientos y metodología empleada por la industria electrónica son diferentes por estar sujetos a diversos factores como son la cantidad calidad costos, dando origen a las diferencias en la elaboración de los aparatos y equipos electrónicos comerciales.

Antes de comenzar, es necesario establecer un orden, el cual justifico mediante los siguientes tres pasos a seguir:

#### PASO NO. 1

Nombrar cada uno de los circuitos internos del proyecto (diagrama a bloques de los elementos que componen el procesador ambiofónico IV.2)

#### PASO NO. 2

Enumerar cada uno de los circuitos internos según su importancia, considerando más importante aquel circuito que no puede ser remplazado por otra configuración fácilmente, debido a limitaciones en sus componentes, como podrían ser costo de las piezas, disponibilidad en el país del componente o estrictas características, en ocasiones se puede considerar como de mayor importancia el circuito más complejo.

- A) Línea de Retardo
- B) Filtro pasa bajos "Subwoofers"
- C) Amplificador
- D) Fuente de alimentación
- E) Indicadores

Observaciones:

La línea de retardo se considera como primer circuito a tratar debido a la comercialización de su componente principal, puesto que los registros de almacenamiento analógico no se encuentran a la venta dentro de México, sólo bajo pedido de importación, lo cual implica que una vez obtenidos éstos, se podrían sujetar las características de los demás circuitos a las especificaciones de éstos sin ningún problema, contando con los componentes existentes en el mercado nacional.

PASO NO. 3

En este paso se reordenarán los circuitos, tomando en cuenta una o varias características específicas.

- A) Línea de retardo
- B) Amplificador
- C) Filtro pasa bajos "subwoofers"
- D) Indicadores
- E) Fuente de alimentación

Observaciones:

La primer modificación tiene su justificación debido a que el filtro pasa bajos controlable será realizado mediante modificaciones al circuito amplificador, reduciendo su ancho de banda al gusto. La segunda modificación consta en considerar a la fuente de alimentación como último circuito debido a que ésta se encontrará sujeta a las necesidades o requerimientos de los demás circuitos.



### IV.3.1. Línea de Retardo

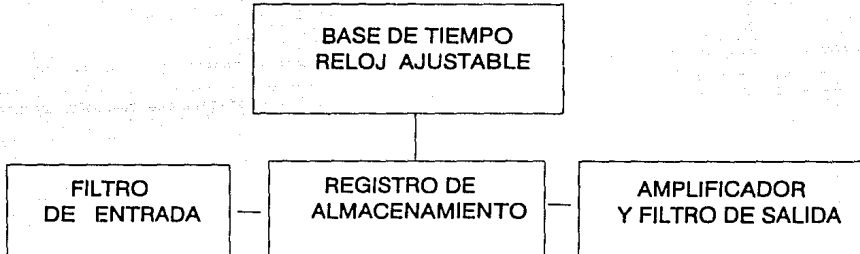


Figura 50 Elementos que componen una línea de retardo

#### IV.3.1.1 Registro de Almacenamiento Analógico

El primer bloque a tratar será el registro de almacenamiento analógico debido a su mayor complejidad, costo y poca comercialización. El circuito seleccionado es de la marca Reticon que ofrece tres circuitos de registros de almacenamiento analógicos.

RD 5106 con 256 registros de almacenamiento

RD 5107 con 512 registros de almacenamiento

RD 5108 con 1024 registros de almacenamiento

El circuito seleccionado fue el RD 5108 por contener mayor número de registros de almacenamiento. Esto permite un mejor funcionamiento teniendo como ventajas el requerimiento de una frecuencia de reloj más elevada para un mismo retardo, lo cual implica mayor facilidad en el filtrado de ésta, encontrándose más lejos de la gama audible.

**PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL CIRCUITO RD5108**

- 1024 registros de muestreo
- rango máximo de retardo 4 segundos desde 1.3 ms
- mejoras en la conmutación mediante canales n de silicio
- frecuencia de reloj de 0 a 300 KHz
- rango de trabajo de 250 Hz a 500 KHz o más
- rango dinámico s/n 65 dB
- distorsión menor que 1.2%
- voltaje de alimentación 12 volts. (rango 5 a 13 volts)
- configuración 8 pin

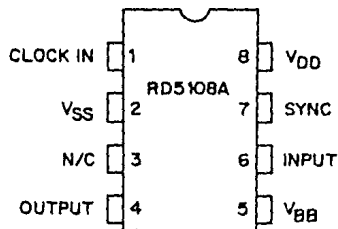


Figura 51 Disposición del componente RD 5108

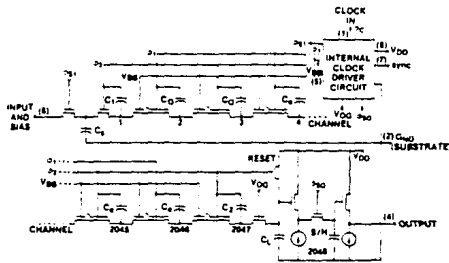


Figura 52 Circuito equivalente RD 5108

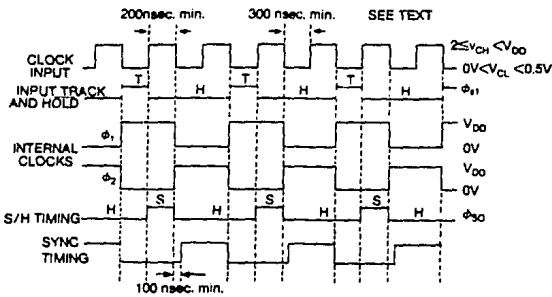


Figura 53 Relación de Tiempo del RD 5108

Si TR = 50 ms = 0.050 seg.

$$f_s = \frac{1024}{0.05} = 20480$$

$$f_c = 2 (20480) = 40960$$

Si TR = 1ms = 0.001 seg.

$$f_s = \frac{1024}{0.001} = 1024\ 000$$

$$f_c = 2 (1024\ 000) = 2048\ \text{KHz}$$

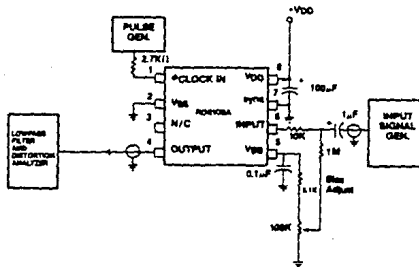


Figura 54 Circuito de prueba

Dentro de las especificaciones se recomienda filtrar la señal de entrada de audio mediante un capacitor de acople, así como filtrar también la salida debido a que la frecuencia del generador de pulsos (reloj) suele mezclarse con el audio.

Este circuito requiere de una señal de reloj que se distribuye y fracciona mediante dispositivos internos. El muestreo requiere de dos ciclos de reloj completos por muestreo  $f_c/2 = f_s$ , por lo que el tiempo de retardo es calculado como: número de muestreo entre frecuencia de muestreo:

$$\frac{f_c}{2} = f_s$$

$$\# \text{ Elementos de Muestreo} = \frac{\text{Tiempo de Retardo}}{f_s}$$

Debido a lo anterior, se concluye que para un rango de 1 milisegundo a 50 milisegundos, se requiere de una señal de 40 KHz a 2 MHz aproximadamente.

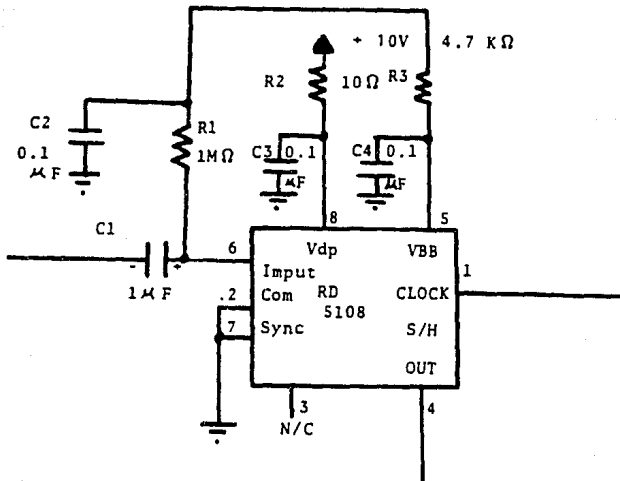


Figura 55 Conexión del registro de almacenamiento analógico

Debido a las especificaciones del componente RD 5108 y a las especificaciones de alimentación deseadas (117 v.a.c. ó 12 v.d.c.) el voltaje a manejar para todos los circuitos será de 10 volts de corriente directa y regulada proporcionando dos volts de margen al circuito regulador, siendo este valor una proporción razonable.

## IV.3.1.2 Base de Tiempo o Reloj del Circuito

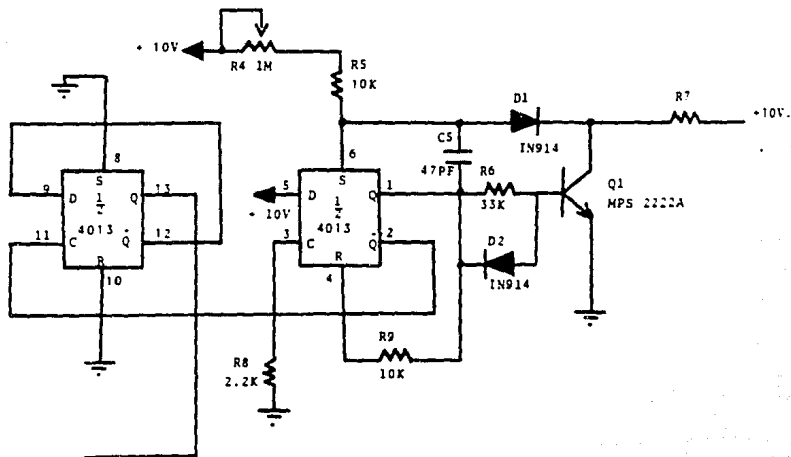





Figura 56 Base de Tiempo o Reloj del Circuito

Analizando el primer circuito dibujado y la tabla de verdad No.7, realizaré la siguiente proposición:  $S = Q = 1$ , la presencia de un estado alto en Q provoca que el transistor se sature por lo que  $S = 0$  y el uno de Q es absorbido por "R"  $R = 1$  y  $S = 0$ , por lo que provoca según la tabla de verdad,  $Q = 0$  y el transistor corta provocando  $S = 1$  y  $R = 0$ , si  $S = 1$   $Q = 1$  también y así se repite el ciclo sucesivamente, sin embargo, se observa que el tiempo de carga y descarga depende del capacitor y el voltaje alimentado en la terminal 6, es decir, está en función de la carga y descarga del capacitor.

El segundo flip-flop (B) se alimenta mediante el primero (A) y tiene como principal función el obtener una mejor salida se rige mediante los cambios de nivel percibidos en su terminal, reaccionando según la tabla de verdad No. 7 conforme al cambio de estado bajo a alto, despreciando la transición de estado alto a bajo, por lo que la frecuencia se divide a la mitad con respecto a la percibida del primer flip flop.

