

870117

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE INGENIERIA

5<sup>2</sup>  
Egna.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

SELECCION Y CALCULO DE UN SISTEMA DE SONIDO PARA LA  
IGLESIA DEL SANTO NIÑO DE ATOCHA.

## TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

JESUS DELMIRO BERNAL VAZQUEZ

GUADALAJARA, JAL. DICIEMBRE DE 1988



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.

# I N D I C E

	Página
INTRODUCCION .....	1
CAPITULO I	
ONDAS EN EL ESPACIO .....	4
CAPITULO II	
ACUSTICA .....	9
CAPITULO III	
CALCULO DEL BAFLE .....	22
CAPITULO IV	
SELECCION DEL AMPLIFICADOR Y MICROFONO .....	37
CAPITULO V	
CONEXIONES ELECTRICAS .....	51
CAPITULO VI	
TABLERO DE CONTROL .....	60
CAPITULO VII	
CALCULO DE LA REVERBERANCIA .....	65
CAPITULO VIII	
ANALISIS ECONOMICO .....	68
CONCLUSIONES .....	70
BIBLIOGRAFIA .....	76

## I N T R O D U C C I O N

Poca consideración se tiene acerca de qué es la -- acústica en un diseño arquitectónico. Casi nunca se le da la suficiente importancia; la mayoría de las veces por ignorancia, siendo que la acústica es tan indispensable en un - proyecto, como lo es la iluminación.

En nuestro local, debido a sus funciones, es impe- rativo que tenga una buena acústica.

La arquitectura típica empleada en este tipo de re cintos, dificulta la buena sonorización del local, y hay mu chas iglesias conocidas por su mala acústica, donde parece que el mismo Dios estuviera repitiendo las palabras que el clérigo dice.

Existen diferentes alternativas para sonorizar el local; sin embargo hay que acoplar nuestro sistema a lo que se pueda utilizar y teniendo muy en cuenta el factor econó- mico.

Un sistema de audio se compone de tres elementos - básicos:

1. Los transductores, que son los dispositivos que convier- ten la energía acústica, eléctrica, mecánica, etc., a -

cualquier otra clase de energía.

2. Los dispositivos eléctricos, los cuales incluyen amplificadores, atenuadores, condicionadores de señales, -- etc.
3. El ambiente acústico que está determinado por la combinación de las características físicas del local, combinadas con las características de los otros dos elementos.

La función del sistema de sonido, se encuentra determinada en primer lugar, por lo que el usuario pide, y en segundo por lo que es posible abastecer.

Para nuestro ambiente acústico se tiene que las variables independientes son:

- Las dimensiones físicas del local.
- El ruido ambiental propio del local.
- Las características propias del sonido (velocidad, frecuencia, etc.).

Las variables dependientes son:

- Los elementos que utilizaremos en nuestro sistema (número, calidad, colocación, etc.).

- La reverberación del local.

Ahora bien, de acuerdo a lo anterior, se buscarán los elementos adecuados para un recinto que es altamente re verberante y con poco material absorbente.

## C A P I T U L O I

### ONDAS EN EL ESPACIO

Aunque pase desapercibido el detalle, es un hecho que "Vivimos sumergidos en un océano lleno de ondas", ya sean sonoras, de luz, de radiaciones en forma de calor, etc., etc.

Habiendo hecho la anterior reflexión, haremos un pequeño estudio sobre lo que son y como se dividen dichas ondas electromagnéticas, así como algunas de sus propiedades.

Primero definiremos qué es y cómo se causa una onda. Una onda es causada por una perturbación que empieza en un punto y se propaga a otro de una manera predecible; podemos entonces definir una onda como "La propagación de una perturbación en cierto medio, el cual puede ser incluso el vacío".

DIVISION DE LAS ONDAS. La división de las ondas electromagnéticas se hace en base a su frecuencia. (Ver fig. 3.1)

Definiendo la frecuencia como: (Ref 1)

$$F = \frac{V}{\lambda}$$

V es la velocidad de propagación de la onda y  $\lambda$  es la longitud de la onda, que es la longitud que tiene un ciclo completo de la onda.

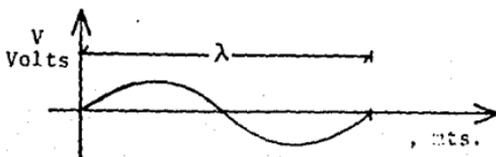


Fig. 3.1 Longitud de onda.

Y donde F la frecuencia, también expresada como  $F = \frac{1}{T}$  en donde T es el período o tiempo que tarda en recorrer la onda un ciclo completo.

Como puede verse, la frecuencia afecta el modo en que nos afectan las ondas, pudiendo ser en forma de luz, - sonido, etc.

PROPIEDADES DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS. (Ref 1, 2 y 3)

REFLEXION.- La reflexión es producida cuando una onda choca contra un objeto y esta onda es reflejada con un ángulo igual al de incidencia. (Ver fig 3.2)



$$\alpha = \beta$$

Fig. 3.2 Reflexión de una onda.

REFRACCION.- La refracción se presenta cuando la onda al pasar de un medio al otro cambia de dirección. (Ver fig 3.3).

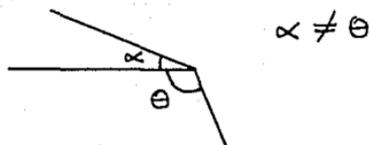


Fig 3.3 Refracción de una onda.

DIFRACCION.- La difracción se presenta cuando una onda no sólo sigue un camino recto, sino que parece dar -- vuelta hacia los lados y abarcar no un camino rectilíneo, -- sino que tiende a propagarse en otras direcciones.

ABSORCION.- Este fenómeno es el más sencillo, como su nombre lo indica es cuando una onda al chocar con -- cierto material, dependiendo de las propiedades de dicho material, parte de la energía es absorbida y en ocasiones toda la energía es absorbida por dicho material, lo que ocurre con la luz al chocar con un cuerpo negro, convirtiéndose toda esta energía en calor, lo cual es la última degradación de esta energía.

INTERFERENCIA.- Es el fenómeno que resulta de la superposición de ondas de frecuencia, fase o direcciones de propagación idénticas o próximas, implicando modificaciones de los valores característicos en el espacio o en el tiempo de cada una de las ondas consideradas.

La interferencia puede ser constructiva o destructiva.

La Constructiva cuando se encuentran en fase dos ondas, éstas se suman y como resultado tendremos una onda cuya amplitud será la suma de las dos.

Es Destructiva cuando las ondas por estar fuera de fase se restan entre sí, y si son de igual amplitud llegan en ocasiones a anularse completamente cuando se encuentran  $180^\circ$  fuera de fase.

ONDAS ESTACIONARIAS.- Estas pueden formarse cuando dos trenes de ondas recorren un mismo trayecto en un medio, con la misma velocidad, pero en direcciones opuestas.

ONDAS ARMONICAS.- Estas se presentan como múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, como ejemplo si la fundamental es 100 Hz, sus armónicas serán 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz., etc.

Cabe aclarar que el sonido no es una onda electromagnética, pero al usar un transductor y convertir la energía eléctrica en mecánica podemos producir sonido (perceptible por el hombre) si la frecuencia se encuentra entre 20 y 20,000 Hz.

Otra excepción es que a diferencia de las ondas --

electromagnéticas el sonido no se puede producir ni propa -  
gar en el vacío.

## C A P I T U L O    I I

### ACUSTICA (Ref 1, 2, 3 y 4)

#### 2.1 Historia

La acústica es la física del sonido, aunque si bien la teoría fundamental de la acústica trata de la vibración y de la propagación de las ondas, se le puede considerar como una ciencia multidisciplinaria, ya que ésta envuelve todo lo referente a la producción, transmisión y efectos del sonido y ruido.

La acústica es una de las ciencias más antiguas. Pitágoras fué el que puso sus cimientos en el siglo VI A.C.

Los trabajos de Mersene y Newton que demostraron el papel de la electricidad en la formación del sonido y la teoría del sonido de Lord Rayleigh, publicada en 1895, parecían haber resuelto los problemas planteados.

Pero en el transcurso de los últimos cincuenta años se ha desarrollado considerablemente una parte de la acústica, llamada electroacústica. Gracias a esto se permiten resolver problemas mediante analogías mecánicas, acústicas y eléctricas como Masa, Inductancia e Inertancia; Frotamiento,

resistencia y radiación; Rigidez, capacidad y capacitancia;  
Velocidad, corriente y consumo.

Ocuparíamos pues libros para cubrir todo lo referente a acústica, pero ese no es nuestro objetivo, por lo tanto sólo se incluye en este capítulo algunos principios fundamentales de la acústica, así como otros de importancia para nuestro fin.

La acústica tiene tres conceptos fundamentales:

1. La producción del sonido.
2. La transmisión del sonido.
3. La recepción del sonido.

Para que escuchemos algún sonido son indispensables los tres pasos anteriores.

Ahora bien, para que se produzca el sonido es necesario poner en vibración el aire, cuando hablamos hacemos vibrar nuestras cuerdas vocales, poniendo en vibración el aire que nos rodea, las frecuencias alcanzadas por la voz están comprendidas entre 85 Hz a 1,100 Hz, más, por supuesto, sus respectivas armónicas, aunque esto no es una regla estricta, pues hay quienes pueden alcanzar valores superiores a 1,100 o inferiores a 80 Hz, dependiendo de la edad, sexo, etc.

La velocidad del sonido, es la velocidad con que --

las ondas sonoras se propagan a través de un medio dado, en este caso el aire.

La velocidad del sonido en el aire viene dada por  $c\sqrt{\gamma P/\rho}$  m/seg.

En donde  $\gamma$  es la razón entre el calor específico del aire a presión constante y el correspondiente a volumen constante,  $P$  es la presión en Newtons/metro<sup>2</sup> y  $\rho$  es la densidad en Kg/m<sup>3</sup>. (Pág. 39-1).

En condiciones normales de presión y temperatura la velocidad del sonido es de 343 m/s, y aumenta aproximadamente 0.6 m/s cada vez que la temperatura sube 1°C.

La velocidad de éste es independiente de los cambios de presión barométrica, de la frecuencia y de la longitud de onda, pero es directamente proporcional a la temperatura absoluta, o sea:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Donde  $C_1$  = velocidad a la temperatura 1  
 $C_2$  = velocidad a la temperatura 2  
 $T_1$  = temperatura 1  
 $T_2$  = temperatura 2

El sonido por tratarse de una onda o perturbación es portador de energía, parte de esta energía es cinética -

debido al movimiento de las partículas en el medio, y parte es energía potencial debido al desplazamiento elástico de las mismas partículas, sin embargo cabe aclarar que la energía que contiene el sonido es sumamente pequeña, cabe preguntarnos entonces por qué se ocupan amplificadores de tan gran potencia para producirlo; esto es debido a la baja eficiencia de los amplificadores (alrededor de un 10% al 15%) y a la exageradamente baja eficiencia de las bocinas (alrededor del 2% al 4%).

