

300617
19
24



UNIVERSIDAD LA SALLE

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

“DISEÑO ACUSTICO, DISEÑO DEL SISTEMA DE
SONORIZACION Y VOCEO PARA EL METRO
LIGERO DE LA CD. DE MEXICO”

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

OMAR ADRIAN FREGOSO OJEDA

Director de Tesis: Ing. Guillermo Aranda Pérez

México, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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

I.- INTRODUCCION

A.- Objetivo de la tesis

II.- CAPITULO I.- GENERALIDADES SOBRE EL SONIDO

A.- Definición del sonido	1
B.- Onda de sonido	1
C.- Velocidad de propagación del sonido	1
D.- Intensidad del sonido	2
E.- Tono del sonido	2
F.- Longitud de onda, velocidad y frecuencia del sonido	3
G.- Rango Audible	4
H.- Nivel de intensidad del sonido	4
I.- Nivel de presión del sonido	5
J.- Incremento del nivel de presión del sonido	6
K.- Atenuación del nivel de presión del sonido	8
L.- Nivel de presión del sonido resultante	9
M.- Difracción y refracción del sonido	10
N.- Efecto del viento	12

III.- CAPITULO II.- CARACTERISTICAS ACUSTICAS Y MEDICION DEL SONIDO

A.- Ruido	13
B.- Medición acústica y aparatos de medida	13
C.- Mediciones de intensidad	14
D.- Principio de reciprocidad	14
E.- Espectro del sonido	14
F.- Análisis Transitorio	17
G.- Medidor de nivel de sonido	18

H.- Analizador de ancho de banda constante	19
I.- Analizador de porcentaje constante de ancho de banda	20
J.- Nivel de ruido y nivel de presión del sonido	22
K.- Tiempo de reverberación	23
L.- Medición del tiempo de reverberación	24
M.- Ecuación de Sabine y de Eyring	25
N.- Eco	27
O.- Aislamiento, transmisión y absorción del sonido	27
P.- Articulación	28

IV.- CAPITULO III.- DISEÑO ACUSTICO PARA SISTEMAS DE AUDI- CION PUBLICA

A.- Propósito de uso	30
B.- Frecuencia de uso de los aparatos	31
C.- Investigación de las características acústicas	32
D.- Investigación del ruido	32
E.- Investigación de la reverberación	32
F.- Determinación de los sistemas de sonido	33
G.- Selección y arreglo de los aparatos	33
H.- Selección y arreglo de las bocinas	35
I.- Tipo y propósito de las bocinas	36
J.- Arreglo de las bocinas	36
K.- Sistema centralizado	37
L.- Sistema descentralizado	39
M.- Sistema combinado	40
N.- Arreglo de la potencia de las bocinas:	41
1.- Interiores:	
a.- Oficinas y salones de clase	
b.- Sala (Auditorio, gimnasio)	
c.- Taller (sistema industrial)	
d.- Corredores (pasillos)	
2.- Exteriores	

O.- Determinación del micrófono	51
P.- Selección de los patrones del micrófono	52
Q.- Determinación del amplificador	54
R.- Determinación de la potencia del amplificador	54
S.- Selección del tipo de amplificador	54
T.- Selección del Funcionamiento	55
U.- Aparatos externos	55

V.- CAPITULO IV.- CASO PRACTICO: SISTEMA DE VOCEO PARA LAS INSTALACIONES DEL METRO LIGERO DE LA CIUDAD DE MEXICO

A.- Datos Generales	56
B.- Niveles de ruido en el metro de la Cd. de México	56
C.- Descripción funcional	57
D.- Pruebas realizadas	58
E.- Medición del ruido ambiental	58
F.- Sonido ambiental	60
G.- Niveles de ruido promedio	60
H.- Equipo	62
I.- Análisis económico.	66
1.- Equipo para el puesto de control de línea	
2.- Equipo para el puesto emergente computarizado	
3.- Costos de instalación	
4.- Resumen	
K.- Instalación y pruebas	73
L.- Conexión de las bocinas	73
M.- Acoplamiento de impedancias	73
N.- Conexión entre amplificadores y aparatos de entrada	74

VI.- CONCLUSIONES

VII.- BIBLIOGRAFIA

I.- INTRODUCCION

El estudio del sonido, de sus características, de la propagación, generación, percepción, medida, reproducción y control del mismo, dió origen a la Acústica.

A principios de este siglo, el estudio del sonido comenzó a hacerse teóricamente y Hermann Helmholtz y Lord Rayleigh establecieron las bases teóricas y matemáticas para su estudio.

Desde entonces, se ha prestado especial interés a la arquitectura acústica, en la cual se busca que aplicando las leyes que regulan al sonido, se construyan locales en los que la música y la palabra se transmitan satisfactoriamente. De estos estudios se derivó en la Ingeniería Acústica, la cual se encarga del estudio, fabricación y perfeccionamiento de los aparatos utilizados en sistemas de audición, tales como micrófonos, altavoces y amplificadores.

Sin embargo, la acústica y sus aplicaciones se habían enfocado solamente a recintos donde se requiriera una gran calidad en la reproducción del sonido, como salas de concierto.

En los últimos años, el interés por la alta calidad en la reproducción del sonido se ha incrementado, gracias a los avances tecnológicos de la electrónica y al desarrollo de equipos y sistemas de sonido para distintas aplicaciones. Es así, como se desarrolla la audición pública o publifusión mediante la cual se estudia la sonorización de espacios públicos, no necesariamente como una aplicación de aparatos de sonido profesional. Esta evolución, ha traído como consecuencia el desarrollo de sistemas especialmente diseñados para aplicaciones de audición pública, en los cuales los requerimientos de calidad y funcionamiento son distintos a los requeridos en una sala de conciertos.

De este modo, la sonorización de grandes espacios públicos adquiere relevancia y se hace necesario efectuar estudios y diseños acústicos especiales para diferentes lugares. Tal es el caso que ocupa al presente trabajo en el cual como tema central, se desarrolla el sistema de voceo para el metro ligero de la Ciudad de México.