INPUTS				OUT PUTS	
CLOCK	DATA	RESET	SET	Q	Q
	0	0	0	0	1
	1	0	0	1	0
	X	0	0	Q	Q
X	X	1	0	0	1
X	X	0	1	1	0
X	X	1	1	1	1

NO CAMBIO

X = SIN TOMAR EN CUENTA

T = CAMBIO DE NIVEL

Tabla No. 7 Tabla de Verdad Circuito Flip Flop Clase "D" LM 4013



## IV.3.1.3 Circuito de salida (Amplificador y Filtro)

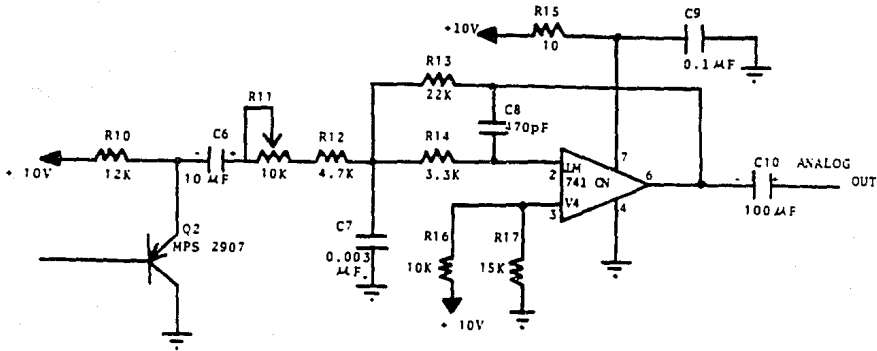


Figura 57 Circuito de Salida (Amplificador y Filtro)

El circuito anterior tiene dos finalidades principales; como primer objetivo el filtrar las frecuencias altas no deseables (filtro pasa bajos con corte 3 dB aproximadamente 20 KHz) y como segundo objetivo proporcionar un nivel de amplificación adecuado y ajustable en la salida y cuyo funcionamiento es el siguiente: R 10 polariza al transistor Q2 el cual está funcionando como amplificador de corriente reforzando la salida del RD 5108. El capacitor C6 realiza el acople entre el circuito de Q2 y el amplificador operacional asegurándonos no perder la polarización de Q2 manteniendo fijo el voltaje del emisor de Q2 el capacitor C7 drena a tierra cualquier presencia de frecuencias

muy elevadas las cuales podrían hacer que el amplificador se sintonice escuchando a su salida alguna estación local o ruidos indeseables, sin embargo, las frecuencias menores seguirán su camino a través de R14 (debido a la reactancia capacitiva  $X_c = 1/2\pi f c$ ). Las resistencias R16 y R17 proporcionan un voltaje fijo en la terminal 3 del amplificador operacional no inverso.

$$V_{ref} = \frac{10}{10k + 15k} 15K = 6 \text{ volts}$$

Gracias a este voltaje funcionará adecuadamente el operacional Lm 741 debido a sus características, puesto que sólo se cuenta con voltaje positivo de 10 volts y de la forma anterior se le proporciona 6 volts como referencia, 10 volts como el voltaje positivo (terminal 7) y como el equivalente a voltaje negativo corresponde la conexión a tierra cero volts (terminal 4) (que funciona como filtro paso bajas de alimentación junto con R15). el capacitor C10 es un capacitor de acople de salida, las resistencias R11, R12, R13, fijarán la ganancia mientras que C8 y R14 tendrán como función el filtrado de salida funcionando como circuito paso bajas cuyo corte estará en función del valor de C8 y R14.

#### A) CONTROL DE GANANCIA

Como mencioné anteriormente, se requiere un control de nivel de la señal de salida, por lo cual sugería un rango de 10 dB tomando en cuenta que los amplificadores de salida de este proyecto no manejan potencia, puesto que su salida está calculada para acoplarse a amplificadores de potencia comerciales careciendo algunos de éstos de controles de volumen, razón por la que es conveniente el control de ganancia con un rango de 10 dB.

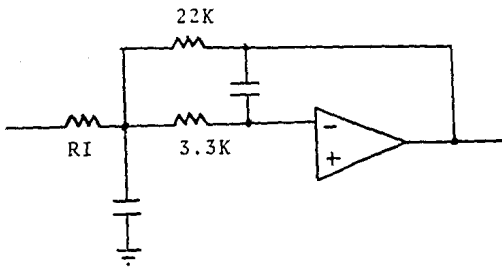


Figura 58 Análisis de Ganancia

Ganancia  
de amplificador  
inversor

$$\frac{R_F}{R_I} = G$$

$G =$  Ganancia (voltaje de salida/voltaje de entrada)

$A =$  Ganancia en dB

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} ; \quad A = 20 \text{ LOG } G$$

Deseando obtener una ganancia mínima  $G = 1.5$

Esto es:

$$A = 20 \text{ log. } 1.5 = 3.518 \text{ dB}$$

$$A = 3.5 \text{ dB}$$

redondeando:

$$\text{log } G = \frac{3.5}{20}$$

$$G = 1.49$$

Lo cual implica, tomando en cuenta el valor de  $R_F$  ( $R_{13}$ ), como fijo lo siguiente:

$$\frac{R_F}{R_I} = G$$

$$R_I = \frac{R_F}{G} = \frac{22 \text{ K}}{1.49} = 14.765 \text{ k } \Omega$$

$$R_I = 14.7 \text{ k } \Omega$$

Deseando obtener una ganancia 10 dB mayor a la anterior, se obtiene lo siguiente:

$$\begin{array}{r} 10 \text{ dB} \\ + 3.5 \text{ dB} \\ \hline 13.5 \text{ dB} \end{array}$$

$$13.5 \text{ dB} = 20 \text{ log. } G$$

$$\text{Log. } G = \frac{13.5}{20}$$

$$G = 4.73$$

$$G = \frac{R_E}{R_I}$$

$$R_I = \frac{R_E}{G} = \frac{22\text{K}}{4.73} = 4.65\text{ k}\Omega$$

$$R_I = 4.7\text{ K}\Omega$$

$$R_I = 4.7\text{ K}\Omega$$

quedando el circuito de la siguiente forma:

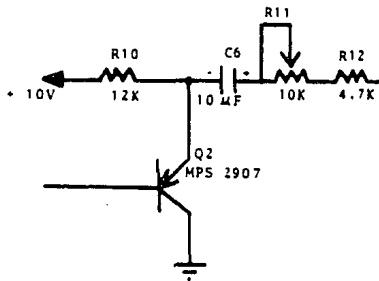


Figura 59 Circuito Controlador de Ganancia

## B) FUNCIONAMIENTO DEL CAPACITOR C8

Tomando en cuenta una de las principales características de los amplificadores operacionales que es la ganancia elevada en lazo abierto, es posible dibujar el circuito de la siguiente forma:

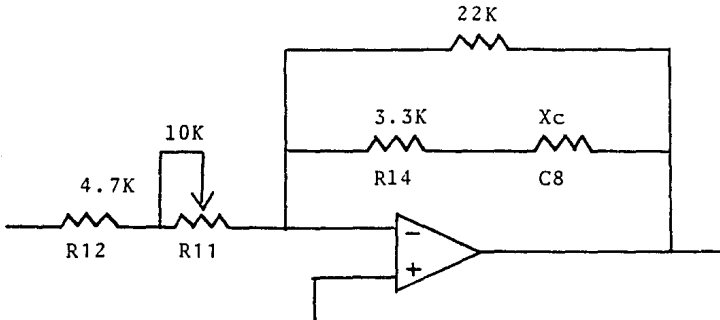


Figura 60 Circuito Filtro Pasa Bajos

Observando el comportamiento del circuito de la figura 60, concluyo que si la impedancia de XC es suficientemente baja, formaría junto con R14 en serie una impedancia significativa en paralelo con R13 alterando así la ganancia, es decir, entre más baja sea la reactancia capacitiva, más baja será la impedancia del paralelo de R13 con (R14 + Xc), dando como resultado una disminución en el valor de RF, que reduce la ganancia del amplificador operacional.

$$G = \frac{RF}{RI}$$

Paralelo de dos resistencias

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Por lo cual RF estará dado por

$$RF = \frac{(22K)(3.3K + XC)}{22K + 3.3K + XC}$$

Tomando en cuenta

$$G = \frac{RF}{RI}$$

Se obtendrá que la caída de 3 dB implica

$$A = 20 \log G$$

$$-3 = 20 \log G$$

$$\log G = \frac{-3}{20}$$

$$G = 0.7079$$

Por lo cual se observa que si el valor de RF decrece un cierto valor, la ganancia decrecerá en esa misma proporción, lo que produce una atenuación proporcional cuyos valores de atenuación serán los mismos para cualquier relación de RF/RI que se esté manejando. Cabe hacer notar que el valor de RI es variable debido a que en éste se encuentra depositado el control de ganancia, sin embargo debido a que la variación es proporcional y efectuada en el numerador RF, el efecto será el mismo para todos los valores de RI.

$$\text{Si } RF = 22 \text{ K} \Omega$$

El valor necesario de RF para obtener una atenuación de 3 dB, será el siguiente:

$$RF' = 22 \text{ K} (0.7079) = 15\,574.8 \Omega$$

El valor de XC necesario para la atenuación de -3dB será el siguiente:

$$RF = \frac{(22\text{K}) (3.3\text{K} + XC)}{22 \text{ K} + 3.3 \text{ K} + XC}$$

$$15\,574.8 = \frac{(22\text{K}) (3.3\text{K} + XC)}{22 \text{ K} + 3.3 \text{ K} + XC}$$

$$(15\ 574.8) (25300 + X_c) = 72\ 600\ 000 + 22\ 000 X_c$$

$$394024224 + 15574.8 X_c = 72\ 600\ 000 + 22\ 000 X_c$$

$$394024224 - 72\ 600\ 000 = (22\ 000 - 15\ 574.8) X_c$$

$$321424224 = 6425.2 X_c$$

$$X_c = 50025.55$$

$$X_c = 50K$$

Obteniendo el valor de  $X_c$ , la pregunta sería la siguiente, con qué capacidad se obtendrá ese valor a la frecuencia de corte de 20 KHz, tomando en cuenta que para valores mayores de frecuencia  $X_c$  disminuye proporcionalmente dando como resultado mayor atenuación, logrando así el funcionamiento del filtro pasa bajos en la salida mediante C8.

$$X_c = \frac{1}{2 \pi F C}$$

$$C = \frac{1}{2 \pi F X_c} = \frac{1}{2 \pi (20\ 000) (50\ 000)}$$

$$C = 159 E(-10) = 160 \text{ pF}$$

Con un capacitor de 470 pF el valor de frecuencia en el que se obtendrá una pérdida de 3 dB será el siguiente:

$$f = \frac{1}{2 \pi X_c C} = \frac{1}{2 \pi (50\ 000) (470 E(-12))}$$

$$f = 6\ 772.53 \text{ Hz}$$

Pudiendo así calcular el comportamiento del filtro en función del capacitor C8.

$$f = \frac{1}{2 \pi X_c C}$$

---

$X_c = 50\ 000$  para obtener una atenuación de -3dB como condición.