**INTENSIDAD DEL SONIDO.**- La intensidad de un cierto sonido es la magnitud de la sensación auditiva, producida por la amplitud de las perturbaciones que llegan al oído. La energía vibracional del sonido es una propiedad física, mientras que la sonoridad es una cualidad subjetiva y por lo tanto no puede medirse con instrumentos.

La escala usada para medir la intensidad acústica es una escala logarítmica, ya que el oído es un instrumento tan extraordinariamente sensible, y el umbral de audibilidad puede oír intensidades de hasta  $10^{14}$  veces mayor que el umbral de dolor. Ninguna clase de instrumento mecánico sería capaz de cubrir por sí solo todo este intervalo, ejemplificando tendríamos una simple analogía al compararlo con una balanza capaz de medir el peso de un cabello humano con precisión, y fuera además capaz de pesar un crucero marino con una exactitud también razonable.

Por definición el BEL =  $\log \frac{I}{I_0}$  donde  $I_0$  es la intensidad acústica de algún patrón arbitrario,  $I$  es la intensidad que se compara con  $I_0$ ,  $I_0$  se toma arbitrariamente como  $10^{-16}$  w/cm<sup>2</sup> a 1000 Hz, ya que esta energía es muy cercana al umbral de audibilidad en esa frecuencia y representa 0 Bel.

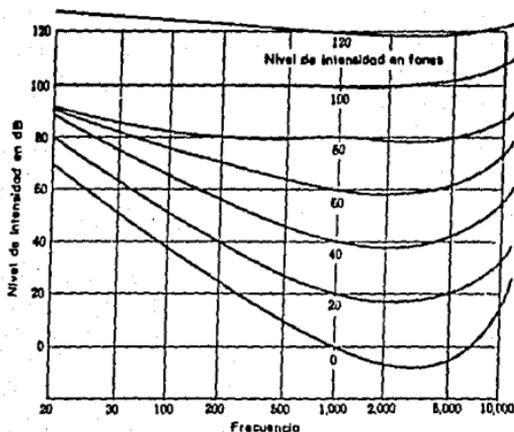
Un nivel de intensidad de 1 BEL es  $10^{-15}$  w/cm<sup>2</sup>  $\Rightarrow$   
 $\log \frac{10^{-15}}{10^{-16}} = \log 10 = 1$  BEL y por conveniencia el BEL fué dividido en diez partes llamadas cada una de ellas decibel, abreviado db y por ello  $db = 10 \log \frac{I}{I_0}$ . Un nivel de sonido de 1 db es la supuesta mínima diferencia en intensidad acústica que el sonido humano alcanzaría a diferenciar.

Para ejemplificar tenemos: (Ver tabla 2.1)

Cuchichear, murmullo a 1.50 m	10 db
Calle tranquila, sin tráfico	30 db
Hogar tranquilo	40 db
Conversación corriente	60 db
Calle transitada	70 db
Fábrica ruidosa	90 db
Remachado	100 db
Estruendo (muy alto)	110 db
Umbral de molestia (promedio)	120 db

Tabla 2.1 Niveles de Intensidad Sonora en db.

Debido a que el oído humano no tiene una respuesta lineal a diferentes frecuencias como se muestra en la gráfica 2.1; en 1933 Fletcher y Munson se idearon para construir una escala de líneas de igual intensidad auditiva para diferentes frecuencias de tonos puros, midiendo la intensidad en la cual los diferentes tonos puros de diferentes frecuencias son igualmente fuertes y dado que iguales sensaciones sonoras se producen a diferentes niveles de intensidad, -- Fletcher y Munson propusieron una unidad llamada el Fon, -- donde los resultados obtenidos fueron los de la gráfica 2.1 y donde un nivel de intensidad de 9 fones producen un sonido aproximado del doble que el original.



Gráfica 2.1 Contornos sonoros de igual intensidad (pág. 47-2)

Aclaremos sin embargo que esta escala no es una escala del todo exacta, ya que no toma en cuenta los factores subjetivos (la escala más usada es la decibélica).

EL OIDO HUMANO.- El oído humano es básicamente un transductor electroacústico, altamente sensible, que responde a una gama de frecuencia comprendida entre los 20 Hz a los 20,000 Hz, y a un vasto alcance de formas de onda, así como de intensidades.

Para su estudio se divide en tres partes que son : el oído externo, el oído medio y el oído interno.

El oído externo está formado por el pabellón, el cual es el encargado de recibir los sonidos.

El oído medio es el encargado de transformar las señales en forma de presión de aire en energía mecánica y luego transmitir estos movimientos al oído interno. También existen aquí algunos mecanismos de protección contra el polvo y contra grandes intensidades de presión acústica. La parte más sobresaliente aquí, es donde se encuentra el MEATUS, también llamado canal de la audición, el cual aunque no se trata de un cilindro perfecto por tener un poco de forma cónica, para fines prácticos se le puede considerar como un tubo con un extremo cerrado y otro abierto con una longitud de aproximadamente de 2.7 cm. y un diámetro de ---

aproximadamente 0.7 cm., el cual produce una onda estacionaria de 4 veces la longitud del trayecto del meatus o alrededor de .108 m. Siendo el extremo cerrado un nodo y el abierto un vientre.

La frecuencia correspondiente a la velocidad del sonido en el cuerpo humano es  $F = \frac{354 \text{ m/s}}{.108 \text{ m}} = 3280 \text{ Hz}$ , produciéndose así una amplificación de 5 a 10 db para frecuencias entre 2,000 y 5,000 Hz siendo éste el intervalo de mayor sensibilidad del cuerpo humano. (Ver gráfica 2.1)

El oído interno; en esta parte los estímulos mecánicos se convierten en impulsos nerviosos y son recogidos por el nervio acústico y luego transmitidos al cerebro.

Cabe aclarar que no todo lo que oímos es a través de los oídos, pues está comprobado que los huesecillos de la cabeza son capaces de recibir y transmitir al interior del oído estos estímulos, además de que nuestro cuerpo es capaz de sentir sonidos de muy bajas frecuencias, sobre todo a grandes intensidades, lo cual es utilizado sobre todo en efectos musicales de muy alta fidelidad, así como en efectos especiales como el Sensurround utilizado en el cine.

Algunas otras propiedades del sonido:

Efecto Doppler.- Este fenómeno es la aparente va-

riación de la frecuencia de una onda, y es debido a la va -  
riación de la distancia entre la fuente y el observador, la  
unidad es el Hert y la magnitud de la variación es llamada  
desplazamiento.

La nueva frecuencia  $F_i$  se expresa por la fórmula -  
 $F_i = (1 \pm \frac{V^1}{V}) F_o$ , en donde:

$F_o$  es la frecuencia de la fuente en Hz.

$V^1$  es la velocidad del elemento móvil (fuente de  
sonido).

$V$  es la velocidad del sonido.

Se utiliza el signo + cuando los dos elementos se  
aproximan y el signo - cuando estos se alejan uno  
de otro.

RESONANCIA.- Este fenómeno es el reforzamiento de  
un tono por ondas sonoras de frecuencia idéntica de otra --  
fuente sonora. Es también debido a la vibración de un cuer  
po en su frecuencia natural, la cual depende de sus caracte  
rísticas físicas (dimensiones) tales como longitud, anchu -  
ra, forma geométrica, etc.

Este fenómeno es tal que si ponemos un cuerpo a vi  
brar en su frecuencia de resonancia, éste quedaría indefini  
damente en movimiento, lo cual no sucede debido a la exis -  
tencia de la fuerza de rozamiento con el aire y por la fuer

za de gravedad.

VOLUMEN.- El volumen de un sonido es representado por la amplitud de la onda que lo forma; aunque esto no es completamente lineal, se puede considerar como tal.

TONO.- El tono es para el oído humano el atributo de la sensación auditiva en términos del cual puede clasificarlo y compararlo; a frecuencias bajas corresponden sonidos graves y a frecuencias altas sonidos agudos, aunque ésta también es una relación completamente lineal ya que también influye el volumen (así como también la frecuencia influye al volumen), a mayor volumen la curva se va asemejando más a una recta, esto es debido a una especie de protección del oído, pues éste es más sensible a frecuencias alrededor de las 1,000 a las 5,000 Hz y son las que causarían más daño si la sensibilidad fuera la misma a cualquier volumen. (Ver gráfica 2.1).

DIFRACCION.- La difracción del sonido varía con la frecuencia, las frecuencias bajas son las que difractan con mayor facilidad, no así las altas, a partir de los 200 Hz hacia abajo el oído humano casi no es capaz de distinguir la procedencia de un sonido dado, es decir pierde directividad.

DISPERSION.- Una onda es dispersable en todas direcciones cuando ésta choca con obstáculos cuyas dimensiones

son pequeñas comparadas con la longitud de onda incidente.

La dispersión es directamente proporcional al volumen del obstáculo e inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda, por lo que las ondas serán mejor dispersadas entre mayor sea su frecuencia.

**ABSORCIÓN.-** La absorción es la pérdida de energía de una onda al propagarse a través de un medio.

La absorción en los sólidos se debe a la interacción entre las ondas sonoras y las oscilaciones con la red, las ondas sonoras y los electrones en movimiento y a los efectos ferromagnéticos y ferroeléctricos.

En el aire la absorción de la energía sonora aumenta rápidamente al aumentar la frecuencia.

**FACTORES SUBJETIVOS.-** Lo que oímos depende de cada sujeto en particular y varía con el sexo, la edad, forma del individuo, entrenamiento musical, etc.

Es por eso que existen tantos problemas para medir el sonido o para definir una alta fidelidad.

**RUIDO.-** Ruido es todo aquello que oímos y que subjetivamente podemos definirlo como sonido indeseable o

desagradable. Técnicamente es el resultado de sonidos cu -  
 yas frecuencias y amplitudes se encuentran en desorden.

REVERBERANCIA.- Este fenómeno es la persistencia de un sonido en un recinto, y es ocasionado por las conti -  
 nuas reflexiones del sonido en las paredes cuando la fuente ha dejado de emitir sonido. La reverberación depende del -  
 tamaño, forma del recinto y frecuencia del sonido.

El tiempo de reverberación  $T$ , para una frecuencia específica, es el tiempo medido en segundos para que la presión disminuya a  $10^{-6}$  veces de su valor original o sea que decaiga 60 db.

$$T = 0.161 V/a \text{ Seg.}$$

De donde  $V$  es el volumen del recinto en  $m^3$  y  $a$  la absorción total del recinto en sabinos métricos.