En el presente trabajo se ilustra de manera general los fundamentos de sonido y acústica de tal manera que sirven de base para profundizar en el diseño acústico.

En el capítulo uno, las generalidades del sonido nos muestran su comportamiento, características principales, y las diferentes unidades que existen para la medición del sonido. Desde la medición del sonido percibido psicológicamente (phon) hasta los decibeles (dB), que son la unidad más conocida para mediciones de sonido.

Existen diferentes maneras de estudiar las características acústicas de un lugar y de efectuar mediciones de niveles de ruido. Los diferentes aparatos de medición y tipos de análisis de sonido se destacan en el capítulo dos, en donde se explican sus aplicaciones de laboratorio y prácticas. La finalidad de éste, es la de utilizar los instrumentos de medición adecuados, para los distintos tipos de análisis necesarios que deben llevarse a cabo como estudio preliminar al diseño acústico.

En el capítulo dos se explica también otros fenómenos que son fundamentales para el diseño acústico, y que se relacionan con la intensidad. Dichos fenómenos son el tiempo de reverberación, el eco, la transmisión, absorción y reflexión del sonido. Dichos fenómenos deben tomarse en cuenta para el diseño acústico, sobre todo para lugares en donde los niveles de ruido son elevados y las características del lugar dificultan la transmisión y propagación adecuada del sonido.

En el capítulo tres, se discuten los aspectos más importantes que deben tomarse en cuenta en el diseño acústico, y se mencionan diferentes ejemplos que sirven como base para diseños sencillos de diferentes lugares, tales como gimnasios, talleres, corredores, etc.

Finalmente, como caso práctico y objetivo de la tesis, se realizó el diseño del sistema de sonorización y voiceo para el metro ligero de la Cd. de México.

En el capítulo cuatro, se tratan los aspectos fundamentales que se tomaron en cuenta para el diseño del sistema, las mediciones más importantes, tanto matemáticamente como in situ, la justificación del equipo y las pruebas necesarias para el adecuado funcionamiento del mismo.

Es importante hacer notar que cada diseño es distinto y que depende de las características del lugar, su uso, y la calidad que se desee obtener de un sistema, para que se justifique el estudio. En el caso del metro ligero de la Cd. de México, un estudio es necesario e importante para dotar de un buen sistema de sonorización y voceo al transporte colectivo metro de la ciudad más grande del mundo.

A.- OBJETIVO DE LA TESIS

El objetivo primordial de la tesis es lograr un conocimiento profundo de las variables que intervienen en el diseño acústico, para desarrollar sistemas de audición pública, como una aplicación de la ingeniería acústica.

El objetivo no se limita al simple conocimiento de las bases del diseño acústico en general, sino se amplía para dotar de un sistema de sonido que cumpla con las características de calidad, diseño y funcionamiento, requeridas por el metro ligero de la Cd. de México.

II.- CAPITULO I.- GENERALIDADES SOBRE EL SONIDO

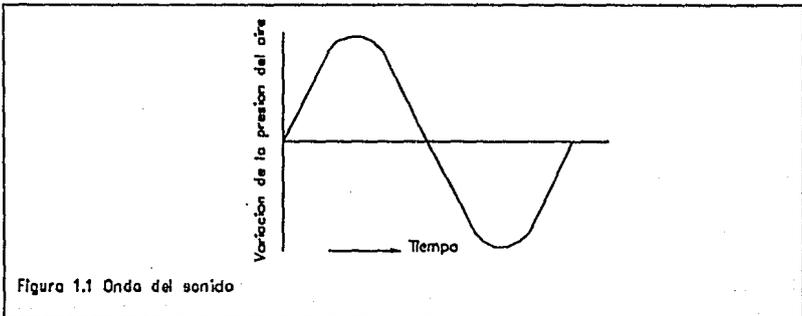
A.- DEFINICION DE SONIDO

El sonido es una onda producida por la alteración en presión, desplazamiento, tensión y velocidad de las moléculas del aire. La refracción y compresión de la onda estimula el sentido acústico y se percibe como sonido.

En este capítulo solo se mencionará lo referente al rango audible del ser humano.

B.- ONDA DE SONIDO

Al estimular las moléculas del aire por medio de una vibración, se produce una oscilación que se repite periódicamente y que se transmite por el aire, a la cual se llama onda de sonido. El método general para describir esta onda se muestra en la figura 1.1.



C.- VELOCIDAD DE PROPAGACION DEL SONIDO

La velocidad de propagación del sonido se expresa en la siguiente fórmula:

$$C = 331.5 + 0.61t \text{ (m/s)} \dots\dots\dots (1-1)$$

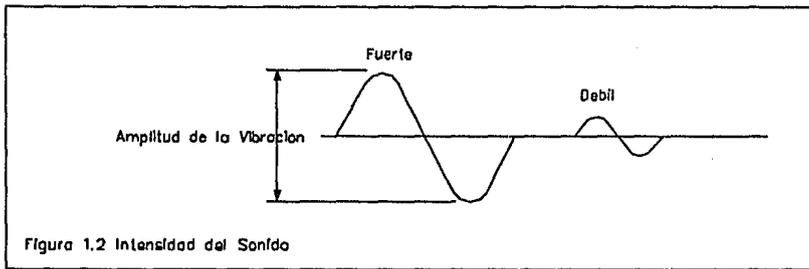
Donde: **C** = Velocidad del sonido
t = Temperatura en °C
331.5 = Velocidad del sonido a 0 °C.

De la fórmula anterior se puede ver que la velocidad del sonido se vuelve más rápida o lenta de acuerdo a la variación de la temperatura. Generalmente la velocidad del sonido se expresa como 340 m/s, que es la velocidad del sonido a 15 °C.

Este valor de 340 m/s puede tomarse como un valor ordinario que varía poco con la temperatura y condiciones de humedad.