Para  $C_8 = 0.001\ \mu F$

$$f = \frac{1}{2\ \pi\ (50\ 000)\ (0.001\ E(-6))}$$

$$f = 3183\ \text{Hz}$$

Para  $C_8 = 0.0033\ \mu F$

$$f = \frac{1}{2\ \pi\ (50\ 000)\ (0.0033\ E(-6))}$$

$$f = 964.57\ \text{Hz}$$

Para  $C_8 = 0.01\ \mu F$

$$f = \frac{1}{2\ \pi\ (50\ 000)\ (0.01\ E(-6))}$$

$$f = 318.3\ \text{Hz}$$

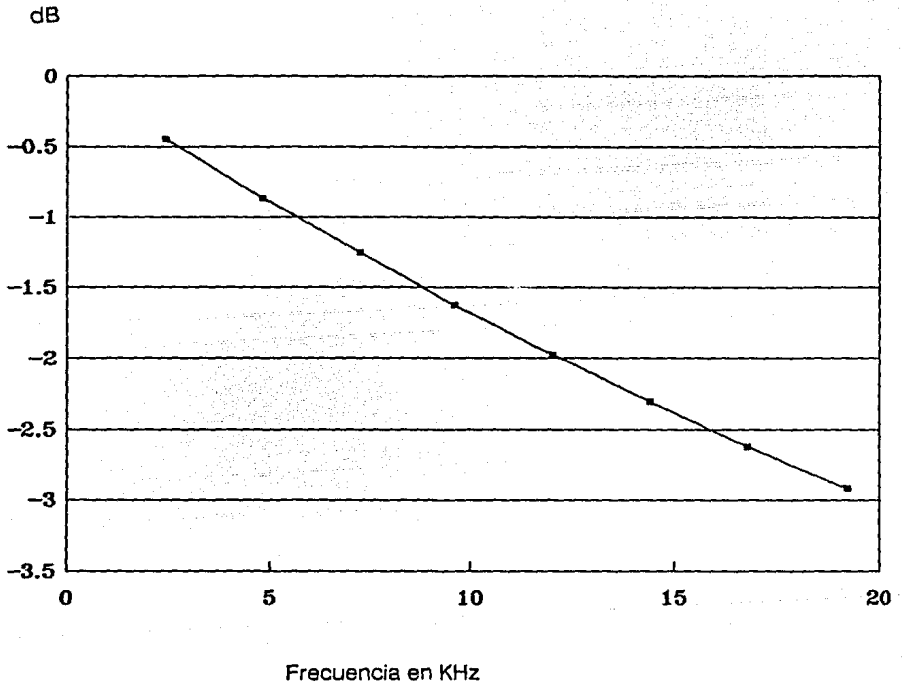
Para  $C_8 = 0.033\ \mu F$

$$f = \frac{1}{2\ \pi\ (50\ 000)\ (0.033\ E(-6))}$$

$$f = 96.457\ \text{Hz}$$

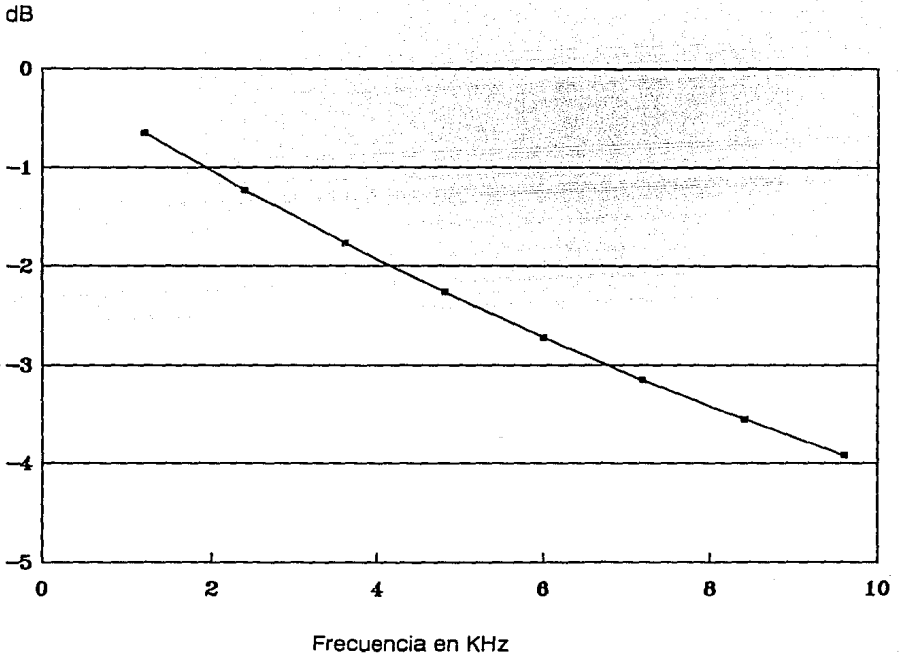
---





Gráfica 1

Comportamiento del filtro para un capacitor  $C8 = 160 \text{ pF}$



Gráfica 2

Comportamiento del filtro para un capacitor  $C8 = 470 \text{ pF}$

## IV.3.2 Amplificador

El procesador ambiofónico requiere de dos amplificadores que tendrán como objetivo controlar el nivel de salida y filtrar las frecuencias mayores de 20 KHz, manteniendo la información de los dos canales de entrada originales. Debido a estos requerimientos, los amplificadores son similares a los amplificadores utilizados en las líneas de retardo descritos anteriormente en el circuito de salida de la línea de retardo. (IV.3.1.3)

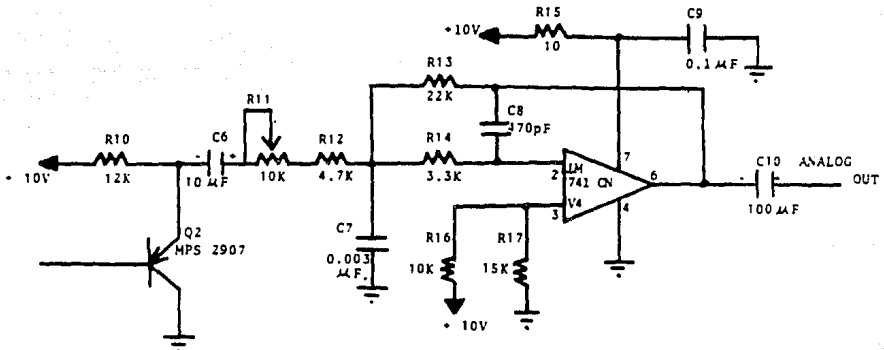
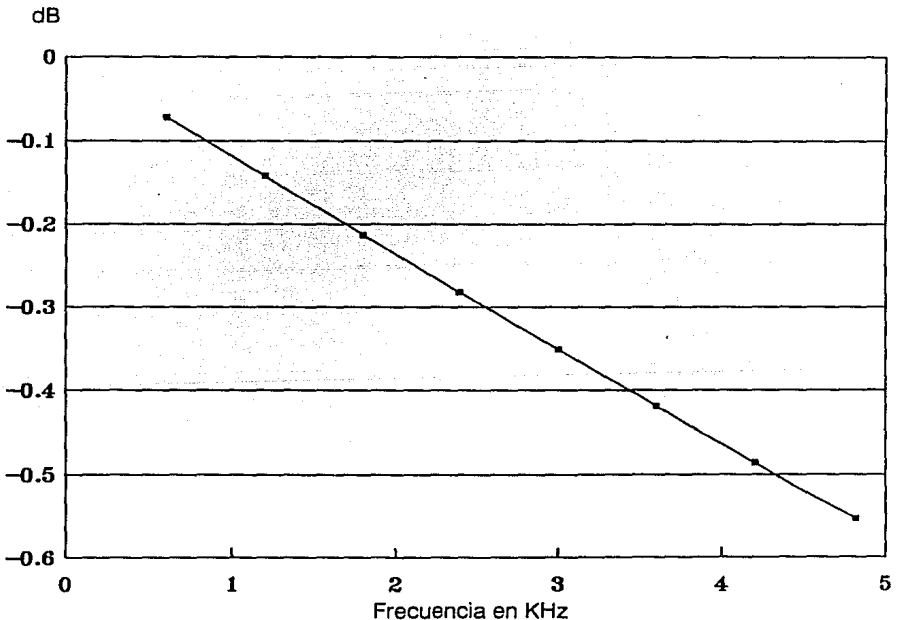


Figura 61 Circuito amplificador y filtro

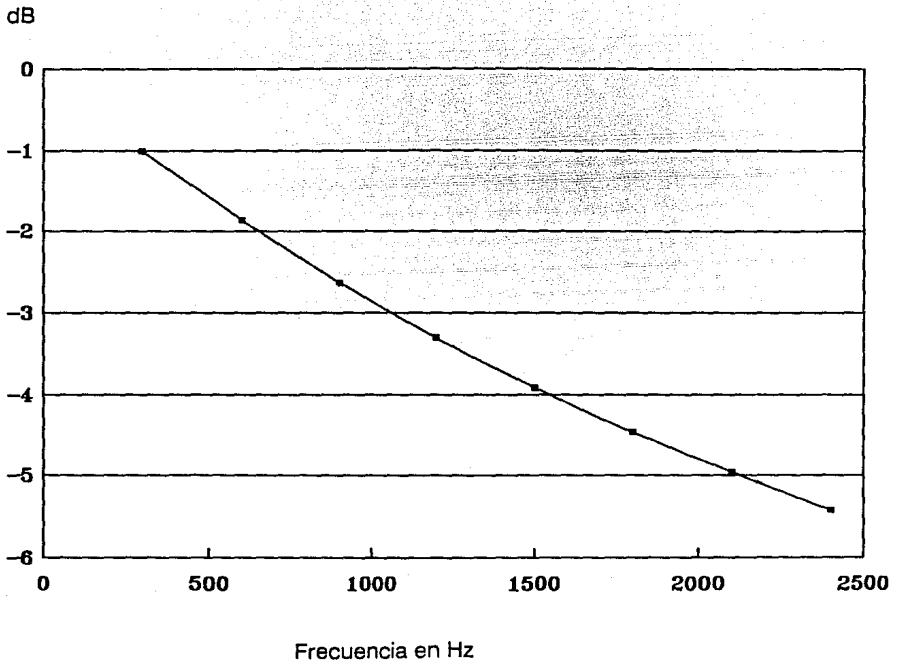
La única modificación realizada en el circuito, es la conexión de un capacitor de acople de señal a la entrada, el cual proporcionará protección y filtrado al circuito.