Sabino métrico es definido como un metro cuadrado de material que absorbe perfectamente el sonido o bien que no refleja nada, por ejemplo una ventana abierta o un hueco en la pared.

Es un factor decisivo para la buena claridad, el tiempo de reverberación correcto, ya que un tiempo demasiado corto hace disminuir la intensidad del sonido en el re -

cinto, pudiendo no ser lo suficientemente fuerte en todas -- las partes del recinto. Un tiempo demasiado largo causaría ecos. Como se ve en ambos casos habrá una disminución de -- la claridad.

Dependiendo del destino que se le vaya a dar al re cinto, dependerá la cantidad de material absorbente que se tenga que usar para controlar la reverberación. (Ver cap. -- VII).

## C A P I T U L O    I I I

### CALCULO DEL BAFLE (Ref. 3, 4, 5 y 6)

Si colocásemos una bocina en el aire, ocurriría -- que las radiaciones emitidas por la parte posterior del cono, cancelarían gran parte de las emitidas por la parte anterior del mismo, sobre todo a bajas frecuencias por el -- efecto de difracción, pudiendo llegar a casi en su totali - dad por encontrarse fuera de fase.

Es entonces que las bocinas se colocan en el interior de una caja de material rígido, que es generalmente de madera, con el fin de evitar tal fenómeno. Así pues se llama baffle al producto final, el cual consta de la caja, material absorbente, bocinas, elemento divisor de frecuencias, revestimiento, conectores, etc., etc. Y es este conjunto - el que determina la respuesta final del sistema. Otra función del baffle es la de acoplar impedancias entre el aire y la bocina.

Contrariamente a lo que se piensa, el baffle no es un elemento musical, por lo tanto no debe resonar o tener - tono característico; por el contrario debe reproducir el ma - terial editado lo más fielmente posible, sin añadirle alguna coloración o tono particular.

Existen diferentes tipos de bafles, pudiéndose dividir en cinco principales categorías:

1. Bafle finito.

Donde la bocina es montada en el centro de una tabla finita. Su uso es muy escaso, ya que produce resonancias y se ocuparía hacerlos de grandes dimensiones.

2. Bafle infinito.

Donde la bocina es montada en un cajón completamente cerrado, y donde la única abertura corresponde al espacio de la bocina.

Su eficiencia es muy pobre, sobre todo en las bajas frecuencias.

3. Reflector de bajas frecuencias.

Dentro de esta categoría existen varios modelos, cuya característica principal de todos ellos es la de aprovechar la radiación de la parte posterior del diafragma de la bocina para sumarla con la de la parte anterior del mismo, usando diferentes técnicas, como ductos sintonizados a cierta frecuencia.

Estas bocinas ofrecen mejor eficiencia en las bajas frecuencias, pero su diseño es un poco más complicado que las anteriores.

#### 4. Cornetas.

Este es el tipo de baffle más eficiente y de más difícil construcción, ofrece un gran reto, ya que para que sea capaz de reproducir las bajas frecuencias sus dimensiones deben de ser enormes.

Existen, claro, diferentes tipos y formas de los mismos, pero todos usan el mismo principio.

La corneta es un transformador de impedancias acústicas, el cual transforma la alta presión y baja velocidad de las partículas en una baja presión y alta velocidad de las partículas en el aire, acoplándose así con una baja impedancia al alcanzar la boca de la corneta.

Su uso es limitado, usándose sobre todo en teatros o lugares donde la economía y el espacio lo permiten.

5. Por último una combinación de las anteriores, aunque para esto se ocupa tomar en cuenta demasiadas consideraciones y demasiados cálculos para su buen funcionamiento.

Pero, ¿cuál bafle es el mejor?, eso depende del -- uso que queramos darle. En nuestro caso es un bafle infini to capaz de reproducir voces, entrando en la categoría de -- los bafles llamados también bafles de lugares públicos. -- (Public address Speakers).

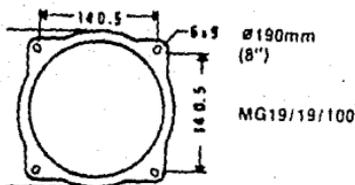
Hay dos formas de calcular el bafle, primero selec cionar las dimensiones y luego la bocina adecuada o bien -- primero seleccionar la bocina y luego ajustar la forma y di mensiones finales del bafle, yo escogí la última opción.

SELECCION DE LA BOCINA.- Como es de esperarse -- existen diferentes tipos de bocinas, tales como los parlam- tes dinámicos, los electrodinámicos, los electroacústicos y algunos otros de muy raro uso. Los más usados son los par- lantes dinámicos, los cuales tienen una bobina de voz den- tro de un campo magnético fijo, generado por un imán perma- nente, donde al pasar la corriente a través de la bobina, - interactúa con el campo magnético para producir movimiento, que a la vez actúa sobre el diafragma unido a la bobina, ha ciéndolo vibrar y así el aire alrededor para producir soni- do.

Este tipo de parlante es el seleccionado, tiene co mo característica su baja impedancia, poca resistencia al - paso de la corriente a través de él y relativamente baja -- eficiencia.

Es difícil encontrar en México una bocina en la que se proporcionen todas sus especificaciones, por lo tanto además de buscar la mayor información posible, habrá que experimentar para obtener todos los datos necesarios para el cálculo del baffle.

La bocina seleccionada es la bocina marca Multivox fabricada por Telefunken Mexicana, S.A. de C.V., modelo MG 19/19/100, con las características siguientes:



Impedancia a 1 KHz =  $8\Omega$

	P watt	BOBINA VOZ $\varnothing$ mm	B gauss	E mWs	S <sub>n</sub> dB	 FS Hz	 RANGE Hz	PESO IMAN gr	PESO TOTAL gr
76.2	10	19	10000	77	93	100	100-10000 + 5% Ref-10db	130	560

De donde: P es la potencia nominal en W.rms.

B es la densidad del flujo magnético en el entrehierro del imán en Gauss.

E es la energía magnética en el entrehierro del imán (mWs).

S<sub>n</sub> es la sensibilidad nominal, referida a  $2 \times 10^{-5}$  Pascals (Pa). Micrófono en el eje de refe -

rencia del altavoz, a un metro de distancia a partir del plano de referencia (tolerancia  $\pm 1.5$  db).

FR es la frecuencia de resonancia en el aire  $\pm 10\%$

DISEÑO DEL GABINETE.- El baffle que utilizaremos es un baffle modelo infinito y en forma de columna, debido al arreglo que llevarán las bocinas; estos baffles, como ya se dijo anteriormente, son también conocidos como P.A. de las palabras en inglés Public Address Speakers.

Esta colocación de las bocinas en el baffle sería inadecuada para reproducir música, debido a que existen diferencias de fase de las radiaciones y también a la distancia que separa a las bocinas, teniéndose una pobre respuesta a las bajas frecuencias. (Ver fig. 3.3).

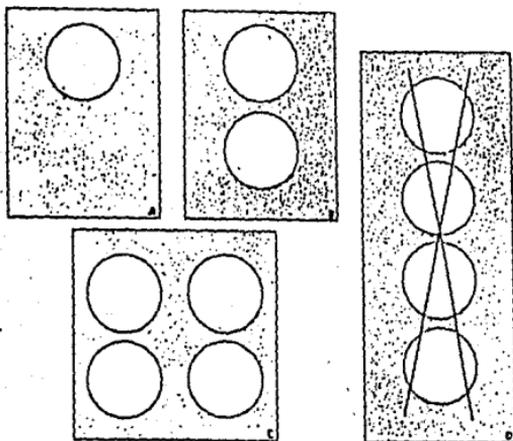


Fig. 3.3 Montaje correcto de bocinas (A, B y C) Montaje no deseable (D) Para reproducción musical.

Pero para reproducir voces, esta es la forma más -- adecuada de colocar las bocinas, pues las bajas frecuencias no van a ser utilizadas debido al rango de la voz humana, -- además, de esta forma se mejora la dispersión vertical, ya -- que ésta es difícil de controlar, debido a la dificultad de controlar la respuesta axial de las bocinas.

Valores típicos de respuesta de este tipo de gabinetes son de 150 Hz a 15,000 Hz y de 150 Hz a 12,000 Hz e incluso 150 Hz a 10,000 Hz.

Cabe aclarar que el rango de la bocina seleccionada es medido con un rango de -10 db por debajo de su máxima -- sensibilidad; por lo tanto, esto no quiere decir que no va a reproducir frecuencias por debajo de 100 Hz o por arriba de 10,000 Hz, sino que a pesar de reproducirlos, es menos eficiente fuera de este rango y su respuesta decae más rápidamente a partir de estos valores ( menor a 100 Hz y mayor a 10,000 Hz ) .

Por lo tanto, la respuesta a la que nos debemos sujetar es de 150 Hz a 10,000 Hz ).

Se van a calcular para 4 bocinas en el baffle, y con una impedancia de  $8\Omega$ , las conexiones internas serán pues -- de 2 bocinas en paralelo, y en serie con otras.

Fig. 3.4 Impedancia del Bafle.

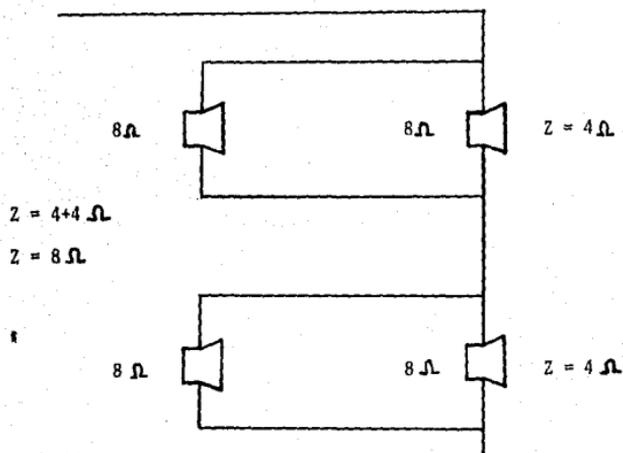
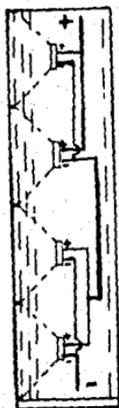


Fig. 3.5 Conexiones internas del bafle.



$$Z = \left( \frac{8 \times 8}{8 + 8} \right) + \left( \frac{8 \times 8}{8 + 8} \right) = 4 + 4 = 8 \Omega$$

Para determinar el rendimiento de la bocina dentro de alguna caja con determinado volumen, se tiene que obtener los siguientes valores:

- F<sub>s</sub> : La frecuencia de resonancia en el aire libre de la bocina.
- Q<sub>rs</sub> : El aumento de la resonancia de la bocina en la frecuencia de resonancia (f<sub>s</sub>), también llamada calidad de la bocina.
- V<sub>as</sub> : La compliancia de la bocina en términos de volumen equivalente de aire para esa bocina.