D. - INTENSIDAD DEL SONIDO

Generalmente, la intensidad del sonido se llama escala del sonido. Mientras mayor sea la amplitud de la onda de sonido se percibe como un sonido mas largo (fuerte) y mientras menor sea su amplitud, se percibe como un sonido mas corto (débil). Figura 1.2



Las unidades para medir el sonido son las conocidas como phon en el sentido psicológico de percepción del sonido y como dB en el sentido físico de la intensidad de sonido. El rango audible va de 0 phon (mínimo valor audible) a 120 phon (máximo valor audible). Cualquier sonido más fuerte puede provocar dolor y ruptura del oído.

El rango audible en el sentido físico de la intensidad del sonido va de 0 a 120 dB.

E. - TONO DEL SONIDO

El tono del sonido se refiere al grado de densidad de la presión del sonido, en otras palabras, al ciclo de vibración del aire (frecuencia) como se puede observar en la figura 1.3. El sonido un gran número de ondas (alta frecuencia) se escucha como agudo y aquel con pocas ondas (baja frecuencia) se escucha como grave.

El rango audible para el oído humano es de 20 - 20000 ciclos/s. A esta unidad de ciclos/s se le conoce como Hertz (Hz).

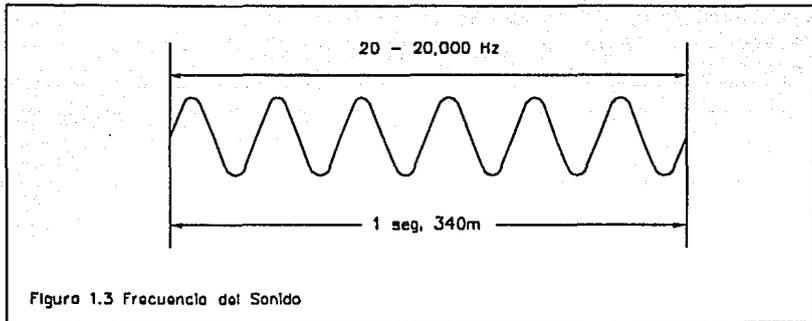


Figura 1.3 Frecuencia del Sonido

F. - LONGITUD DE ONDA, VELOCIDAD Y FRECUENCIA DEL SONIDO

La longitud de onda del sonido se mide de cresta a cresta de la onda. La relación existente entre la longitud de onda, la frecuencia y la velocidad del sonido se indican mediante la siguiente fórmula:

$$\lambda = C/f \quad C = \lambda f$$

Donde: λ = Longitud de onda
 f = Frecuencia en Hz
 C = Velocidad del sonido (340 m/s)

Cuando el rango audible se toma como 20-20000 Hz la longitud de onda va de 17m a 1.7cm.

TIMBRE

El timbre del sonido marca la diferencia entre dos sonidos que pueden ser de la misma intensidad.

Esto se debe a que el timbre depende de la estructura del espectro del sonido y a que las armónicas de la frecuencia fundamental de las dos fuentes de sonido pueden diferir entre sí (voces humanas, por ejemplo).

G.- RANGO AUDIBLE (Phon, dB, Hz)

El rango audible para el oído humano es de 0-120 phon en el sentido de sensación o percepción psicológica, o 0-120 dB en el nivel de presión del sonido, o bien de 20-20000 Hz en frecuencia.

El oído tiene una característica para la frecuencia. Si un sonido proveniente de una fuente se escucha con una cierta fuerza, la frecuencia puede provocar que dicho sonido se escuche con diferente intensidad. La figura 1.4 muestra que a menor frecuencia el sonido es menos audible. El rango audible fácilmente es de 3000 a 4000 Hz.

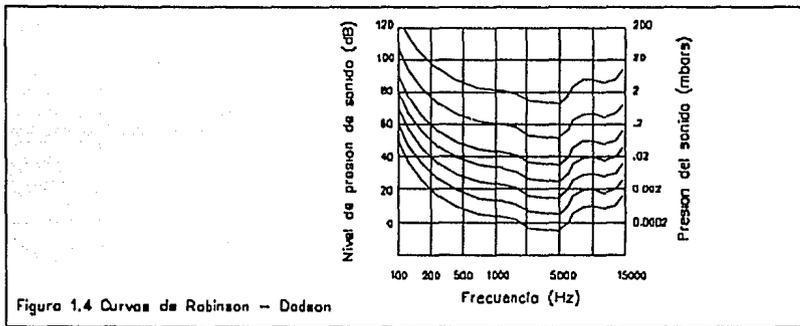


Figura 1.4 Curvas de Robinson - Dadson

A continuación se explicará la relación entre el sentido del oído y el sonido. Supóngase que se alimenta una potencia de 1W a una bocina y se perciben 90dB a 1m de distancia. Cuando se alimenta una potencia de 2W a la bocina, el incremento en el nivel de presión de sonido será de 3dB, es decir, se tendrá un incremento de 3dB cada vez que se dobla la potencia. Esta relación de incremento en la potencia contra incremento de sensibilidad se puede ver en la figura 1.5

H.- NIVEL DE INTENSIDAD DEL SONIDO

El nivel de intensidad del sonido se expresa como la cantidad de energía de sonido existente en 1 m^2 de superficie en 1 segundo. La relación entre el nivel de intensidad del sonido, el nivel de presión del sonido y la presión del sonido se muestra en la figura 1.6.

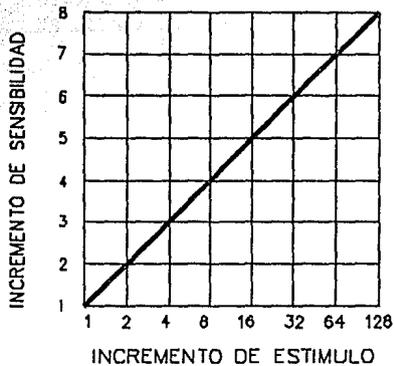


Figura 1.5 Relación entre incremento de estímulo y sensibilidad

Sin embargo, es difícil medir directamente la intensidad del sonido, de manera que se mide la presión del sonido o el nivel de presión del sonido.