### IV.3.3 Filtro Pasa bajos "subwoofers"

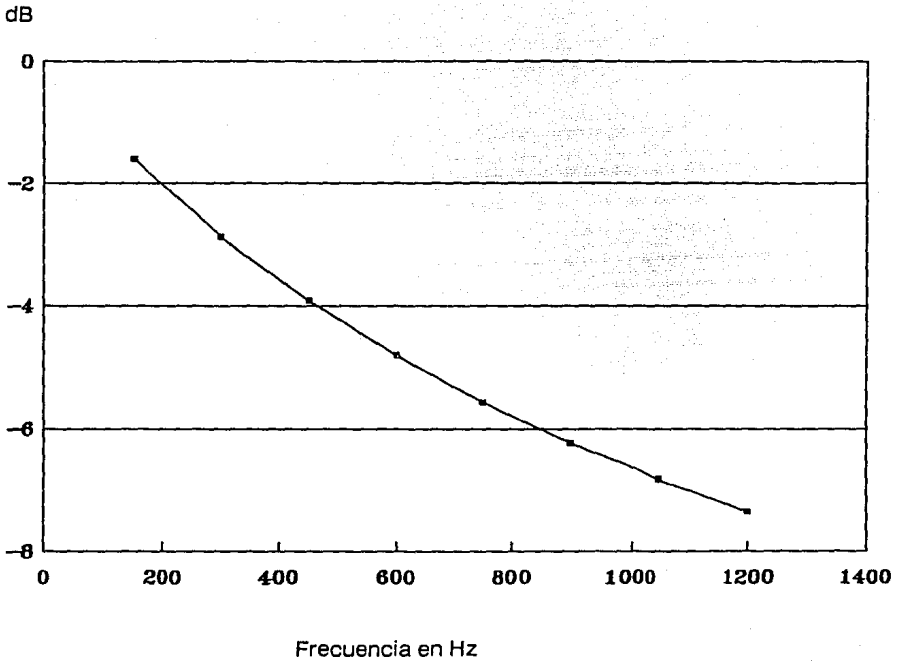
El procesador ambiofónico incluye dos salidas de "subwoofer" que tienen como función manejar las señales originales mediante filtros pasa bajos, reduciendo el ancho de frecuencia para lograr un nivel de salida controlable. Se utilizará la misma configuración del circuito de salida de la línea de retardo IV.3.1.3., teniendo como variaciones la adición de un capacitor de acople a la entrada y el cambio del valor de C8. Este capacitor determina el corte del filtro pasa bajos, mientras que el funcionamiento y valores de los demás componentes es el mismo especificado en la descripción del circuito de salida de la línea de retardo.



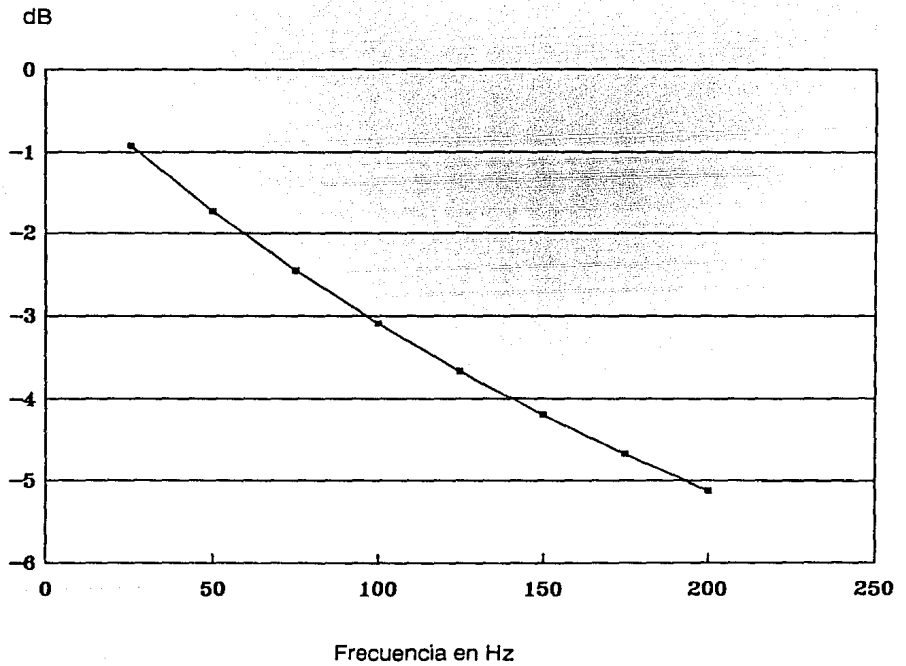
Gráfica 3 Comportamiento del filtro para un capacitor C8 = 0.001  $\mu$  F



Gráfica 4 Comportamiento del filtro para un capacitor  $C8 = 0.003 \mu F$



Gráfica 5 Comportamiento del filtro para un capacitor  $C8 = 0.01 \mu F$



Gráfica 6 Comportamiento del filtro para un capacitor  $C8 = 0.033 \mu F$

Tomando en cuenta las gráficas anteriores, los capacitores seleccionados para el diseño de los canales de baja frecuencia son:  $0.01 \mu\text{F}$ ,  $0.0033 \mu\text{F}$  y  $0.001 \mu\text{F}$ .

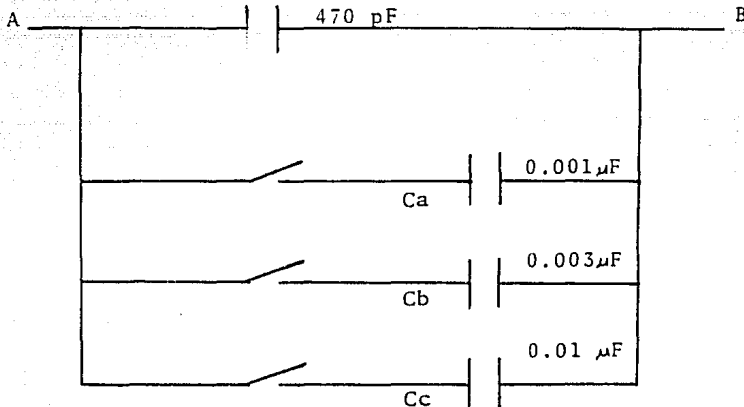


Figura 62 Conexión de los capacitores

Lo anterior permite conectar cualquiera de los tres capacitores así como combinaciones de ambos, pero también se pueden tener la opción de no conectar ninguno obteniendo así el funcionamiento equivalente al de los amplificadores mencionados en el inciso IV.3.1.3.



#### IV.3.4 Indicadores.

Los indicadores serán luminosos mediante LED, debido a su poco consumo de corriente, fácil adquisición y bajo costo así como la gran variedad de estos. Los indicadores luminosos requeridos son los siguientes:

1 Indicador de encendido

6 Indicadores de los filtros para subwoofers, tres por cada canal.

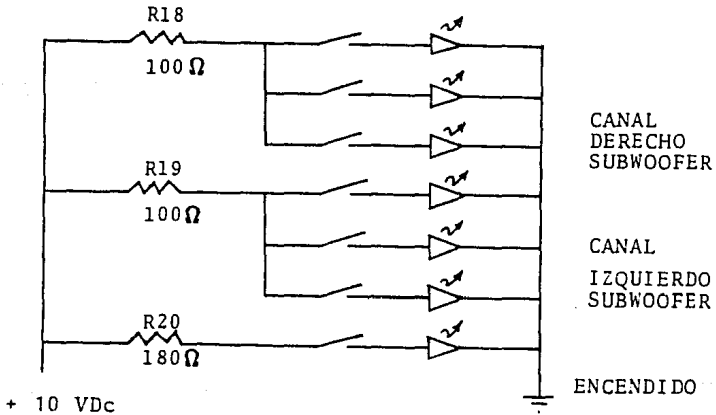


Figura 63 Indicadores luminosos

Las resistencias R18, R19 y R20 tienen como función limitar la corriente, tomando en cuenta en el cálculo de su valor, las especificaciones típicas de los diodos led, las cuales indican lo siguiente:

Voltaje de trabajo 2 Volts

Corriente mínima de trabajo 3.9 m A

Corriente máxima de trabajo 110 m A

Corriente típica de trabajo 12 m A

Cálculo de las resistencias R18 y R19 siendo éstas del mismo valor.

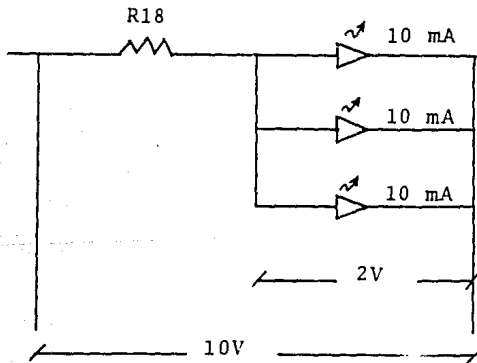


Figura 64 Análisis de consumo de corriente

$$V = RI$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{10V - 2V}{(10 \text{ mA})^3} = \frac{8V}{30 \text{ mA}} = 266.6 \Omega$$

$$R = 270 \Omega$$

$$R18 = R19 = 270 \Omega$$

Cálculo de R20

$$I = 15 \text{ mA}$$

$$V = 10V$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{10V - 2V}{15 \text{ mA}} = \frac{8V}{15 \text{ mA}} = 533 \Omega$$

$$R 20 = 560 \Omega$$

#### IV.3.5 Fuente de Alimentación

El circuito de alimentación del proyecto, debe cumplir con los requerimientos de los demás circuitos, así como las especificaciones deseadas de voltaje de entrada, por lo cual enumeraré las características a cubrir para así facilitar el diseño.

Voltaje de entrada:  
120 V a.c. ó 12 V d.c.

Voltaje de trabajo:  
10 V d.c.

Esto es debido a la necesidad de un regulador de voltaje, puesto que al tener un voltaje fijo, las especificaciones del procesador ambiofónico serán estables, es decir, el circuito podría trabajar desde 7 Volts, hasta 15 Volts, implicando que para cada valor diferente de voltaje, dentro de este rango, algunas de las especificaciones varían, por ejemplo: la frecuencia de la base de tiempo de una línea de retardo, justificando así la necesidad de un circuito regulador para lograr especificaciones fijas más que protección del mismo.

Máximo consumo de corriente.

2 Líneas de retardo	26 mA
2 Amplificadores	6
2 Amplificadores subwoofers	6
7 Indicadores	73
	111 mA

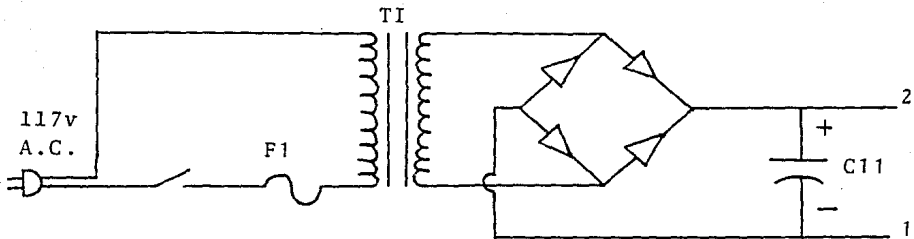


Figura 65 Circuito rectificador de onda completa.

El fusible es de 500 mA, debido a que en caso de corto en el secundario del transformador, el fusible abrirá rápidamente.

El transformador empleado es de 500 mA debido a que el consumo total del aparato es menor a la mitad, es decir menor de 250 mA. Los diodos son de características comerciales con un manejo de corriente máxima de un amper. El capacitor de salida es de 1000  $\mu$  F C11 el cual presenta baja impedancia a las frecuencias elevadas, completando así el rectificador de onda completa.

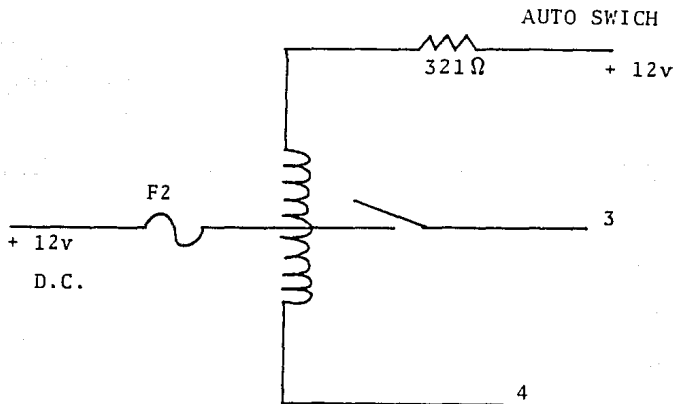


Figura 66 Circuito de entrada para + 12 V D.C.