Una vez que se obtengan estos valores se podrá predecir:

- f<sub>bc</sub> - La frecuencia de resonancia de la bocina en el baffle, también llamada resonancia del sistema.
- Q<sub>cb</sub> - El aumento de la resonancia de la bocina en la caja.
- F<sub>3</sub> - La frecuencia donde la respuesta de las bajas frecuencias ocurrirá a 3 db por debajo de la respuesta nominal del sistema, llamada frecuencia de corte, y a partir de la cual las bajas frecuencias serán más críticamente amortiguadas y por lo tanto menos audibles.

Experimentalmente se obtiene una frecuencia de resonancia f<sub>s</sub> de 102 Hz.

$$f_s = 102 \text{ Hz.}$$

Para determinar la calidad de la bocina se sigue el siguiente procedimiento:

Se mide la resistencia de la bobina de la bocina a la corriente directa  $R_e$ .

$$R_e = 7.1$$

Se encuentra la  $Z_{max}$  (Impedancia a la frecuencia de resonancia).

$$Z_{max} = 26$$

Se encuentran las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  por arriba y por debajo de la  $f_s$  donde la  $Z$  ocurre a su valor rms o sea  $z' = 0.707 Z_{max}$ .

$$f_1 = 78 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 120 \text{ Hz}$$

La  $Q$  será entonces (Qts).

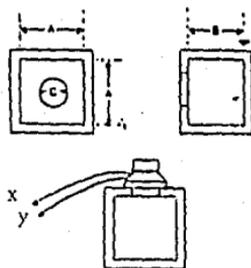
$$Q = \frac{f_s}{f_2 - f_1} \times \frac{R_e}{z'_{max}} = \frac{102}{120 - 78} \times \frac{7.1}{26} = .663$$

Para encontrar el volumen equivalente de aire se sigue el siguiente procedimiento:

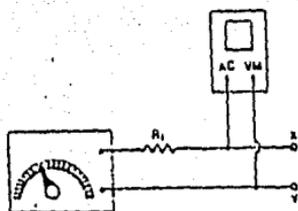
Se sostiene la bocina entre la abertura de una caja de dimensiones estándar, de acuerdo al tamaño de la bocina, aplicando la suficiente presión para hacer un buen sellado,

para nuestra bocina las dimensiones y procedimiento se muestran en la fig. 3.6

Figura 3,6 Método de medición para Vas



R1 es una resistencia limitadora de 100 a 1000  $\Omega$



A = 10 pulgadas

B =  $8\frac{5}{8}$  pulgadas

C =  $6\frac{3}{4}$  pulgadas

Volumen Vb = 0.5 ft<sup>3</sup>

Se encuentra entonces la frecuencia de resonancia de la bocina en la caja (fct) (donde el voltímetro marque su máxima lectura).

$$f_{ct} = 140 \text{ Hz}$$

Finalmente se calcula Vas como:

$$Vas = 1.15 \times \left(\frac{f_{ct}}{f_s}\right)^2 \cdot l \times Vb$$

$$Vas = 1.15 \times \left[ \left( \frac{140}{102} \right)^2 - 1 \right] \times 0.5$$

$$Vas = 1.15 \times \left[ (1.3725)^2 - 1 \right] \times 0.5$$

$$Vas = 1.15 \times \left[ 1.8858 - 1 \right] \times 0.5$$

$$Vas = .5082 \text{ ft}^3$$

Escogemos una Q final para el sistema de 1.00, para atenuar las bajas frecuencias y tener una respuesta uniforme, de donde

$$\frac{Q_{cb}}{Q} = \frac{1.00}{.663} = 1.50829$$

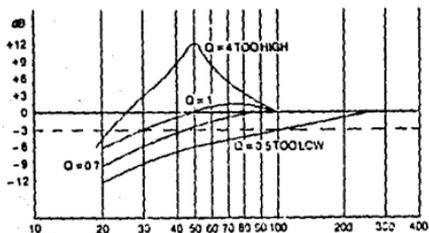
(Ver gráfica 3.1)

y ocurriendo la resonancia del sistema en aproximadamente 150.83 y la frecuencia de corte será de aproximadamente 120 Hz (fca - db).

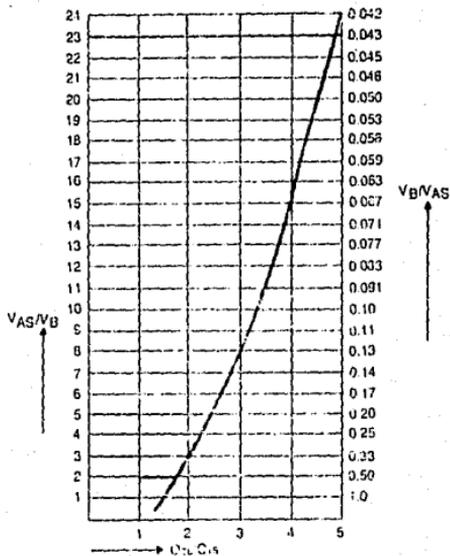
Observando la gráfica 3.2, vemos que para encontrar el volumen deseado tenemos  $Q_{cb}/Q_f$ s de aproximadamente 1.5 y donde  $Vas/V_b$  es igual a 1.00 de donde despejando tenemos:

$$\frac{Vas}{V_b} = 1 \quad \text{de donde} \quad V_b = \frac{Vas}{1} = .508 \text{ ft}^3$$

y donde  $508 \text{ ft}^3 = 877.824 \text{ in}^3$



Q1 SYSTEM Q	LOW FREQUENCY CUT-OFF (RESPONSE DOWN 3dB) AS A RATIO OF SYSTEM RESONANCE FREQUENCY
0.5	1.55
0.6	1.22
0.7	1.03
0.8	0.92
0.9	0.83
1.0	0.79
1.1	0.76
1.2	0.74
1.3	0.72
1.4	0.71
1.5	0.70



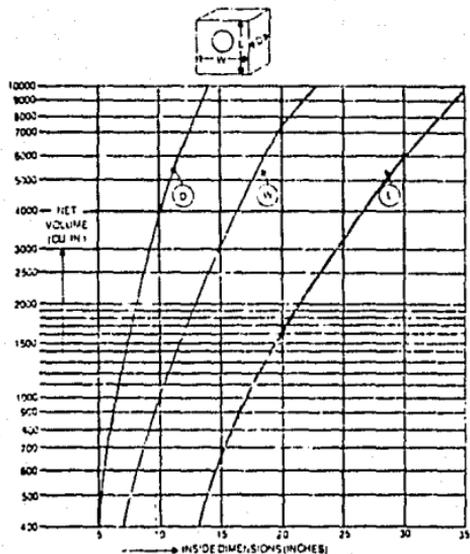
Gráfica 3.1 Relación entre "Q" y la frecuencia de corte a bajas frecuencias. (PP 58-5)

Gráfica 3.2. Gráfica para el diseño de un gabinete cerrado. (PP 60-5)

Refiriéndonos ahora a la Gráfica 3.3, vemos que las dimensiones internas finales son de  $877.824 \text{ in}^2$ , y donde podamos escoger un volumen mayor hasta un 10%, por lo tanto las dimensiones deberán ser de 6.25 in. de profundo, 9.3 in. de ancho y 16.5 in. de alto, pero recordemos que esto fue medido para una sola bocina; por lo tanto, si usamos 4, el

volumen final será de 4 veces el anterior, donde sólo basta variar una sola dimensión, en esta caso la altura, y la altura final será de  $16.5 \times 4 = 66$  in., colocándose la bocina en el centro de las dimensiones encontradas para una sola bocina, y en la parte anterior del gabinete.

Experimentalmente se obtiene una dispersión de  $120^\circ$  verticales y una dispersión horizontal de  $60^\circ$ , medida a 1000 Hz, lo cual concuerda exactamente con lo que se requiere (Ref. 4 pp 45).



Gráfica 3.3 Dimensiones internas recomendadas para gabinetes cerrados de 400 a 10,000 pulgadas cúbicas. (pp 36-5).

ACABADO FINAL DEL BAFLE.- Para el acabado final -- del baffle sugiero tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

Su construcción puede ser con aglomerado de madera - de 3/4 de pulgada de espesor. Otros materiales pueden ser madera de nogal o de abedul, aunque yo sugiero el aglomerado ya que es bastante más económico.

Es necesario sellar todas las uniones y atornillarlas al menos cada 5 pulgadas, con el fin de evitar resonancias y vibraciones (tornillo buscarroscá).

Se debe colocar material absorbente al menos en dos de las paredes interiores, recomendándose que sean la parte posterior interna y la inferior interna, pudiendo usarse fibra de vidrio de media pulgada de espesor, con el fin de -- evitar ondas estacionarias dentro del gabinete.

La parte anterior debe de ser tapizada con material transparente acústico para proteger las bocinas de polvo. - Para esto se recomienda hacer la prueba de poner contra la - luz dicha tela, si deja pasar la luz es un buen material, - de lo contrario podría no ser tan transparente el sonido.

El acabado final depende de la economía, pudiendo - dársele un acabado ya sea barnizado, pintado o tapizado.

## C A P I T U L O   I V

### SELECCION DEL AMPLIFICADOR Y MICROFONO

Aunque los micrófonos actúan en el lado opuesto a las bocinas en nuestro sistema, éstos son los más parecidos a la bocinas, ya que ambos son transductores eléctrico-acústicos, pero mientras que las bocinas transforman la energía eléctrica en energía sonora, los micrófonos hacen lo opuesto, o sea convertir la energía del sonido en su equivalente eléctrico. (Ver figura 4-1).

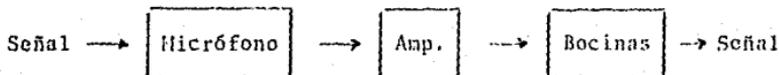
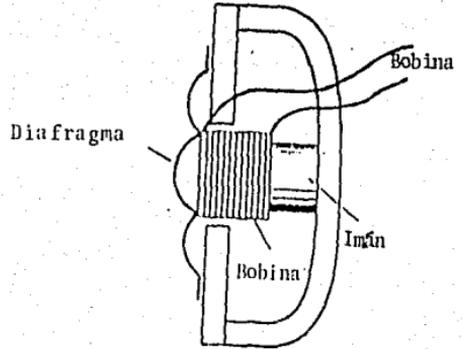


Figura 4.1    Conexión entre bocinas y amplificador.

Así pues, el micrófono será el encargado de recoger la señal, para posteriormente amplificarla y distribuirla en el local.