El nivel de intensidad de un sonido expresado en dB, se define mediante la siguiente fórmula:

$$IL = 10 \log_{10} (I/10^{-12}) \text{ dB} \dots\dots (1-3)$$

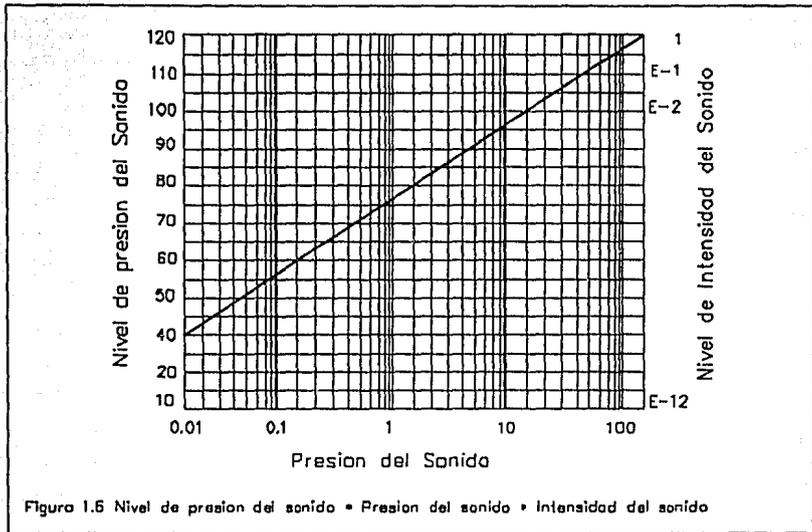
- Donde: I = Nivel de intensidad de un cierto sonido (W/m^2)
 IL = Nivel de intensidad del sonido
 10^{-12} = Nivel de intensidad estándar

I.- NIVEL DE PRESION DEL SONIDO

El nivel de presión del sonido se utiliza para obtener la relación entre una cierta presión de sonido y la presión de sonido estándar (0.0002bar).

$$SPL = 20 \log (P/0.0002) \text{ dB} \dots\dots\dots (1-4)$$

- Donde: P = Presión de sonido
 SPL = Nivel de presión de sonido ("Sound pressure level")



En el diseño acústico para sistemas de audición pública, solamente se utiliza el nivel de presión del sonido. Por tanto, se hace referencia al incremento y atenuación del nivel de presión del sonido.

J.- INCREMENTO DEL NIVEL DE PRESION DEL SONIDO

Para obtener el incremento en el nivel de presión de sonido cuando se alimenta una cierta potencia a una bocina, se calcula la relación entre la potencia a alimentar y una potencia de referencia (generalmente 1W) y multiplicandola por 10, una vez obtenido el logaritmo de dicha relación.

$$SPL = 10 \log(P_2 / P_1) \text{ dB} \dots\dots\dots (1-5)$$

Donde: P_1 = Potencia de referencia
 P_2 = Potencia alimentada

El nivel de presión del sonido se incrementa en 3dB con una potencia de 2W y 6dB con una potencia de 4W. Por ejemplo, para una bocina que tenga un nivel de presión de sonido (SPL) de 90 dB a 1W, al alimentarle una potencia de 2W, el SPL resultante será de 93dB, y 96dB con una potencia de 4W.

Por conveniencia se puede utilizar la figura 1.7 que muestra la relación entre potencia y SPL (nivel de presión del sonido).

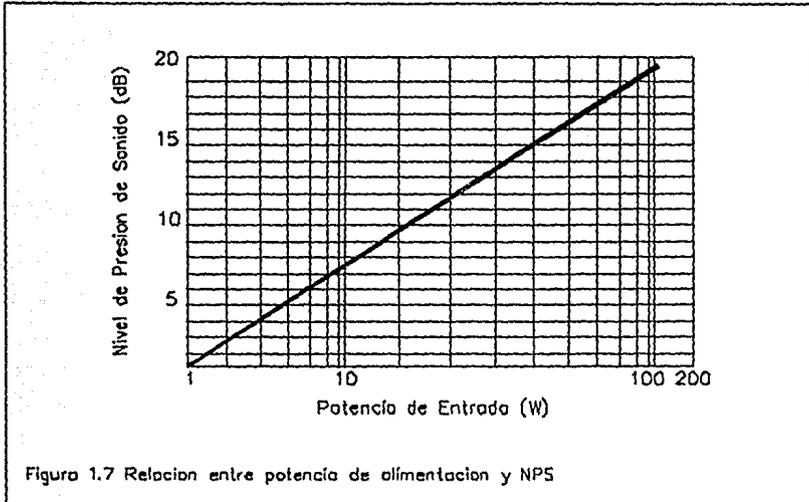


Figura 1.7 Relación entre potencia de alimentación y NPS

Para explicar como utilizar esta figura, se tiene que para una potencia de entrada de 2W la lectura en el Nivel de presión de sonido es de 3dB y de 6dB en el caso de una potencia de entrada de 4W.