La entrada de + 12 V d.c. es conmutada mediante un pequeño relevador, activado a través de una resistencia de 180  $\Omega$  R21, que tiene como función limitar la corriente que proviene de la terminal de corriente automática del auto-estéreo (en ocasiones, mencionada como terminal para antena automática).

En este caso el fusible F2 es de conexión exterior, siendo éste del mismo valor que F1 (500 mA 110 Volts).

Conexión del selector AC/DC, dos polos dos tiros mediante el cual se selecciona el tipo de corriente de entrada a emplear 120 V a.c. ó 12 V d.c.

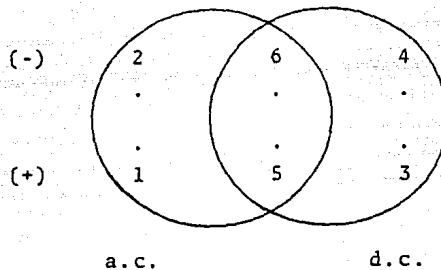


Figura 67 Selector AC/DC

Los números del 1 a 6 mostrados en este esquema, hacen referencia a los dos circuitos anteriores, el signo (-) arriba indica que en 2, 6 y 4 se está manejando el polo negativo, en este caso, se hace referencia a tierra cero volts, mientras que para 1, 5 y 3 + 12 Volts

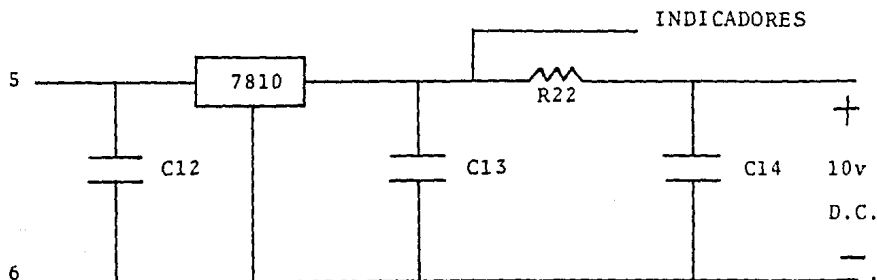


Figura 68 Regulador de Voltaje (10 volts)

El regulador de voltaje cuyo valor de salida es de 10 volts es de gran utilidad como fue comentado anteriormente destacando como principal función el mantener las especificaciones del procesador ambiofónico estable. El regulador a utilizar es el 7810, pudiendo manejar sin ningún problema una demanda de 500 mA, se consideró un rango de protección adecuado, puesto que la demanda es de aproximadamente 100 mA.

Los capacitores C12 y C13 son recomendados por el fabricante del regulador, debido a las impedancias que éstos presentan a determinados valores de frecuencia, siendo útiles aún en el caso de tener una corriente de entrada con capacitor y un filtro pasa bajos a la salida. La resistencia R22 y C14 forman un filtro pasa bajos muy drástico, debido al valor elevado del capacitor C14.

Por ejemplo 50 Hz:

$$X_{c14} = \frac{1}{2 (50 \text{ Hz}) (4700 \mu \text{ F})} = 0.67$$

#### IV.4 DISEÑO DE LOS CIRCUITOS IMPRESOS

Para facilitar el diseño de los impresos se tomará en cuenta el orden mencionado y fundamentado en el capítulo anterior, siendo éste el siguiente:

IV.4.1 Línea de retardo

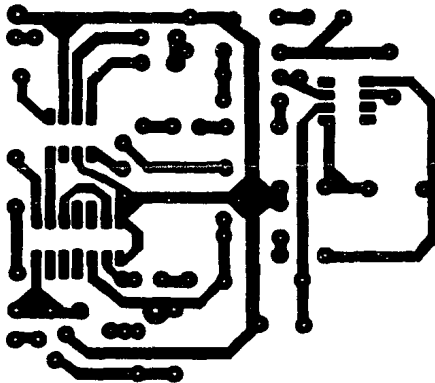
IV.4.2 Amplificador

IV.4.3 Filtro paso bajas "subwoofers"

IV.4.4 Indicadores

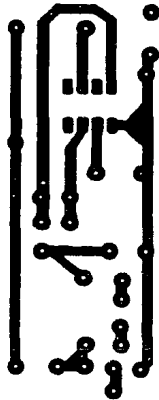
IV.4.5 Fuente de alimentación

Cada uno de los circuitos fueron redibujados numerosas veces analizando y realizando mejoras. Dichas mejoras se realizaron en algunos casos, teniendo el impreso con los componentes soldados y funcionando, volviendo a elaborar otra serie de impresos tomando en cuenta las observaciones anteriores.

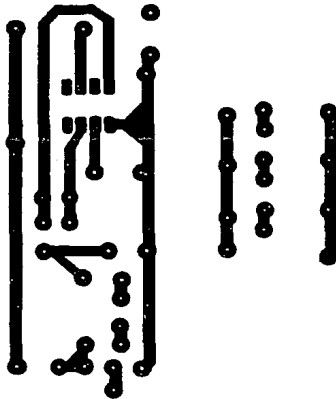


IV.4.1 Figura 69 Circuito impreso de la línea de retardo



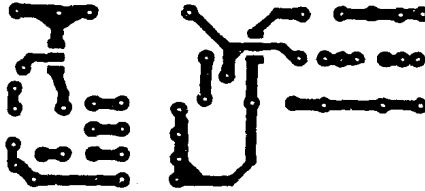


IV.4.2 Figura 70 Circuito impreso de Amplificador



IV.4.3 Figura 71 Circuito impreso de filtro pasa bajos "subwoofers"

---



IV.4.4 y IV.4.5 Figura 72 Circuitos impresos de los indicadores y fuente de alimentación.

Después de haber probado el funcionamiento de cada uno de los impresos anteriores, el siguiente paso consiste en agrupar algunos de ellos tomando en cuenta las conexiones de cada uno, así como su funcionamiento. El principal objetivo del agrupamiento de algunos impresos es facilitar el montaje, evitar repetidas conexiones agrupando principalmente conexiones de alimentación en una sola línea, así como un agrupamiento lógico, el cual permite reducir al máximo el tamaño del aparato.

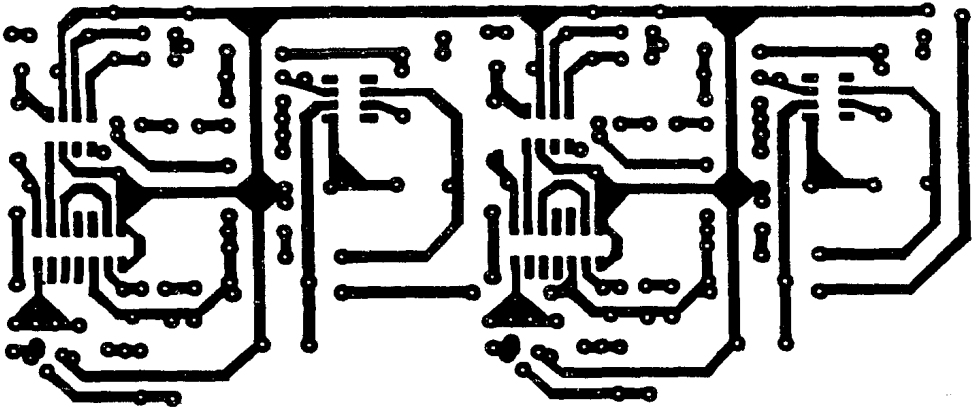


Figura 73 Circuito impreso líneas de retardo canales 1 y 4

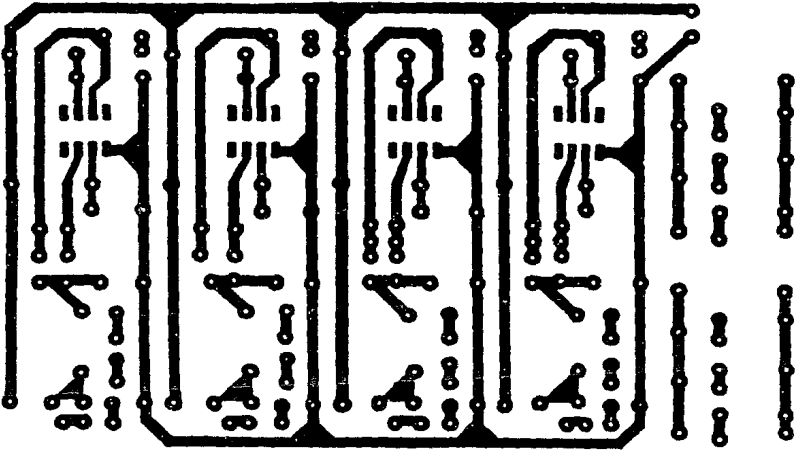


Figura 74 Fenólico de los amplificadores canales 2 y 3 amplificadores y filtros pasa bajos "subwoofers" canales 5 y 6

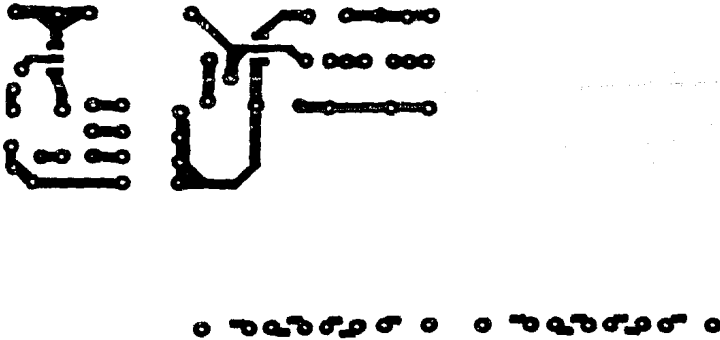


Figura 75 Fenólicos de fuente de alimentación e indicadores

## IV.5 DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL CHASIS

Para facilitar el diseño del chasis es necesario llevar una metodología, por lo cual comenzaré dividiéndolo en secciones y dándole un orden a cada sección según su importancia, considerando como más importante aquella sección que no acepta muchas modificaciones y como menos importante la que puede ser sujeta a las especificaciones de las anteriores, siendo este criterio aplicado con anterioridad dentro de este capítulo.

El diseño del chasis será dividido en las siguientes cuatro secciones:

IV.5.1 Dimensiones y distribución requerida por los componentes internos.

IV.5.2 Dimensiones y distribución de los dispositivos de control e indicadores, es decir, de la portada o frente.

IV.5.3 Dimensiones y distribución de los dispositivos o elementos de entrada, salida y seguridad, es decir, trasero (donde irá la alimentación del aparato, su dispositivo de seguridad así como sus entradas y salidas de señal).

IV.5.4 Dimensiones y distribución de elementos adicionales que abarquen los cuatro costados (derecho, izquierdo, superior e inferior), pudiendo abarcar orificios para sujetadores, abrazaderas y bases.

Cabe hacer notar dentro de la metodología empleada, que el hecho de llevar un cierto orden, implica el haber tenido una visión general de los pasos a seguir, puesto que de lo contrario se tendría que estar regresando de los pasos finales al principio en numerosas ocasiones.