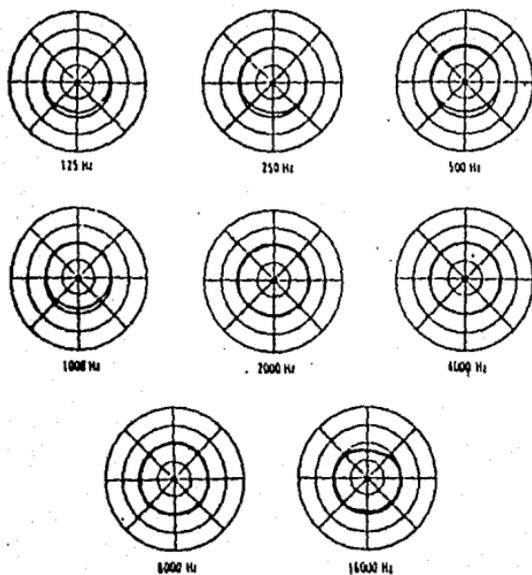
Existen, como es de esperarse, muchos tipos de micrófonos, tales como los de condensador, los de cerámica, etc. Sin embargo, el más usado es el micrófono dinámico, cuya construcción se asemeja a una bocina. (Ver figura 4-2)

Figura 4.2  
Estructura básica de -  
un Micrófono Dinámico.

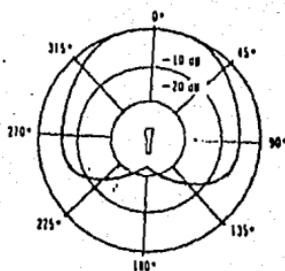


Este tipo de micrófono es una especie de generador eléctrico, el cual nos entrega una pequeña corriente como salida, a frecuencias aproximadamente entre 100 Hz hasta -- 15,000 Hz, esto lo hace de la siguiente manera:

Al ser sometido el diafragma a cierta presión, éste mueve a una bobina unida a él, la cual corta líneas de flujo magnético de un imán permanente produciéndose así un voltaje equivalente al sonido que lo produjo. (Ver figura 4-2)



a



b

Gráfica 4-1 Respuesta típica de un micrófono { a) Omnidireccional  
b) Cardioide

ESPECIFICACIONES DE LOS MICROFONOS.- Por supuesto - la primera especificación es su respuesta polar como es de suponerse, pudiendo ser cardioide u omnidireccional.

IMPEDANCIA.- Hay que recordar que para obtener la máxima transferencia de energía, hay que acoplar impedancias, la impedancia de salida de un aparato debe ser igual o muy cercana a la impedancia de entrada del aparato al que se va a conectar.

En general la impedancia de un micrófono viene especificada como alta o baja, correspondiendo la alta impedancia a micrófonos como el condensador o el electret, y la baja impedancia a micrófonos dinámicos (como el seleccionado). Pudiendo variar esta baja impedancia entre valores de  $150\Omega$  a  $1000\Omega$ , y cualquier micrófono cuya impedancia se encuentra comprendida entre estos dos valores puede trabajar satisfactoriamente si es conectada a la entrada de baja impedancia de un amplificador (Valores típicos son alrededor de  $200\Omega$ ).

Otra división de los micrófonos se base en su respuesta polar. Se dividen en dos grupos principales de acuerdo a dicha respuesta polar y son:

Patrón Omnidireccional.- Estos micrófonos son capaces de recibir sonidos desde cualquier ángulo, es decir que

su sensibilidad cubre  $360^\circ$ . Generalmente tienen un atenuador para frecuencias inferiores a 150 Hz. (Ver gráfica 4-1)

Patrón Cardioide.- Este tipo de micrófono está diseñado para recoger sonido enfrente y a los lados de él, -- discriminando los sonidos provenientes de la parte poste -- rior de él.

Los micrófonos cardioides presentan una amplificación en las bajas frecuencias, si es colocado más cerca de dos pies de la fuente de sonido.

Estos micrófonos pierden volumen y respuesta a las altas frecuencias a  $90^\circ$  del eje del micrófono.

También estos micrófonos tienen una atenuación a -- frecuencias inferiores a 150 Hz.

El tipo de micrófono Cardioide es mejor para controlar la retroalimentación acústica, sonido de multitudes u otros sonidos indeseables.

En la práctica éstos trabajan mejor que los omnidireccionales en términos de la habilidad para funcionar a mayores volúmenes sin experimentar una amplificación de sonido retroalimentado, así como también para evitar ruidos de multitudes o tumultos. (Ver gráfica 4-1).

RESPUESTA A LA FRECUENCIA.- Dado que nuestro micrófono será utilizado únicamente para voces, nuestro problema se simplifica un poco, ya que la respuesta de la voz cantada o hablada está más limitada en ambos extremos (bajas y altas frecuencias), no ocurriendo así con la música.

DISTANCIA DE TRABAJO.- La distancia entre la fuente del sonido y el diafragma del micrófono es llamada distancia de trabajo. La presión del sonido que el micrófono entrega decrece 6 db (4 veces) cada vez que la distancia es incrementada al doble.

La distancia de trabajo ideal, varía con el tipo de micrófono usado, y es como se muestra en la figura 4.3. Una distancia más cercana podría sobrecargar a nuestro sistema, especialmente al preamplificador y al amplificador. (Ver figura 4.3).

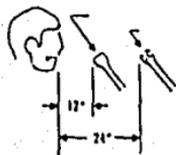
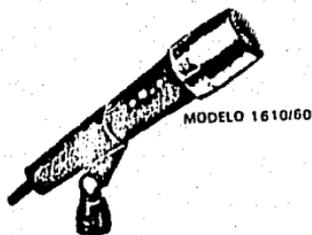


Figura 4.3 Distancia de trabajo.

Así pues el micrófono recomendado es el modelo --- 1610/60 marca Philips, con las siguientes características : (Ver fig 4.4).

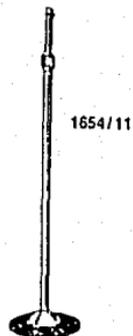
Modelo	1610/00
Tipo	Dinámico direccional
Impedancia	300
Respuesta de frecuencia	80-14,000 Hz
Sensibilidad (referencia 0 db, 1V/1BAR a 1000 Hz)	-72 db
Interruptor	Si (Voz/Música)
Cable	3 mt. bifiliar
Conector	Plug telefónico 35 mm. diámetro
Dimensiones	160 mm. largo
Peso	165 gr.

Figura 4.4 Micrófono



Como accesorio se recomienda el pedestal de piso,  
modelo 1054/12 marca Philips de 77-167 cm. (Ver figura --  
4.5).

Figura 4.5 Base para micrófono



Otra opción de micrófono recomendada es el modelo - 1612 marca Philips con las siguientes características: (Ver Fig. 4.6).

Modelo	1612
Tipo	Dinámico direccional
Impedancia	300
Respuesta de frecuencia	80-14,000 Hz
Sensibilidad (Referencia 0 db, 1V/1BAR a 1000 Hz)	-72 db
Interruptor	Si (Voz/música)
Cable	3 mt. Bifilar
Conector	Plug telefónico 35 mm. diámetro
Dimensiones	340 mm. largo
Peso	350 gramos

Figura 4.6 Base para micrófono



Este último es recomendado para colocarse sobre cualquier apoyo tal como una mesa por su vástago flexible montado sobre una base.

SELECCION DEL AMPLIFICADOR.- La señal recogida por el micrófono pasará primero al preamplificador, posteriormente al amplificador y por último llegará a las bocinas.

Las funciones del Preamplificador y el Amplificador son:

Debido a la diferente naturaleza de los distintos transductores, la señal que éstos nos entregan varía en intensidad de voltaje de un transductor a otro, llegando en ocasiones a ser hasta 1000 veces la intensidad de uno que la de otro, ya sea micrófono, tocacintas, tocadiscos, etc.

Pues bien, la primera función del preamplificador es la de amplificar el voltaje de unas señales más que las de otras para entregarle al amplificador una señal similar para todas ellas.

Otra función es la de mezclar las diferentes señales entrantes, ecualizarlas, ya que aquí se encuentran los controles de tono y volumen, o sea que aquí es donde se controla, selecciona y modifica la señal entrante.

Por último, también aquí es donde se realiza el énfasis de los tocadiscos y la compensación de bajas frecuencias para tocacintas.

El amplificador, por su parte, lo único que hace es amplificar potencia (el preamplificador sólo amplifica voltaje), y en ocasiones el único control que tiene es el de encendido y apagado.

No es necesario que estos dos aparatos se encuentren separados, sino que generalmente se encuentran constituidos como una sola unidad y conocidos simplemente como amplificador.

RESTRICCIONES PARA EL SELECCIONAMIENTO DEL AMPLIFICADOR.- En el mercado se encuentran varios tipos de amplificadores, en los cuales se encuentran diversas especifica-

ciones, sin embargo el problema se encuentra en saber evaluarlas e interpretarlas, ya que la mayoría de los casos éstas fueron tomadas bajo diferentes condiciones y circunstancias, las cuales pueden hacer variar los resultados esperados. Esto no quiere decir que las especificaciones mientan sino que sólo ocurren bajo determinadas circunstancias, también suele ser muy común que en una especificación dada nos es inútil por no incluir detalles sobre cómo fué obtenida. Recordemos que la ley no establece qué se puede considerar como alta fidelidad.

En nuestro caso son pocas las restricciones que debemos tener en cuenta debido a que no buscamos una alta fidelidad, sino simplemente funcionalidad.

Pero para nuestro caso, debemos evitar la pérdida de consonantes en el habla, debiendo existir al menos 25 db de relación de señal a ruido, y se le debe añadir al menos -- otros 10 db para evitar la adición de estas dos señales -- (ruido y voz), por lo tanto tenemos:

$$(-25 \text{ db}) + (-10 \text{ db}) = -35 \text{ db}$$

Que en porcentaje es:  $100 \times 10^{\frac{-35}{20}} =$

$$100 \times 10^{\frac{-35}{20}} = 1.78\% \text{ que es la máxima distorsión armónica -- permisible.}$$

LA POTENCIA DEL AMPLIFICADOR.- Debido al tipo de local y al largo tiempo de reverberación, la potencia necesaria en el interior del templo es muy pequeña; sin embargo, nuestro amplificador debe de ser lo suficientemente potente para su uso con las bocinas en el exterior, así como para ser capaz de manejar todas las bocinas en el interior, sin llegar a ser sobrecargado, sobre todo en un repentino aumento en la señal donde es más factible que pueda existir distorsión.

Así pues, entre más potente menos posibilidades de distorsión existirán.

ENTRADA AL AMPLIFICADOR.- Las entradas que debe de tener son al menos para dos micrófonos, y de preferencia -- con controles de volumen separados para cada uno de ellos.

RESPUESTA A LA FRECUENCIA.- Debido al reducido rango de la voz humana, una respuesta de 100 Hz a 10,000 Hz es más que suficiente.