Para obtener el nivel de presión de sonido de salida se puede utilizarse la siguiente expresión:

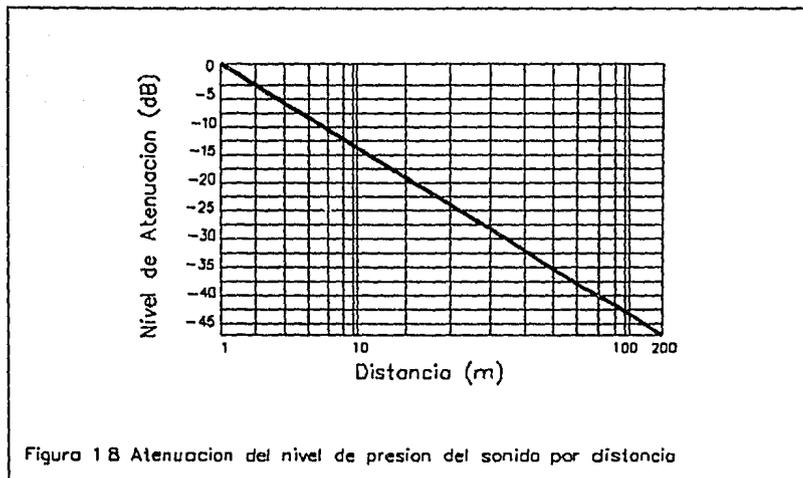
$$\text{Nivel de presión de sonido a 1 W} + \text{Nivel de presión del sonido obtenible de la figura 1.7} = \text{Nivel de presión de sonido de salida}$$

NOTA: Respecto a las bocinas, en los catálogos se ve por ejemplo su potencia nominal, no hay que confundir que el nivel de presión del sonido se mide a 1W de potencia y a una distancia de 1m.

K.- ATENUACION DEL NIVEL DE PRESION DEL SONIDO

Cuando se libera un sonido de una fuente de sonido, dicho sonido se distribuye de manera esférica, de manera que el nivel de presión del sonido es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. En otras palabras, cada vez que se dobla la distancia, el nivel de presión del sonido se atenúa en 6dB.

La variación relativa se muestra en la figura 1.8 (a campo abierto).



Para obtener la atenuación del nivel de presión del sonido se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{SPL} = 20 \log (r_2 / r_1) \text{ dB} \dots\dots\dots (1-6)$$

Donde: r_1 = Distancia de referencia (generalmente 1m)

r_2 = Distancia al punto deseado

Como ejemplo se calcula el nivel de atenuación a una distancia de 10m:

$$\text{SPL} = 20 \log (10/1) = 20 \log 10 = 20 \times 1 = 20 \text{ dB}$$

A 20m de distancia la atenuación será:

$$\text{SPL} = 20 \log 20 = 26 \text{ dB}$$

Con lo que se comprueba que cada vez que se aumenta la distancia al doble, la atenuación sera de 6 dB.

Para obtener la atenuación del SPL puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$\begin{array}{rcccl} \text{Nivel de presión} & & \text{Nivel de presión de} & & \text{SPL de salida} \\ \text{de salida} & - & \text{obtenido de la fig.} & = & \text{al punto} \\ & & 1.8 & & \text{deseado} \end{array}$$

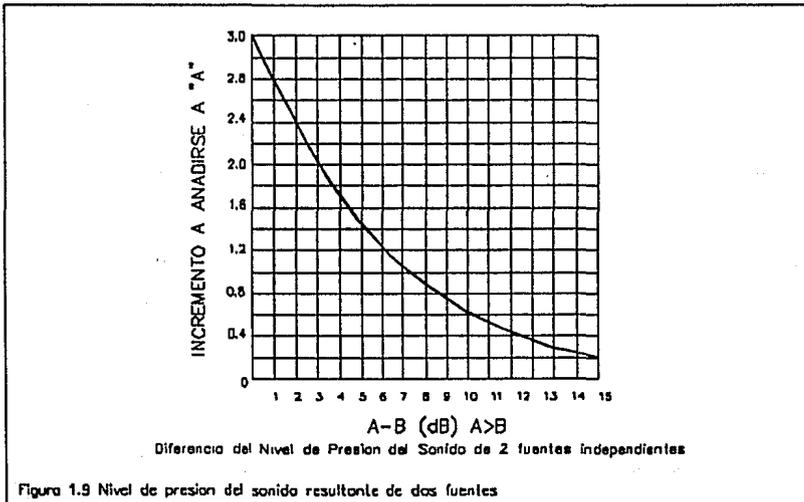
L.- NIVEL DE PRESION DE SONIDO RESULTANTE

Para obtener el nivel de presión de sonido resultante de dos fuentes de sonido, en un punto determinado, no basta con sumar los niveles de presión de sonido de ambas fuentes. El nivel de presión del sonido tiene que convertirse primero a intensidad de sonido, o presión de sonido, para hacer las magnitudes comparables y posteriormente debe ser convertida de nuevo a nivel de presión del sonido. El método más común de cálculo se muestra a continuación, utilizando la tabla de la figura 1.9.

$$I = (I_1 + I_2)^{1/2} \dots\dots\dots (1-7)$$

Donde I_1 e I_2 son los niveles de intensidad del sonido.

El cálculo del Nivel de presión de sonido resultante se muestra en la figura 1.9.



Como un ejemplo se puede considerar un par de bocinas con la misma ganancia de salida (nivel de presión del sonido a 1 W de potencia a un metro de distancia), en donde el nivel de presión del sonido resultante debe sumarse:

¿ Que nivel de presión del sonido se puede obtener de la configuración que se muestra en la figura 1.10, en donde cada bocina tiene una ganancia de salida de 100 dB a 10m de distancia?

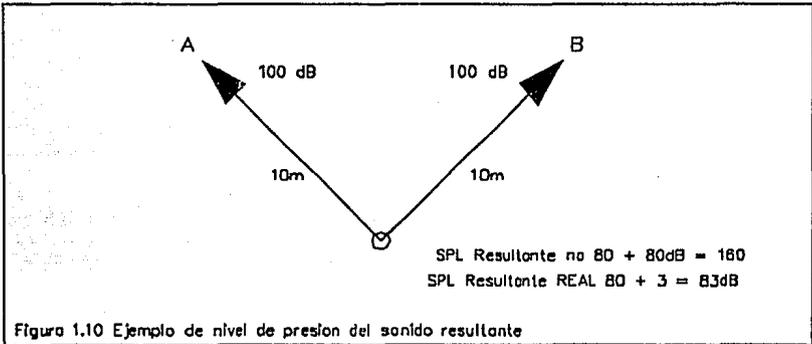


Figura 1.10 Ejemplo de nivel de presión del sonido resultante

La atenuación a 10m de distancia es de 20 dB y el nivel de presión de sonido de A y B será:

$$80 - 20 = 60 \text{ dB}$$

De la fig. a-10 el SPL resultante a 0dB es 3dB, por lo tanto:

$$60 + 3 = 63 \text{ dB}$$

Recordemos que a un mismo nivel de salida de las bocinas, el SPL se incrementa en 3dB.