#### IV.5.1 Dimensiones y distribución requeridas por los componentes internos.

Después de realizar diversas distribuciones, concluyo como mejor distribución la representada en el siguiente esquema.

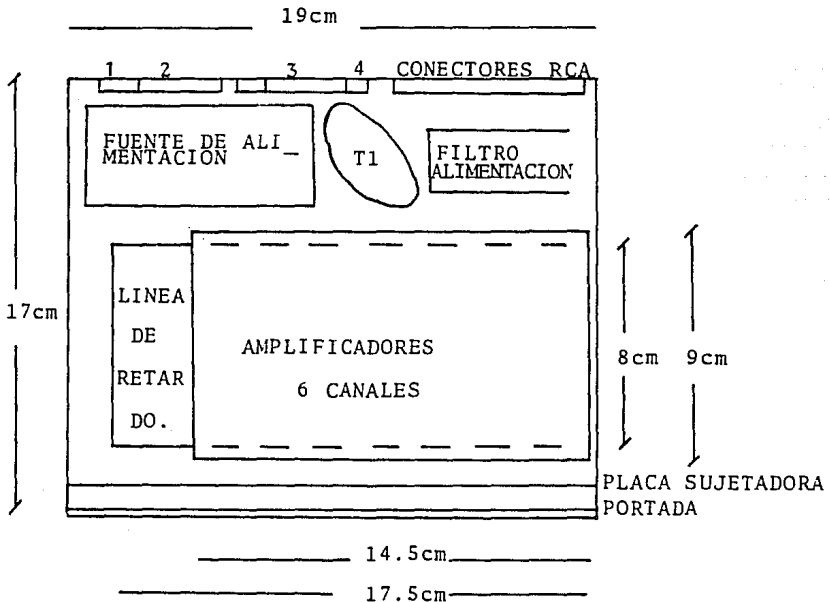


Figura 76 Distribución de los componentes interiores.

- 1) Fusible
- 2) Conector de cable de línea.
- 3) Selector de 116 V a.c. ó 12 V d.c.
- 4) Entrada de corriente para 12 V d.c.

Tomando en cuenta el esquema anterior, se obtienen las siguientes dimensiones.

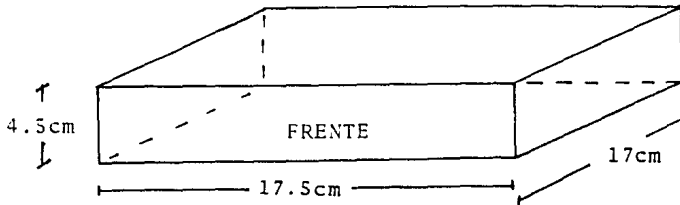


Figura 77 Dimensiones exteriores.

Placa galvanizada cal. 16 (base).

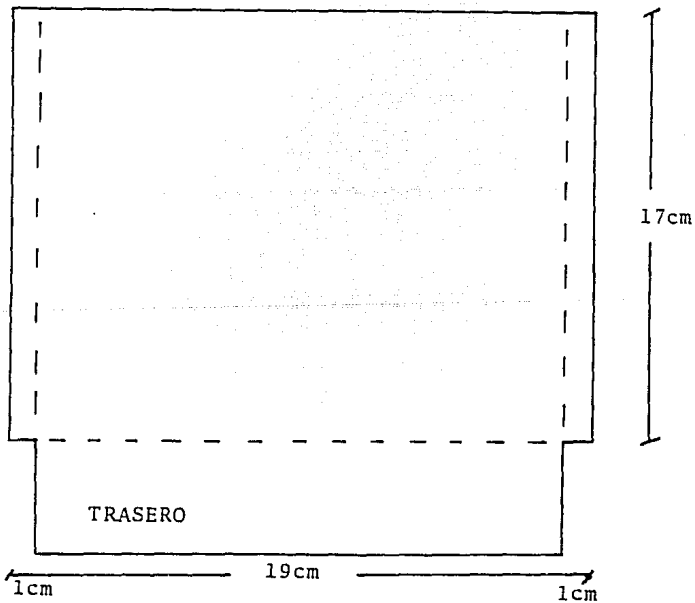


Figura 78 Lámina extendida.

## IV.5.2 Dimensiones y distribución de los dispositivos de control.

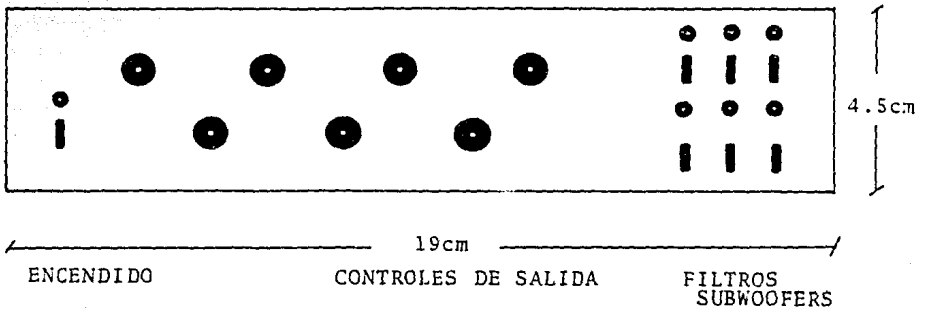


Figura 79 Frente delantero "Portada"



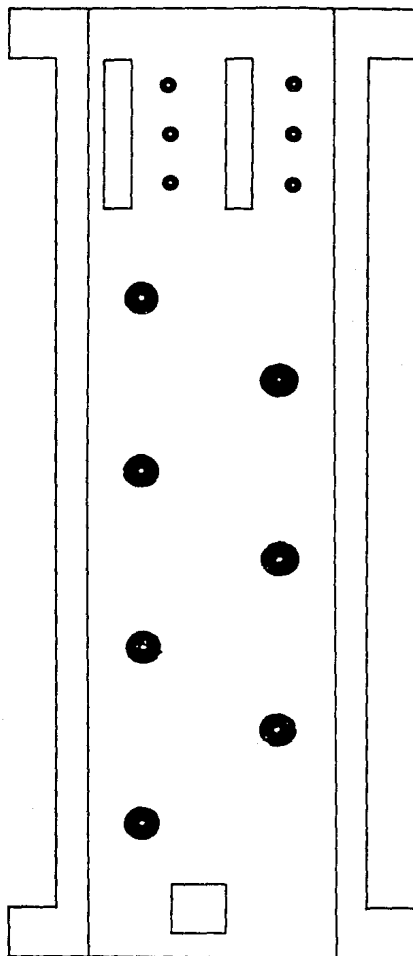


Figura 80 Base montaje delantero, lámina galvanizada cal. 16

IV.5.3 Dimensiones y distribución de los elementos de entrada y salida.

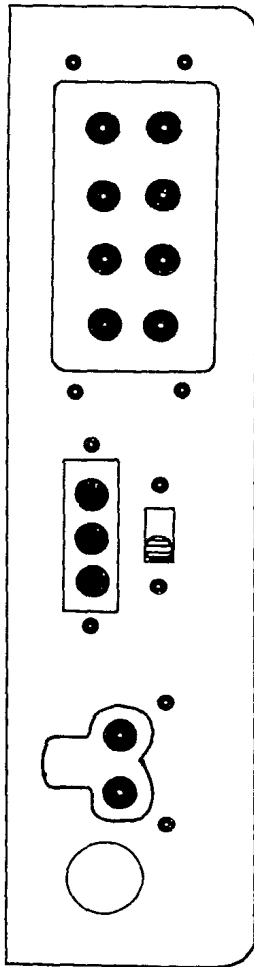


Figura 81 Vista trasera de la base.

IV.5.4 Costados o tapa superior

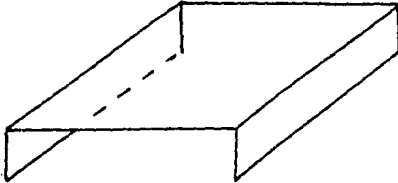


Figura 82 Tapa superior

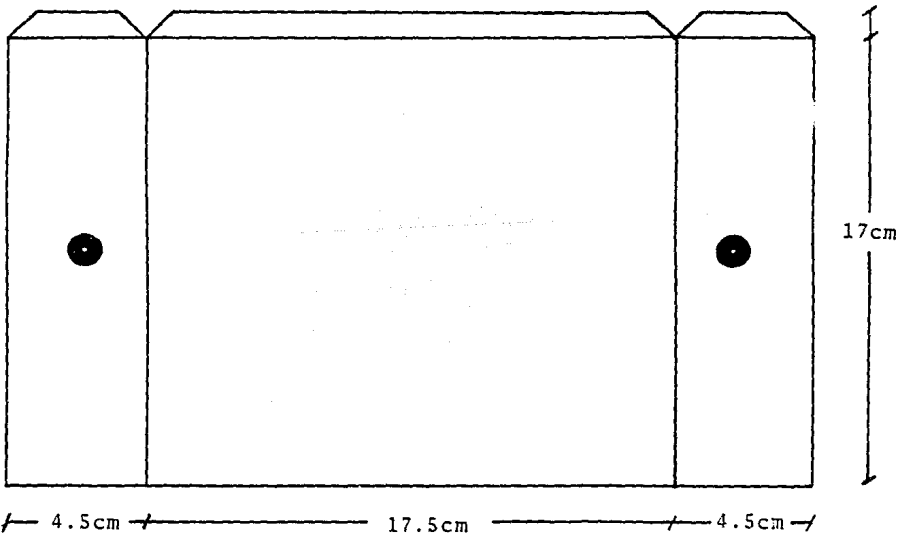


Figura 83 Lámina extendida de tapa superior.

El chasis fue construido en el taller de mecánica de la Universidad La Salle. Destacando entre las maquinas empleadas, la Dobladora de metal, la Cortadora de metal, el Taladro fijo y la Fresadora.

Cabe hacer notar que se trata de un aparato prototipo, por lo cual la construcción comercial requiere de otra metodología, basándose principalmente en costos y volúmenes.

## CAPITULO V

### ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

#### V.1 ESPECIFICACIONES OBTENIDAS

Corriente de alimentación:

120 V a.c. ó 12 V d.c.

Entradas analógicas:

2 (derecha e izquierda)

Salidas analógicas:

6 (dos delanteras: derecha e izquierda)

(dos traseras: derecha e izquierda)

(dos centrales: derecha e izquierda)

Niveles de entrada:

0 a 2.5 volts pico a pico

Niveles de salida:

0 a 10 volts pico a pico

Ganancia en las salidas:

3.5 a 13.5 dB (ajustable)

---

Tiempo de retardo:

0 a 54 ms (ajustable)

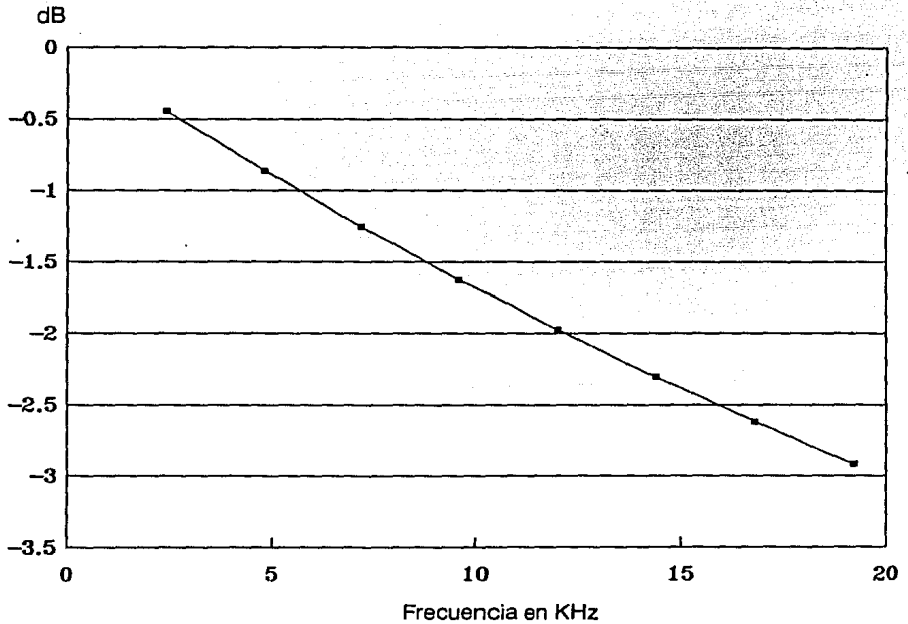
Efectos empleados:

Retardo del tiempo en la reverberación en dos canales.