DISTORSION ARMONICA.- La distorsión armónica juega un papel muy importante en nuestro caso, ya que es indispensable una buena fidelidad, es decir, que para nuestro fin es sumamente importante que el sonido no llegue a ser grandemente modificado en cuanto a timbre se refiere, aunque un oído no entrenado musicalmente difícilmente llega a percibir -

bir una distorsión armónica de un 5%.

NIVEL DE RUIDO.- Entre menor sea éste, mejor será nuestro aparato, buscándose un nivel de ruido de al menos - 60 db, para poder ser enmascarado por nuestra señal transmitida, un nivel de 60 a 80 db es ya un buen nivel.

LA ALIMENTACION DEL AMPLIFICADOR.- La alimentación se sugiere buscarse una con entrada de 120 volts de corriente alterna a 60 Hz por ser la que se tiene disponible en el local.

SALIDA DEL AMPLIFICADOR.- La señal que sale del amplificador hacia las bocinas, necesita ser algo diferente - a lo convencional, debido a que la señal va a ser transmitida a distancias relativamente lejanas, por esto nuestro aparatado tiene que tener salida de voltaje de 70 a 100 volts, - ya que éstas son las dos más comunes, además como se verá - posteriormente esta corrección servirá para uniformar el nivel de salida en cada bocina, evitando el que una sonara -- más fuerte que otra.

DIMENSIONES.- Las dimensiones físicas de nuestro - amplificador realmente no nos interesan, ya que se dispone del espacio que pueda necesitarse.

El amplificador que sugiero es el Philips modelo --

1060, cuyas características son las siguientes:

Amplificador Modelo 1060

Tipo:	Mezclador
Potencia en watts RMS:	120
Entradas:	4 micrófonos 3 música.
Salida a bocina:	4-8-16, 70-100 volts.
Alimentación:	127 Volts A.C. 220 Volts AC 60 Hz.
Control de tonos:	$\pm$ Graves $\pm$ Agudos
Respuesta de frecuencias $\pm$ 3 db a -6 db de la potencia nominal de salida :	60 Hz - 16,000 Hz.
Nivel de ruido con controles de volumen al mínimo :	- 85 db.
Distorsión armónica a 1000 Hz y potencia nominal de salida :	1%
Dimensiones:	Ancho 430 mm. Fondo 280 mm. Alto 125 mm.
Peso:	11 kg.

## C A P I T U L O    V

### CONEXIONES ELECTRICAS

Para el correcto funcionamiento en nuestros aparatos, así como para evitar ruidos y pérdidas y lograr la máxima transferencia entre nuestros distintos aparatos, hay que tomar en cuenta tanto los aparatos, como a los contactos y conectores, así como también a la línea o cables que los unen.

Empezando por el amplificador.

El amplificador es el único elemento activo en nuestro sistema de sonido y por lo tanto el único que tiene que tener tomar de corriente de una fuente de alimentación, su alimentación puede ser tanto de 220 Volts como de 127 Volts de corriente alterna a 60 Hz y debido a que puede entregar hasta 120 Watts acústicos, si consideramos su eficiencia en aproximadamente un 15% se debe de tener en cuenta que nuestra toma debe de ser capaz de entregar al menos dos puntos:

$$\text{Para 220 Volts} \quad I = \frac{P/ \text{Ef}}{V} = \frac{120/0.15}{220} = 3.64 \text{ Amperes}$$

$$\text{Para 127 Volts} \quad I = \frac{P/ \text{Ef}}{V} = \frac{120/0.15}{127} = 6.3 \text{ Amperes}$$

donde :

- P es la potencia en watts
- V es voltaje en volts
- I es la corriente en amperes
- Ef es la eficiencia del amplificador.

Yo sugiero usar la línea de 127 volts por ser la -- que tenemos a nuestro alcance en el templo.

Nuestro amplificador ya viene integrado con cable - y conector, pero hay que tener en cuenta la anterior aciara ción, sobre todo si se piensa utilizar alguna extensión.

#### CONEXION ENTRE EL MICROFONO Y EL AMPLIFICADOR.

En esta conexión hay que tomar en cuenta el tipo de micrófono seleccionado, ya sea de baja o alta impedancia, - en nuestro caso seleccionamos un micrófono de baja impedancia y por lo tanto el cable a usar debe ser para tal micrófono; este cable consta de dos conductores, uno multifilar en el centro del conductor y el otro es una pantalla metáli ca, alrededor del primero, éstos a su vez se encuentran ais lados entre ellos y entre la pantalla y el exterior por ma- terial dieléctrico flexible, con este tipo de construcción se evitan ruidos en el trayecto de la señal (recordemos las Leyes de Gauss). Ver Figura 5.1.

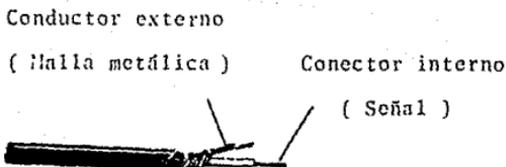


Figura 5.1 Cable coaxial blindado.

Ahora bien, para evitar problemas yo sugiero utilizar la extensión de la marca Philips Modelo 1652/11 de 10 metros de longitud o la 1652/21 de 20 metros de longitud, las cuales ya vienen integradas con sus conectores Jack Plug, tal como las requerimos en nuestras conexiones del micrófono y amplificador.

#### CONEXION ENTRE EL AMPLIFICADOR Y LAS BOCINAS.

Esta no es una conexión convencional como se podría pensar, ya que las bocinas se encuentran localizadas a distancias bastante distantes del amplificador, también debido al número de bocinas que se van a usar, así pues la solución a esto es usar una salida de voltaje hacia las bocinas, esto funciona de una manera similar a la transmisión de energía eléctrica a grandes distancias, donde se eleva el voltaje a la salida para evitar pérdidas en la línea y se baja en su acometida para poder ser usado en forma óptima. Así pues se utiliza la salida de voltaje de 70 volts, la

cual es más común, se selecciona un cable multifilar de calibre 18 a 22 AWG (american wire gauge), que aunque aparentemente es muy delgado para trabajar a la distancia a la -- que vamos a trabajar nuestras bocinas del amplificador, hay que recordar que estamos usando la línea de voltaje y no -- las salidas convencionales. Si se usaran las salidas con -- convencionales, habrá que usar cable más grueso, de acuerdo a la tabla 5.1.

Distancia de la bocina	Diámetro del cable (AWG)
7.5 mts.	18
7.5 - 12 mts.	16
12 - 18 mts.	14
18 mts. o más	12

Tabla 5.1 Tipo de cable recomendado.

Yo sugiero usar cable duplex del calibre 18 para mejorar resultado, ya que éste, por ser un poco más grueso, es más resistente y tendrá menos pérdidas, sobre todo para las bocinas exteriores, además económicamente hablando no sería gran ahorro utilizar un cable de menor calibre.

Ahora bien, para bajar el voltaje de la línea al -- que la bocina necesita, es necesario usar un transformador, estos transformadores de acoplamiento se llaman transformadores de audio o transformadores para línea de 70 ó 100 --

volts, según el caso que se trate, estos además de bajar el voltaje también nos permiten uniformizar el volumen en las bocinas, logrando que a cada una de ellas llegue la misma cantidad de potencia que a la otra.

Para calcular el transformador adecuado se tiene -- que seguir un procedimiento, sin embargo en nuestro caso se nos dificulta un poco por nuestras necesidades, pues los requerimientos son: sonido en el interior, sonido en el exterior, sonido en la capilla posterior, sonido en cualquier combinación de ellas o sonido en las tres a la vez.

Sin embargo, nos debemos enfocar a lo que más se va a usar y es el sonido en el interior, ya que el sonido en las otras dos opciones sólo va a ser utilizado en ocasiones especiales, por lo tanto el procedimiento es el siguiente:

Como se piensan utilizar 6 baffles, cada uno de ellos debe de entregar cuando mucho 20 watts, y si la potencia de nuestro amplificador es de 120 watts, con la salida de la línea de voltaje de 70 volts tenemos que la  $z$  del primario del transformador se calcula de la siguiente manera:

$$P = \frac{V^2}{z} \implies z = \frac{V^2}{P} = \frac{70^2}{20} = \frac{4900}{20} = 245$$

de donde  $P$  es la potencia deseada en cada bocina y  $V$  es el voltaje de la línea.

Ahora bien, el secundario de nuestro transformador - debe de acoplarse a la impedancia de la bocina o sea 8 ohms.

El transformador seleccionado es el modelo L20A marca RADSON, con capacidad para entregar hasta 20 watts, debiéndose conectar éste en el primario en el tap indicado para 70 volts, y en el secundario en el tap para 20 watts.

Ahora bien, para las uniones entre el cable y el transformador de audio, así como entre éste y las bocinas - del bafle, no es necesario ningún conector especial, debido a que el transformador tiene cables para pelar y aislar en ambos lados, ya que no se va a estar moviendo de lugar el bafle, es recomendable una unión permanente, mediante soldadura, pudiendo el transformador quedar atornillado tanto en el interior como en el exterior del bafle, aunque hay que tener muy en cuenta que si se llega a colocar este transformador separado del bafle, la línea que lo une con las bocinas no debe ser mayor de 10 mts.

La unión entre el amplificador y el cable que viaja hacia las bocinas tampoco necesita de ningún conector especial, debido a que el amplificador consta de un contacto que sujeta al cable mediante un tornillo, sujetándolo y presionándolo, tan sólo hay que pelar el cable, enrollarlo en el tornillo y apretar éste. Recordemos que esta unión va a ser permanente.

Para cuando se utilice el sonido en los tres lugares antes mencionados, es lógico que no se desea el mismo nivel de potencia en todas las bocinas, por lo tanto habrá que usar un dispositivo para controlar esta situación, pero no hay que olvidar la economía. El lugar más crítico debido al volumen menor de ese lugar es la capilla trasera, aunque esta situación de utilizar sonido en los tres lugares es algo poco usual y sólo se usaría en ocasiones especiales, siendo más factible que se utilice el sonido en las dos secciones interiores, y para limitar la potencia en las bocinas en la parte posterior sugiero utilizar el regulador de volumen para bocinas conectadas a la línea de 70 volts - marca PHILIPS modelo 1226/01, el cual controla el volumen individual por bocina (uno por cada bocina). Este tan sólo consta de un potenciómetro en el interior.