M.- DIFRACCION Y REFRACCION DEL SONIDO

Difracción significa un fenómeno en el cual, cuando el sonido llega a una cierta barrera, este la atraviesa o no. Generalmente cuando el tamaño de la barrera es muy pequeño comparado con la longitud de onda del sonido, el sonido se transmite por difracción, pero en donde la longitud de onda del sonido es muy corta, el sonido es incapaz de atravesar la barrera y no se propaga.

Como se explicó en la sección 1-6, la longitud de onda del sonido es de 17m - 1.7cm en el rango audible. Por ejemplo, un sonido de 20Hz (longitud de onda 17m) chocando con una barrera de 5m, la atravesará fácilmente, pero un sonido de 20 kHz de longitud de onda 1.7cm no será difractado.

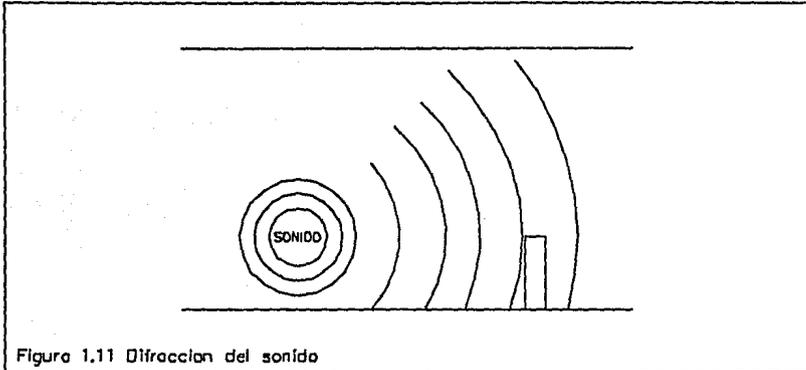


Figura 1.11 Difracción del sonido

La refracción del sonido es un fenómeno en el que la variación de las propiedades del aire, la velocidad y la dirección de propagación del sonido cambian.

Cuando la temperatura (densidad) del aire cambia, la propagación del sonido cambia hacia arriba o hacia abajo. Por ejemplo, cuando se encuentra aire caliente en la parte baja de la atmósfera y el aire frío en la parte alta (día) el sonido se propaga hacia arriba. (Figura 1.12 a). En el caso contrario (noche) el sonido se propaga hacia abajo (Figura 1.12 b).

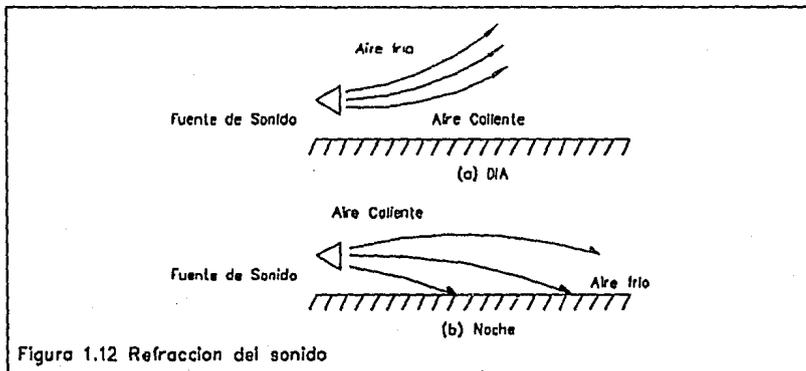


Figura 1.12 Refracción del sonido

N.- EFECTO DEL VIENTO

Generalmente la velocidad del viento es baja en las capas inferiores y se incrementa en lugares altos. El efecto que produce la velocidad del viento se muestra en la Figura 1.13.

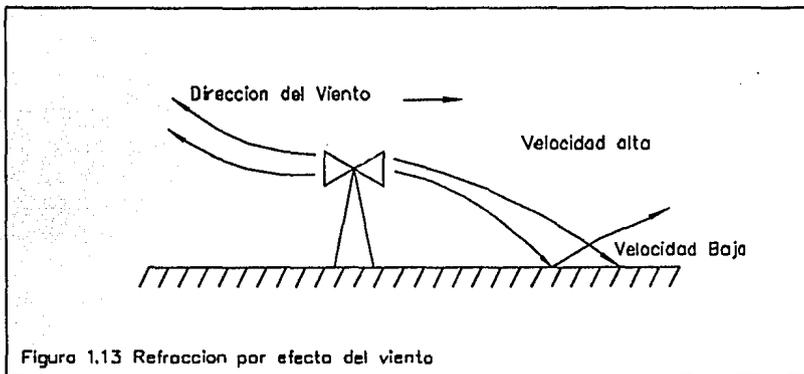


Figura 1.13 Refracción por efecto del viento

El arreglo de las bocinas para exteriores debe hacerse de manera que se fijen debajo de la posición alta. Esto es porque el sonido puede refractarse hacia el cielo en el día, y el nivel de presión de sonido necesario no podría ser obtenido en este caso si el viento sopla en la dirección contraria al sonido.

En el siguiente capítulo se describirán las características y mediciones acústicas más importantes que deben considerarse como análisis previo al diseño acústico.

III.- CAPITULO II.- CARACTERISTICAS ACUSTICAS Y MEDICION DEL SONIDO

Se hará una breve descripción de ruido, reverberación, eco, aislamiento del sonido, absorción del sonido, transmisión del sonido y articulación, de manera que puedan obtenerse los conocimientos mínimos necesarios.