Control del ancho de banda en dos canales (subwoofer)

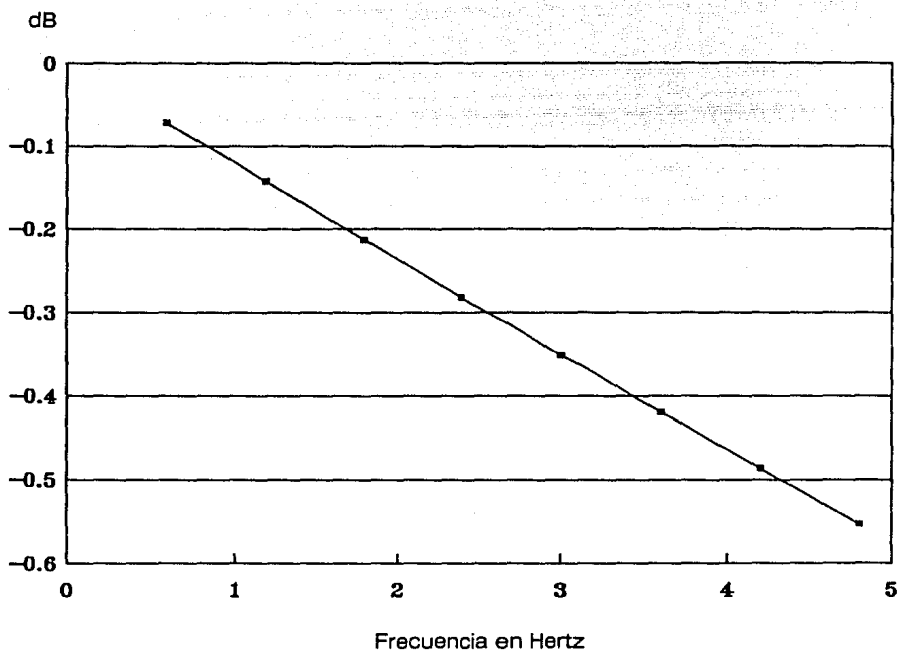
Corte de "subwoofer":

Ajustable en ambos canales siendo el máximo 320 Hz.

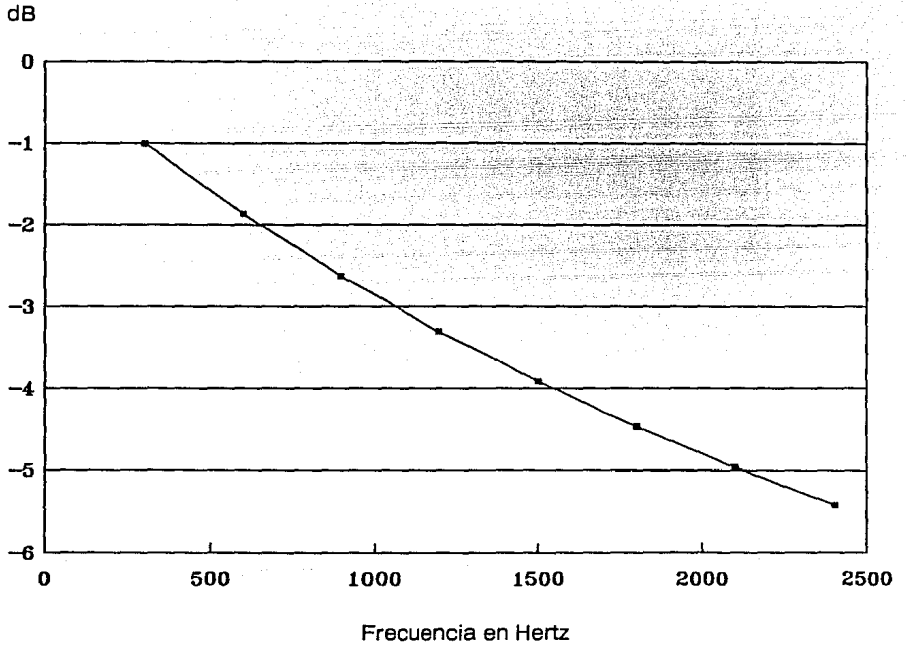


Gráfica 7 Salida de los amplificadores. Frecuencia en función de la potencia.

Comportamiento de los canales de "subwoofer"

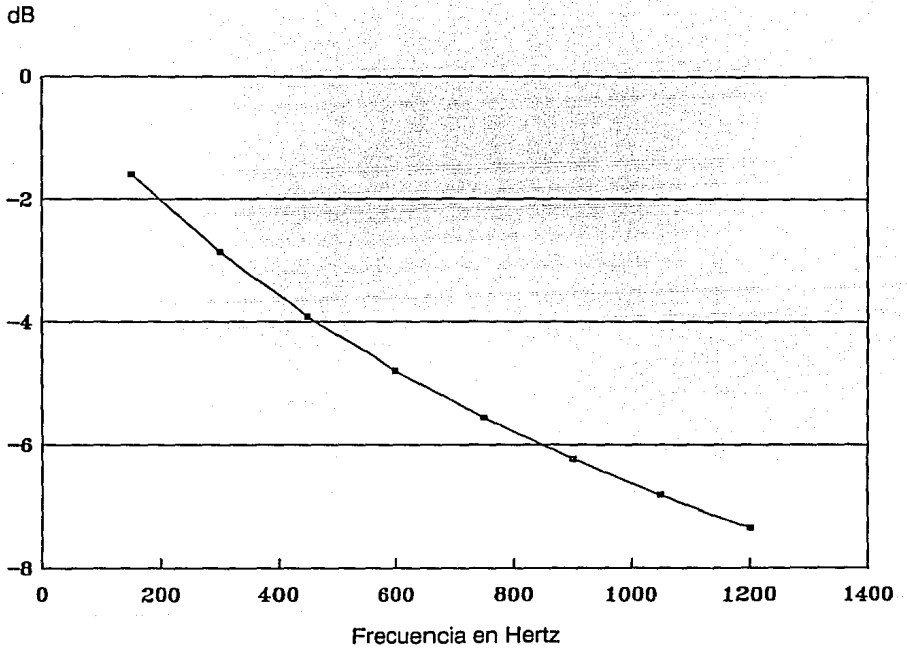


Gráfica 8 Salida "subwoofer" con  $C8 = 0.001 \mu F$



Gráfica 9 Salida "subwoofer" con  $C8 = 0.0033 \mu F$



Gráfica 10 Salida "subwoofer" con  $C8 = 0.01 \mu F$

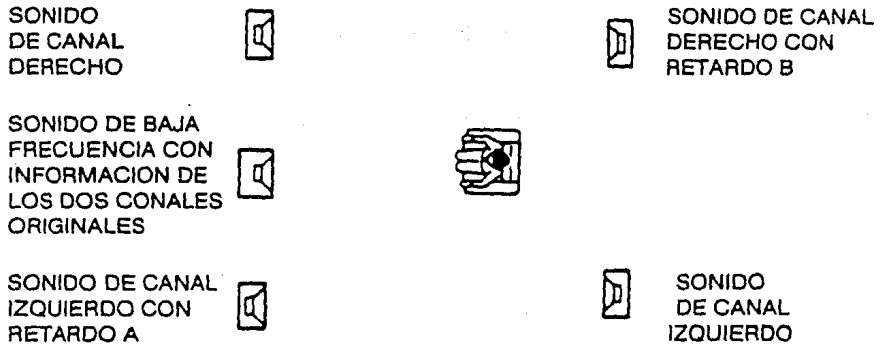


Figura 84 Disposición sugerida para recintos pequeños.

---

La configuración anterior pudo mostrar el funcionamiento del procesador ambiofónico dentro de una habitación de dimensiones escasas 3.40 m x 3.40 m x 2.2 m de altura con alfombra en el piso, papel tapiz convencional en las paredes. En esta prueba pudo apreciarse el funcionamiento de las líneas de retardo en los canales C1 y C4 de ubicación opuesta, dichos canales proporcionaron la sensación de encontrarnos en un recinto bastante amplio, así como el distinguir la separación entre las demás señales como el caso de C1 con C2 y C3, así como C4 con respecto a C2 y C3 mientras que C5 y C6 reforzaron la señal estereo original en la baja frecuencia produciendo gran realidad especialmente al estar escuchando el audio de una película en formato estereo, aún en el caso de contar con una videocasetera mono aural se pudo lograr buenos resultados gracias a los retardos de los canales C1 y C4 teniendo éstos tiempos diferentes.

Una de las principales cualidades del procesador ambiofónico es su fácil manejo, contando con controles separados de retardo para las dos líneas, así como controles independientes del nivel de volumen para los canales C1, C2, C3, C4, así como un control doble para los canales C5 y C6, no teniendo uso práctico separar sus niveles debido a que ambas unidades sonoras se encuentran dentro de una misma unidad acústica "Subwoofer". Todo esto proporciona un fácil manejo del procesador ambiofónico sin necesidad de estar ajustando los amplificadores de potencia.

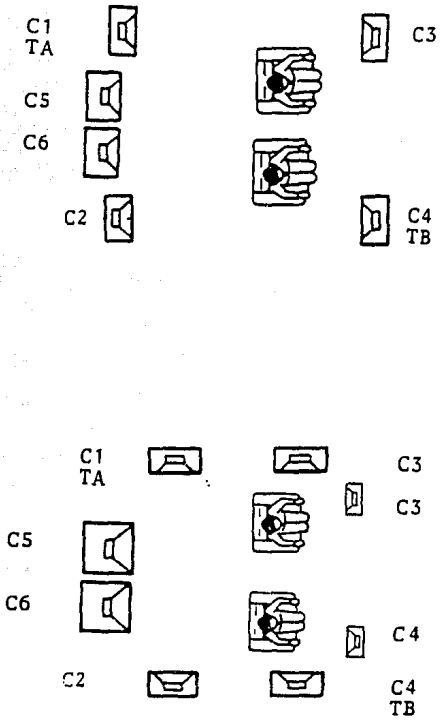


Figura 85 Disposición sugerida para automóviles

En cuanto a la instalación dentro de un automóvil, se toma en cuenta que el ecualizador, el procesador ambiofónico, así como los amplificadores, poseen relevadores, por lo que encienden y apagan automáticamente conforme al autoestereo.