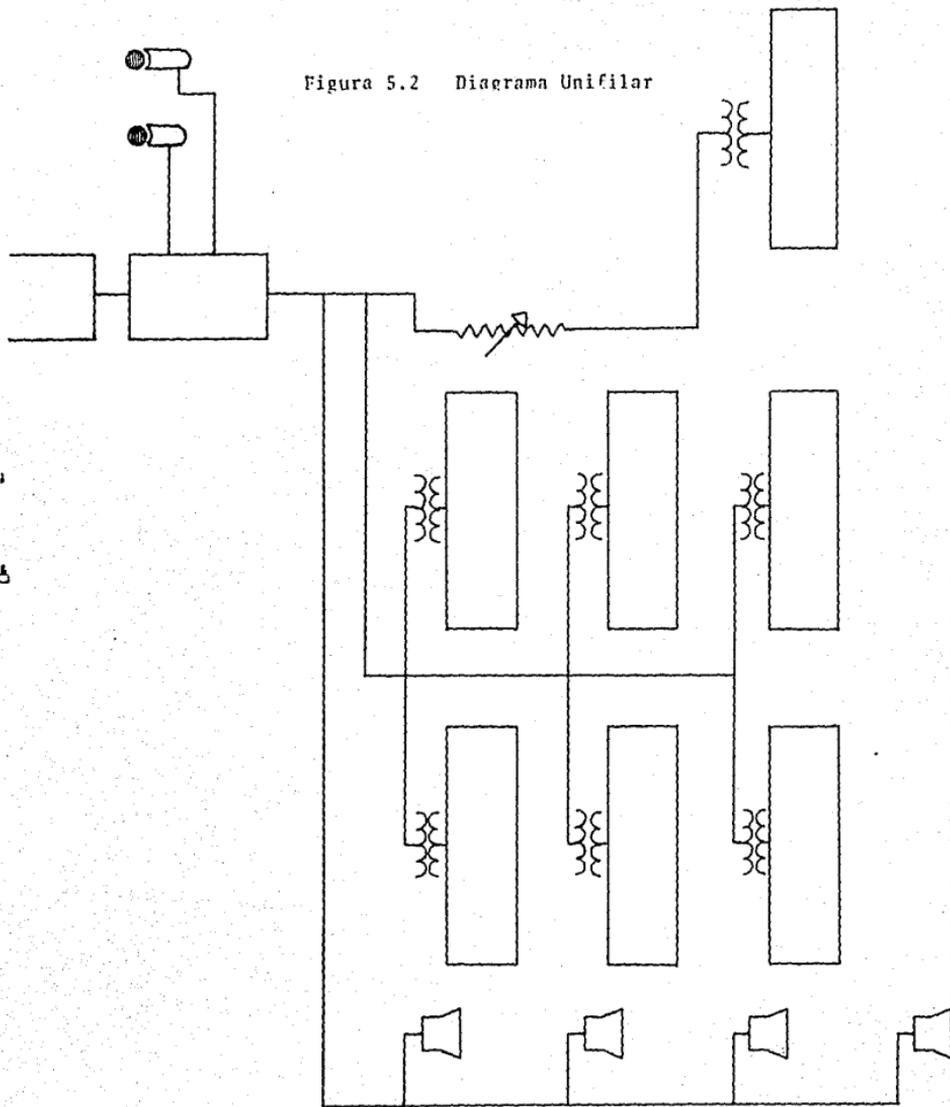
Si se quisiera utilizar sonido en el interior y en el exterior a la vez, es de esperarse que se desee más potencia acústica en las bocinas exteriores, para esto no es necesario hacer ningún arreglo, ya que la eficiencia de estas bocinas es mucho mayor que la de las interiores, existiendo una diferencia de alrededor de 17 decibeles, lo que indica que para una misma potencia eléctrica, una bocina exterior entregará aproximadamente seis veces más potencia acústica.

Ver diagrama unifilar (figura 5.2).

Por último, es muy importante la polarización de -- las bocinas, ya que de lo contrario ocurriría cancelación - de sonido a determinadas frecuencias y lo cual a su vez pro vocaría distorsión en el sonido.

Para lograr esto hay que poner especial atención al conectar los polos positivos, esto es una tarea fácil pues todas las bocinas vienen marcadas con un punto rojo en su - terminal positiva y uno negro en su terminal negativa.

Figura 5.2 Diagrama Unifilar



## C A P I T U L O    V I

### T A B L E R O    D E    C O N T R O L

Una vez instalado nuestro sistema, habrá que hacer los ajustes necesarios finales para su óptimo funcionamiento, ya que hasta entonces es cuando aparecerán distintos -- problemas imposibles de predecir, tales como ondas estacionarias, zumbidos, etc., y esto es debido al acabado final de nuestro local, tal como la naturaleza y colocación de -- muebles y adornos, etc.

En costosos sistemas de sonido se tiene para tal motivo, divisores de frecuencias, ecualizadores, filtros, -- etc.; éste no es nuestro caso, sin embargo sí tenemos a la mano ciertos controles, los cuales hay que saber utilizar y también saber qué podemos hacer con cada uno de ellos.

Podemos dividir en dos grupos principales estos controles, y son:

1. Los que están integrados al amplificador.
2. Los que no están integrados al amplificador.

Los integrados al amplificador son los siguientes:

1. Botón de encendido. Este sólo sirve para encender o -- apagar el amplificador.
2. Volúmenes de los micrófonos y entradas de música. Este sirve para ajustar principalmente los micrófonos cuando usemos más de uno y logremos obtener el volumen deseado para cada uno de ellos. También sirve para ajustar el volumen de música si se quisiera en alguna ocasión llegar a usar tocadiscos o tocacintas.

Recordemos que entre las especificaciones se dijo que - este amplificador además de ser amplificador es mezclador, o sea que pueden ser usados a la vez más de un mi - crófono o entradas de música con ajustes individuales - de volumen.

3. La parte más importante y crítica son los controles de tonos, los cuales son dos, uno para sonidos graves y -- otro para agudos. Estos tienen especificaciones de --  $\pm 10$  db para los tonos graves a 300 Hz y  $\pm 10$  db para - los sonidos agudos a 5,000 Hz.

Si se llegaran a presentar zumbidos, pudieran éstos ser eliminados mediante el uso de estos controles, depen -- diendo de la naturaleza del zumbido. Hay dos clases de zumbidos que podemos encontrar, ambos por retroalimenta -- ción del sonido: uno es un chillido agudo, el cual es -

ocasionado cuando el micrófono se encuentra en el eje axial de una bocina y cerca de ella, lo cual puede ser corregido ya sea:

- a) Cambiando de lugar la bocina, o apuntando hacia -- otro lado.
- b) Moviendo el micrófono fuera del eje de la bocina.
- c) Interponiendo algún obstáculo entre el micrófono y la bocina.

El otro tipo de zumbido es debido a la retroalimentación de sonidos graves por el efecto de difracción de bajas frecuencias, el cual puede ser eliminado bajando el volumen del micrófono o atenuando la ganancia del amplificador a las bajas frecuencias.

- 4. Tenemos también un control de volumen maestro llamado así porque aumenta o disminuye el sonido de todas las entradas (micrófono y música) de igual manera, sin amplificar más unos que los de otro.
- 5. Tenemos integrado un medidor de volumen para observar hasta qué punto podemos subir el volumen sin distorsionar la señal.
- 6. Por último tenemos un switch para seleccionar la línea de voltaje a la que va a ser usado (127 - 220) volts .

## LOS CONTROLES EXTERNOS AL AMPLIFICADOR :

1. Primeramente el micrófono tiene un switch de encendido - apagado, el cual nos es útil ya que, si usamos más de un micrófono, con este switch podemos prender o apagar el o los micrófonos que queremos usar sin tener que desconectarlos, lo cual nos ayuda a no tener que estar moviendo las entradas de los micrófonos en el amplificador.
  
2. Tenemos un control de volumen para las bocinas de la capilla trasera, las cuales son simples potenciómetros y están conectados en serie entre los transformadores de audio y las bocinas (Ver diagrama 5.1) éstos también es recomendable tenerlos cerca de la bocina y de preferencia empotrados en el baffle.
  
3. Recomiendo usar un switch para seleccionar la combinación de donde queremos sonido, sin tener que conectar o desconectar cables, ya que las bocinas todas están conectadas a la línea de 70 volts de audio, estos switches estarían en serie entre los transformadores de audio y las bocinas (Ver diagrama 5.1) dichos switches sólo tienen que abrir o cerrar un contacto y deben de aguantar al menos:

$$P = VI \quad \text{---} \quad I = \frac{P}{V} = \frac{120}{70} = 1.71 \text{ amperes}$$

Siendo: P Potencia en watts  
V Voltaje en volts  
I Corriente a soportar en amperes

Recomiendo usar switches que resistan hasta 3 ó más amperes para mayor seguridad.

Es recomendable, sin embargo, no abrir o cerrar uno de estos contactos con el nivel de volumen muy alto, lo cual puede llegar a dañar a las bocinas principalmente.

También es preferible tener estos switches cerca de nuestro amplificador y de ser posible en una caja o mueble para mayor protección, ya que ni el amplificador ni los switches tienen que ser movidos de un lugar a otro.

## C A P I T U L O   V I I

### CALCULO DE LA REVERBERANCIA (Ref. 2, 3 y 4)

Para nuestro diseño, el tiempo de reverberancia es determinante y juega un factor decisivo para el buen funcionamiento de nuestro sistema de sonido.

Constituye el problema principal, debido a las condiciones físicas del recinto, y siendo clásico ya en este tipo de construcciones, existiendo Iglesias características por su largo tiempo de reverberancia y sus consecuentes ecos, tal es el caso de "La primera Iglesia Cristiana de Mañana" en Oklahoma City, que según dicen "Parecía que el mismo Dios repitiera, pero mucho más fuerte, cada una de las palabras que el clérigo decía". Aunado a esto tenemos que el material a editar es el que necesita el menor tiempo de reverberancia de todos.

Existen diferentes fórmulas para calcular el tiempo de reverberancia de un local, tal como la "Ecuación de Sabine", la "Ecuación de Norris-Eyring" y la "Ecuación de Fitzroy", pero para nuestro caso, con un tiempo de reverberancia mayor de dos segundos y una absorción relativamente uniforme la adecuada es la ecuación de Norris-Eyring (Ref. 4 pp. 64).

Así pues encontramos un tiempo de reverberancia dado por:

$$RT_{60} = \frac{0.049 V}{-S \ln (1-\bar{a})}$$

Donde la constante 0.049 sería de 0.161 si los parámetros fueran en metros en lugar de pies.

V es el volumen del local en  $\text{ft}^3$ .

S es el área interna del local en  $\text{ft}^2$

$\bar{a}$  es el coeficiente de absorción en sabinos.

RT Tiempo de reverberancia en segundos.