A.- RUIDO

El ruido es generalmente " el sonido indeseable tomado por el escuchante" o "el sonido extra no deseado". La sensibilidad al sonido es diferente no solo por las características individuales, sino por el ambiente, contenidos, elementos psicológicos etc.

Los sonidos considerados como ruidos son los siguientes.

- * Sonidos muy largos
- * Sonido que interfiere con la voz o música
- * Sonido que interfiere al sonido escuchado con atención.

Los métodos para medir el ruido incluyen los métodos con medidores del nivel de ruido, y la medición por análisis de frecuencia.

B.- MEDICION ACUSTICA Y APARATOS DE MEDIDA

Como se definió al principio de esta tesis, el sonido es una alteración en presión, desplazamiento, tensión y velocidad de las partículas del aire. La medición del sonido se basa entonces, en investigaciones cuantitativas de dicha alteración.

Las mediciones fundamentales del sonido son la velocidad de propagación y la intensidad del sonido - o con mayor precisión,- de los diversos componentes en frecuencia del sonido. Como la intensidad del sonido se relaciona directamente al desplazamiento, velocidad de las partículas, y presión acústica, cualquiera de ellos puede ser objeto de medida.

C.- MEDICIONES DE INTENSIDAD

De todas las características del sonido, la intensidad es probablemente la más importante. Se puede medir directamente a la intensidad del sonido, pero lo más usual es medir la presión o gradiente de presión del sonido, que en muchos casos es proporcional a la velocidad de la partícula.

Un método usado generalmente para medir la intensidad del sonido es el conocido como Calibración por Reciprocidad, utilizado para la calibración precisa de micrófonos. Es por esto que la calibración de micrófonos va íntimamente ligada a la medición de intensidad de sonido

D.- PRINCIPIO DE RECIPROCIDAD

El principio de reciprocidad es un elemento importante para el diseño de sistemas eléctricos y electroacústicos. A pesar de que el principio de reciprocidad no es aplicable a todos los tipos de transductores, es válido para la mayoría. El principio establece que "La impedancia de transferencia entre dos pares terminales es independiente de la posición de la fuente y del receptor", o en otras palabras "La presión de sonido resultante producida en un punto específico por una fuente de sonido, es igual a la presión producida en el punto de emisión, si la fuente se encontrara en el punto de recepción".

Uno de los resultados más importantes del principio de reciprocidad es que la direccionalidad de un transductor trabajando como un micrófono es la misma que cuando actúa como fuente.

E.- ESPECTRO DEL SONIDO

El método de reciprocidad, gracias a la calibración absoluta de micrófonos, da medidas muy precisas de la presión del sonido, probablemente la medida acústica más importante. Sin embargo, el carácter completo de un sonido complejo, no puede estudiarse en su totalidad, mediante una simple lectura de la presión del sonido, debido a que un sonido complejo está formado por componentes de frecuencia distintos. Por lo tanto, es necesario analizar el sonido en sus componentes de frecuencia, y medir la presión o intensidad de cada

una. La gráfica de intensidad (o presión) contra frecuencia se le conoce como espectro de sonido, y el procedimiento para obtenerlo se le conoce como análisis del sonido.

El análisis del sonido puede dividirse en análisis de estado sólido y en análisis de estado no-sólido. En el caso del análisis de estado sólido, las intensidades de los diversos componentes de frecuencia son constantes en el tiempo. En el segundo caso, el valor absoluto y relativo de los componentes pueden variar con el tiempo, y para una descripción exacta del análisis, se necesita una representación tridimensional de amplitud, frecuencia y tiempo.

Se han utilizado muchos principios para la construcción de analizadores de sonido. Algunos emplean el método de grabar el tipo de onda de presión instantánea, y después analizar la onda por el método de series de Fourier para encontrar la amplitud de los diversos componentes de frecuencia de la onda. Los métodos más modernos emplean filtros eléctricos y componentes electrónicos para medir las componentes directamente. Existen tres tipos de analizadores: el analizador de ancho de banda constante, el analizador de porcentaje de ancho de banda constante y el analizador de una, media o un tercio de octavo de banda.

Todos ellos llevan filtros paso-banda. En dichos analizadores, la frecuencia central del filtro, o los límites del paso banda, se pueden cambiar, y en algunos, la selectividad del filtro también se puede cambiar. La selectividad es una medida de la habilidad de los filtros para seleccionar una frecuencia determinada y discriminar a las restantes. La respuesta de un filtro paso banda constante decaerá si un cierto porcentaje de la frecuencia que se analiza, difiere de la frecuencia a la que se sintonizó. Como un ejemplo, la selectividad puede describirse como 3dB abajo y 20 ciclos fuera de la frecuencia central. Si la escala de frecuencia es lineal, la curva de respuesta ocupará la misma área, sin tomar en cuenta a la frecuencia central; pero si la escala de frecuencia es logarítmica, como frecuentemente sucede, el área de la curva de respuesta decrece con la frecuencia.

Por otra parte, la respuesta del filtro de ancho de banda constante se describe como "debajo" tantos decibeles a una frecuencia de 1 a 5% fuera de la frecuencia central. Dicha curva tendrá la misma forma para diferentes frecuencias centrales, si el eje de la frecuencia se grafica logarítmicamente. (figura 2.1)

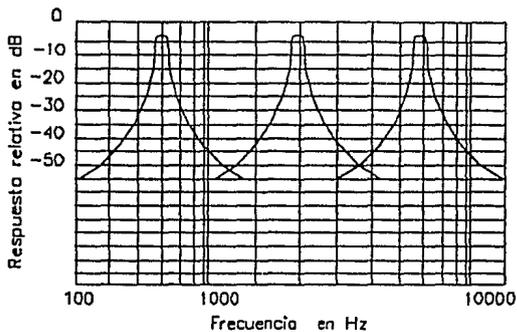


Figura 2.1 Respuesta de un filtro de ancho de banda constante

El filtro de un octavo de banda tiene un paso banda relativamente más amplio comparado con la frecuencia central y se le llama analizador de banda ancha.