Los cables empleados en la instalación del equipo son de características específicas, puesto que hay que evitar el ruido que podría provenir del motor del automóvil y teniendo también como objetivo una reproducción completa en la reproducción de audio, así como buen flujo de corriente en la alimentación de los aparatos.

En esta disposición se obtuvieron resultados semejantes al ejemplo anterior, lo cual es muy satisfactorio, tomando en cuenta el tamaño limitado del recinto acústico, así como las estrictas características a las cuales está sujeto todo equipo para automóvil como son las siguientes:

- Espacio limitado
- Corriente de alimentación impura
- Altas temperaturas
- Conexiones limitadas

En este ejemplo es importante el haber podido realizar una separación definida entre las unidades sonoras tomando en cuenta la poca separación entre una bocina y otra, especialmente cuando se manejan potencias mayores de 5 watts dentro de esta disposición.

## **V.2 Análisis Económico**

El análisis económico del proyecto refleja el costo del diseño, construcción y ensamble de un aparato prototipo, por lo que deben considerarse numerosos aspectos si se quiere llegar al análisis económico de la comercialización, lo cual implicaría muchos factores a considerar, puesto que por citar un ejemplo, podría afirmar que un producto exhibido en aparador engloba una relación de costos, pudiendo ser dividida de la siguiente forma; un tercio como valor de los componentes y material empleado, un tercio por su fabricación tomando en cuenta toda la mano de obra, la maquinaria, así como las utilidades de la fabrica y todo lo referente a ésta. El tercio restante se referiría a la comercialización del aparato, tomando en cuenta los gastos y la utilidad del comerciante, así como los gastos de publicidad y promoción. Estas relaciones

---

son citadas por dar un ejemplo, debido a que en casi todos los casos es difícil hablar de proporciones reales, es decir, certeras. Y eso es debido al gran número de factores, los cuales envuelven la idea concretizada de un proyecto bajo el nombre de un producto.

Como puede esperarse, todo el material (componentes electrónicos, láminas, cables, tornillos, etc.) del proyecto es desde tres hasta veinticinco veces más costoso que en el caso de su compra por mayoreo industrial.

Tomando en cuenta el comentario anterior, citaré el valor del material empleado en el proyecto, tomando en cuenta dos precios, el de una pieza y el de mayoreo.

PRECIOS	MENUDEO	MAYOREO
1 Cable de línea	2,000	1,200
1 Porta fusible en rosca	3,000	1,500
1 Porta fusible de línea	2,500	2,000
1 Transformador 11 7v - 12 v 500 mA	15,000	7,000
2 Fusibles 500 ma 117 Va.c.	750	350
4 Diodos BY 127	400	200
1 Regulador 7810	1,500	900
1 Disipador de calor para regulador 7810	2,000	800
1 Relevador 12 volts	6,000	3,000
2 Circuito integrado Rd 5108	130,000	60,000
2 Flip-Flop dual LM 4013	3,400	1,600
2 Transistores MPS 2222 A	900	450
2 Diodos 1N 914	200	100
6 Transistores MPS 2907	900	450
6 Circuitos integrados Lm 741	7,500	3,750

#### RESISTENCIAS 1/4 WATT

2	1 M $\Omega$
8	10 $\Omega$
8	4.7 K $\Omega$
10	10 K $\Omega$
2	2.2 K $\Omega$
2	33 K $\Omega$

2	1 K $\Omega$		
6	12 K $\Omega$		
6	3.3 K $\Omega$		
6	22 K $\Omega$		
6	15 K $\Omega$		
1	180 $\Omega$		
1	39 $\Omega$		
2	270 $\Omega$		
1	510 $\Omega$	63 RESISTENCIAS	3,150 I,040

## POTENCIOMETROS

2	1M $\Omega$	5,000	3,000
4	10k $\Omega$	10,000	6,000
1	10 k doble $\Omega$	3,000	2,000

## CAPACITORES

13	0.1 $\mu$ F 250 V	10,400	3,900
6	1 $\mu$ F 50 V	1,200	800
2	47 pF	300	200
6	10 $\mu$ F 50 V	1,800	1,200
8	0.003 $\mu$ F 100V	6,400	1,600
6	40 pF	900	420
6	100 $\mu$ F 50V	1,800	1,200
2	0.001 $\mu$ F 1000 V	400	200
2	0.01 $\mu$ F 400 V	400	200
1	0.33 $\mu$ F 250 V	300	200
1	4700 $\mu$ F 50 V		
7	Interruptor 3 polo 3 tiros miniatura	31,500	9,450
7	7 diodos LED rojos	2,100	910
1	Tableta con 6 RCA Jack	5,00	2,000
1	Tableta con 3 conectores de tornillo	2,500	1,000
1	Interruptor 3 polos 3 tiros deslizable	2,500	1,050
1	Entrada para cable de línea	3,000	2,000
7	Perillas de aluminio	21,000	7,700

1	Fenólico de una cara de 20 cm x 20 cm	5,800	2,100
1	Cartón aislante de 20 cm x 20 cm.	1,300	100
	Lámina Galvanizada #16 30 cm x 20 cm.	1,000	700
	Lámina plastisol 30 cm x 20 cm.	1,350	900
	Pintura negro mate	3,000	1,500
	Aluminio de 3 mm # 12 5 cm x 90 cm	2,000	1,800
	Lija del # 600 4 Pzas	4,000	2,000
6	cm. Tubo plástico	800	300
21	Tornillos con tuerca 1/8" "diámetro 1/2" largo	2,100	1,050
3	Tornillos con tuerca 1/3 "diámetro 1.5" largo	450	180
4	Tornillos con tuerca 1/3 diámetro cabeza alen 3/4" largo	2,760	910
6	Pijas para laminza 1/4" Largo	300	100
	Acido cloruro férrico	4,000	1,200
	Foto resis	2,000	800
	Revelador para foto resis	2,000	800
1m	Cable verde # 24	1,050	300
2m	Cable morado # 24	2,100	600
1m	Cable naranja # 24	1,050	300
1m	Cable blanco # 24	1,050	300
1m	Cable negro # 18	1,400	700
1m	Cable negro # 18	1,400	700
		330,160	146,010

Por lo general en la realización de un proyecto suele ser mucho más elevado el costo del tiempo empleado en éste comprendiendo desde su diseño y planeación hasta su funcionamiento, el cual debe estar sujeto a numerosas pruebas.



## CONCLUSIONES

En la actualidad es posible describir y comprender el funcionamiento del oído así como sus efectos en el cerebro sin embargo es sorprendente como a pesar de sus características concretas es posible crear mejoras dentro del audio a pesar de ser una de las áreas más antiguas de la electrónica, razón por la cual llevo una secuencia desde la percepción del sonido, así como una descripción histórica de los avances obtenidos en décadas anteriores pudiendo concluir que al igual que en otras áreas de la electrónica existirá siempre un avance paralelo, aún a pesar de las específicas características de nuestros sentidos.

La década de los sesentas, planteó el inicio de un gran avance con el desarrollo de las computadoras, habiendo sido perfeccionadas sorprendentemente durante los ochentas, trayendo como consecuencia el gran manejo y estudio de la digitalización, razón por la cual en la actualidad numerosos equipos electrónicos manejan sus procesos en el campo de la lógica digital, es decir, siempre que se produce un avance en la electrónica, éste es proyectando hacia todas las demás áreas, existiendo en la actualidad equipos de audio capaces de realizar sus funciones como equalización, efectos especiales y otras más dentro del dominio digital pero también puede observarse como aún trasciende más allá de los campos de la ingeniería llegando hasta los puntos más íntimos de la vida humana.

Dentro de la elaboración del procesador ambiofónico se tomó en cuenta las características del oído de percepción siendo un punto muy importante a tratar el efecto Hass, el cual nos proporciona una noción de como ubicamos la posición de la fuente sonora. Anteriormente se concideraban dentro del diseño del equipo de audio electrónico, el manejo de frecuencias y potencia principalmente comprometiendo a los recintos el aspecto acústico, siendo estos tres elementos inseparables, sin embargo cabe hacer notar que la inquietud de modificar los efectos de acústica como la reberberación y la sensación artificial de grandes o variados recintos, había sido objeto de estudios desde algunas decadas anteriores pero por desgracia obteniendo resultados no muy satisfactorios paralelos al desarrollo de las técnicas artificiales de retardo, por lo que en la actualidad este punto ha sido superado notoriamente dando resultados satisfactorios en los procesadores ambiofónicos, dotados de gran versatilidad,

---

sin embargo considero razonable esperar mejoras dentro de las tres características inseparables percibidas en toda audición las cuales son

Manejo de frecuencias  
Manejo de potencias  
Manejo de la acústica

Todo este avance puede ser percibido en la actualidad con el simple hecho de conectar cables de 200 hilos especiales para bocinas, siendo producto de las últimas investigaciones de conductores y percibir con el oído la diferencia. Sin embargo se podría decir que los cables fueron inventados hace bastantes décadas, pero al igual que todo siguen experimentando avances.

El desarrollo físico de un proyecto, envuelve muchos aspectos destacando los siguiente:

Documentación:

Características y principios básicos por emplear;  
Antecedentes históricos;  
Técnicas anteriores diversas soluciones empleadas;  
Técnicas actuales, soluciones planteadas.

Desarrollo:

Planeación del proyecto;  
Diseño y cálculo matemático;  
Diseño físico del proyecto;  
Pruebas y resultados obtenidos;  
Sugerencias y conclusiones.

Debido al gran número de aspectos que puede envolver la creación física de un proyecto, opté por este obteniendo así resultados satisfactorios, los cuales van más allá del funcionamiento del procesador ambiofónico dejando en esencia los principios de acústica considerados para poder así realizar mejoras en el aspecto acústico de reproducciones sonoras con sensación de espacio-ambiente controlado lo cual cumple ampliamente los objetivos trazados.

**BIBLIOGRAFIA**

---

---

Libros:

1. BERANEK, LEO L.  
"Acoustic Measurements"  
John Wiley and Sons Inc.  
New York 1949
2. DAVIS, DON  
"Acoustical Tests and Measurements"  
Howard W. Sams and Co.  
Indianapolis 1965
3. OLSON, DR. HARRY F.  
"Musical Engineering"  
Mc Graw Hill Book Co  
New York 1967
4. RETTINGER, MICHAEL  
"Room Design and Noise Control"  
Chemical Publishing Co.  
New York 1968
5. LAWRENCE, E. KINSLER  
Austin R. Frey  
Alan B. Coppens  
James V. Sanders  
Fundamentos de Acústica  
Limusa Noriega  
México, D. F. 1990

## Revistas:

### POPULAR ELECTRONICS

Febrero	1966	U.S.A.
Agosto	1966	U.S.A.
Mayo	1967	U.S.A.
Enero	1968	U.S.A.
Mayo	1968	U.S.A.
Junio	1970	U.S.A.
Julio	1973	U.S.A.
Noviembre	1973	U.S.A.
Marzo	1982	U.S.A.
Junio	1982	U.S.A.

### ELEKTOR

Marzo	1982	ESPAÑA
-------	------	--------

### AUDIO'S GUIDE

Diciembre	1990	U.S.A.
-----------	------	--------