Con los datos del local tenemos:

$$V = 500,000 \text{ ft}^3$$

$$S = 42,500 \text{ ft}^2$$

$$\bar{a} = 0.12$$

Por lo tanto:

$$RT_{60} = \frac{0.049 (500,000)}{-42,500 \ln (1 - 0.12)} =$$

$$RT = 4.5 \text{ seg.}$$

Para la voz hablada y las dimensiones del local existe un tiempo de reverberancia máximo permisible de hasta 5.19 segundos (Ref. 2 pp. 335), sin embargo esto "si y sólo

## C A P I T U L O   V I I I

### A N A L I S I S   E C O N O M I C O

La toma de decisiones es la clave para la mayoría de las actividades en Ingeniería, así como en los negocios. Muchas de las decisiones en la Industria son o deberían ser basadas en análisis económico.

Hay que recordar que un proyecto que no es económicamente realizable es como norma general un proyecto rechazado y no realizable.

Para nuestro caso, nuestro fin no es el de obtener ganancias, sino reducir costos, sacrificando lo menos posible el aspecto técnico, por lo que se torna difícil usar alguna técnica de análisis complicado, tal como un análisis de beneficios/costos, ya que resultaría más costoso y hasta cierto punto imposible realizar encuestas, por lo tanto nos concretaremos a tratar de reducir los costos y recordar que podemos clasificar este proyecto como uno de servicios públicos.

Nuestros costos son los siguientes :

300 Mts. de cable duplex # 18	\$ 380,000
28 Bocinas Multivox modelo MG 19/19/100	532,200
4 Bocinas exteriores Philips 1387/40	560,000
7 Transformadores de audio Radson L20A	175,000
7 Baffles	210,000
1 Amplificador mezclador Philips 1060	800,000
1 Micrófono Philips modelo 1610/60	40,000
1 Potenciómetro Philips modelo 1226/01	8,000
1 Base para micrófono Philips 1612	40,000
1 Base con micrófono Philips 1054/12	<u>80,000</u>
Costo total de :	\$ 2'745,000

=====

Cotización con fecha de: Mayo 20 de 1988.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## CONCLUSIONES (Ref. 3 y 4)

Hasta ahora tanto las selecciones como los cálculos fueron hechos por separado; sin embargo, en este capítulo - podemos justificar todo lo antes hecho en un cálculo usado por la mayoría de las grandes firmas de audio en el mundo - (Ref. 4 pp 186).

Con los datos siguientes:

$$V, \text{ volumen del local} = 500,000 \text{ ft}^3$$

S, superficie interior

$$\text{del local.} = 42,500 \text{ ft}^2$$

$$RT \ 60, \text{ Tiempo de reverberancia} = 4.5 \text{ seg.}$$

Suponiendo un ruido ambiental de 35 db, podemos añadir nosotros 25 db para nuestra relación de señal a ruido, y pudiendo entonces encontrar en la gráfica 9.1 una distancia acústica equivalente (EAD) de 8 pies.

Para un coeficiente de absorción de:

$$\bar{a} = 0.12$$

encontramos la constante del local R

$$R = \frac{S \bar{a}}{1 - \bar{a}} = \frac{5,100}{1 - 0.12} = 5,795$$

Dado que los gabinetes van a ser montados en la par

te superior central de la capilla, uniformemente distribuidos y espaciados, apuntados (direccionados) hacia un punto 30 pies retirado de las paredes (Ver plano), la distancia al agente más lejano D2 será de 80 pies, podemos resolver para una pérdida de constantes permisible de un 15%, % AL cons.

$$\begin{aligned} \text{Min } Q &= \frac{641.81 (D2)^2 (RT 60)^2}{15 V} \\ &= \frac{641.81 (80)^2 (4.5)^2}{15 (500,000)} = 11.090 \end{aligned}$$

Nuestro bafle seleccionado tiene una Q de 14 (encontrando experimentalmente, ref 4 pp 46 y 47), por lo tanto los nuevos % AL cons serán de:

$$\% \text{ AL cons} = \frac{641.81 (80)^2 (4.5)^2}{500,000 (14)} = 11.88\%$$

como estamos permitiendo un % AL cons de hasta 15%, el máximo tiempo de reverberancia será de:

$$\begin{aligned} \text{Max RT } 60 &= \sqrt{\frac{15 V Q}{641.81 (D2)^2}} \\ &= \sqrt{\frac{15 (500,000) (14)}{641.81 (80)^2}} \\ &= 5.056 \text{ segundos.} \end{aligned}$$

Encontramos ahora la distancia crítica  $D_c$ .

$$D_c = 0.141 \sqrt{QR}$$

$$D_c = 0.141 \sqrt{(14) (5795)}$$

$$D_c = 40.16 \text{ ft}$$

La distancia limitante  $D_L$  está dada por

$$D_L = 3.16 D_c =$$

$$D_L = 126.90 \quad 127 \text{ ft}$$

Ahora convertimos dichas distancias a sus equivalentes expresados en decibeles con la ayuda de la gráfica 9.2, y para nuestro caso no debemos usar un decibel más grande de 32 db, por ser el correspondiente a  $D_c$  en la gráfica.

Tenemos entonces:

Distancia	Atenuación
EAD 8 ft	18 db
$D_L$ , 35 ft	31 db
$D_c$ , 80 ft	32 db

Siendo  $D$ , la distancia esperada entre el micrófono y la bocina.

Usando ahora un número de micrófonos encendidos de "1" NOM = 1; dB = 0 y usando la fórmula de ganancia acústica, podemos encontrar la distancia que deberá de mantener - el micrófono del usuario.

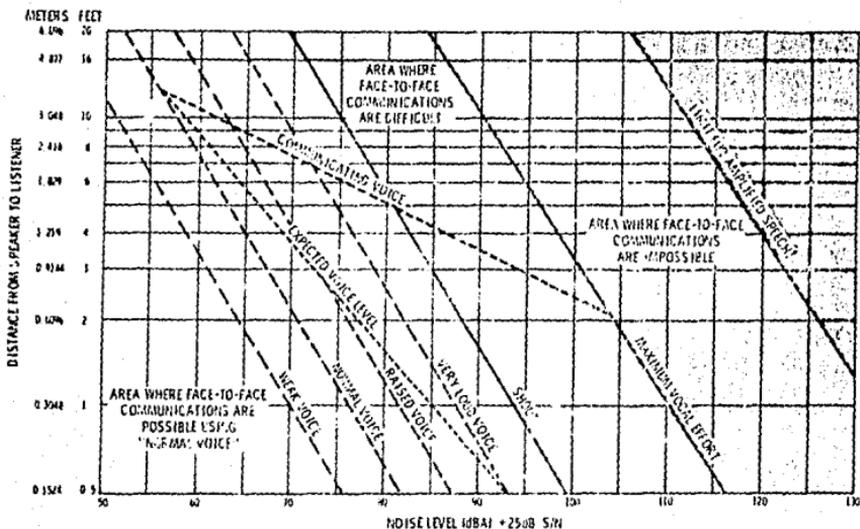
$$\begin{aligned}\Delta D_s &= \Delta EAD + \Delta D1 - \Delta D2 - 6 - 10 \log \text{NOM} \\ &= 18 \text{ dB} - 31 \text{ dB} - 32 \text{ dB} - 6 - 0 = 11 \text{ dB}\end{aligned}$$

que refiriéndonos de nuevo a la gráfica 9.1 encontramos que es 3.5 ft.

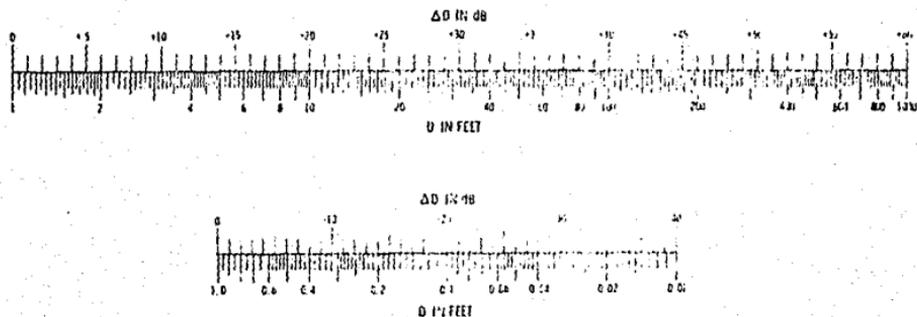
Ahora bien la potencia eléctrica requerida EPR para una sensibilidad de 102 dB medidos a 3 pies del baffle con - un watt de potencia eléctrica y suponiendo 80 dB - SPL al - oyente más lejano.

$$\begin{aligned}\text{EPR} &= (\text{dB} - \text{SPL max} + 10) + (\Delta D2 - \Delta 3') - (\text{L Sens}) \\ &= (80 + 10) + (32 - 9.5) - 102 = 10.5 \text{ dB}\end{aligned}$$

y refiriéndonos a la gráfica 9.3 vemos que equivale aproximadamente a 11 watts por baffle.

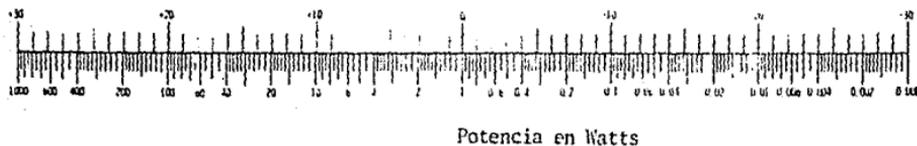


Gráfica 9.1 EAD para diferentes niveles de ruido ambiental (PP 185-4)



Gráfica 9.2 Cálculo de la atenuación relativa con la distancia (Ley del inverso del cuadrado) (PP 82-4)

dB por arriba y debajo a un nivel de referencia de un Watt.



Gráfica 9.3 Gráfica para convertir potencia a decibels con una referencia de un watt (PP 188-4)

## B I B L I O G R A F I A

1. Sonido y Audición  
Colección Científica de Time-Life  
Offset Multicolor, S.A., 1979
2. La Física del Sonido Musical. Vers. Española.  
Centro Regional de Ayuda Técnica, 1967  
Van Nostrand Company, Inc.  
Josephs, Jess J.
3. Acústica  
Serie Schaums  
Mc Graw Hill 1971  
William W. Seto
4. Sound System Engineering  
Howard W. Sams & Co., Inc. 1985  
Don and Carolyn Davis
5. Building Speakers Enclosures  
Radio Shack 1984  
David Weems
6. How to build Speakers Enclosures  
Howard W. Sams & Co., Inc. 1983  
Alexis Badmaieff and Don Davis

7. The Complete Guide to Car Audio  
Howard W. Sams & Co., Inc. 1981  
Martin Clifford
  
8. Thomas Register of American Manufactures  
Thomcat 1984
  
9. Catálogo Philips A-1  
Amplificadores y Equipos de Sonido
  
10. Catálogo Radson  
Manual de Instalaciones. 2a. Edición.
  
11. Catálogo Telefunken  
Altavoces Multivox