El analizador de un tercio de octava tiene varias ventajas para análisis de ruido. La gráfica del paso banda de un analizador de este tipo se muestran en la figura 2.2.

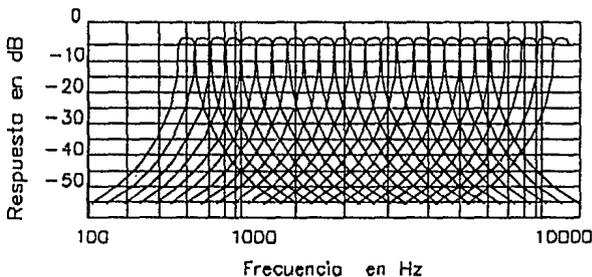


Figura 2.2 Respuesta de un analizador de un tercio de octava

Para el análisis directo de un sonido constante o uniforme, el sonido se toma por un micrófono y se convierte en señal eléctrica. La señal eléctrica se alimenta a la entrada del analizador, y a la salida del mismo se conecta un voltmetro para medir el voltaje de salida. Entonces, se cambia la frecuencia central del analizador, y se registran los voltajes de salida.

A menudo se efectúan grabaciones de alta fidelidad y la grabación se reproduce en el analizador gráfico de nivel. Generalmente se utiliza cinta magnética para el registro de las grabaciones. En el caso de sonido constante o uniforme la grabación se hace más por conveniencia que por necesidad, aunque hay muchos casos en donde el análisis directo es impráctico.

F. - ANALISIS TRANSITORIO

Existen ocasiones en las que se desea analizar sonidos en los cuales la distribución de la frecuencia y la intensidad varían consistentemente con el tiempo, como en los casos de conferencias, música o ruido de maquinaria. En dichos casos, se requiere una grabación precisa que muestre la magnitud de cada componente en cada instante de tiempo para poder obtener una gráfica confiable del promedio de amplitud y frecuencia del sonido. Por esta razón, un simple barrido hecho por un analizador de ancho de banda, solo dará una pobre indicación del promedio de frecuencias que componen el sonido. Este tipo de analizadores, al tener frecuencias establecidas, pueden perder componentes importantes de frecuencia, que se den antes de llegar a la frecuencia central del analizador.

Una alternativa es analizar varios tramos de grabación, reproduciendo dichos tramos a través del analizador para cada banda de frecuencia que quiere analizarse. A este método de análisis se le conoce como método de red o malla.

Esto se hace cortando parte de la grabación de la cinta y uniendo los tramos para hacer una red continua. Si el análisis se hace automáticamente, es conveniente utilizar un analizador de ancho de banda constante. Entonces, la velocidad de rotación de la cinta y el analizador se fijan de tal forma que la cinta rote cada vez que cambie la frecuencia central del analizador en una cantidad igual a su ancho de banda.

Otro ejemplo es el análisis de frecuencia del sonido en un cuarto reverberante. Dicho cuarto tiene comportamientos de onda definidos, y si el micrófono de grabación se tiene en un solo punto, la grabación puede ser una pobre indicación de todo el campo del sonido, debido a que las frecuencias que presenten puntos muertos o nodos en dicho punto se discriminarán en favor de aquellas que no los presenten. Para evitar esto, lo que se hace es mover el micrófono de una manera no predeterminada con la finalidad de medir las

variaciones punto a punto del campo de sonido. Este tipo de grabación es similar a la grabación de ruido de maquinaria, y el método de red o malla también se utiliza aquí.

Si el análisis de una grabación se hiciera con un analizador de porcentaje de ancho de banda constante, se requeriría que la velocidad de reproducción de la cinta variara logarítmicamente con la frecuencia; de otro modo, las altas frecuencias se verían favorecidas sobre las bajas. Sin embargo, es posible efectuar una conversión del espectro a partir de lecturas obtenidas del analizador, convirtiendo las lecturas a niveles de espectro. En la siguiente tabla se muestran medidas para convertir lecturas del analizador de ancho de banda a niveles de espectro. El uso de estas conversiones asume que el nivel de sonido es constante en la banda medida y que no hay componentes puros de tono.

Cada tipo de analizador envuelve cierta incertidumbre cuando se utiliza para análisis de sonido, debido a que al tomar en cuenta a todos los factores y características del sonido se complica demasiado el análisis.

El análisis de la voz, en el cual se efectúa una grabación amplitud-frecuencia-tiempo, es otra aplicación del método de malla. Presenta el problema de representar una grabación tridimensional, en una superficie bidimensional. Si se toma el eje x como el tiempo, y el eje vertical o y como la frecuencia, es posible dibujar los puntos indicando qué componentes de frecuencia se presentan en qué instante de tiempo. Es posible obtener una gráfica tridimensional, si la densidad de estos puntos puede hacerse proporcional a la amplitud de los componentes de frecuencia.

Un analizador de este tipo, como en el método de malla continua, reproduce el sonido continuamente al analizador, cuyo rango de barrido se sincroniza con la frecuencia de rotación. En este caso, sin embargo, la salida de cada rotación se dibuja separadamente como una línea de densidad variable, cada línea representa una gráfica amplitud-tiempo.

G.- MEDIDOR DE NIVEL DE SONIDO

El medidor de nivel de sonido, es un dispositivo conveniente para hacer medidas de intensidad o nivel del sonido, donde las fluctuaciones del nivel de sonido no exceden 20 dB en un período de tiempo corto. El rango de estos medidores es de 25 a 140 dB. El circuito medidor es aproximadamente logarítmico, las variaciones de la respuesta logarítmica se

compensan mediante la carátula del medidor. Los otros elementos del medidor son un amplificador y un micrófono calibrado. El amplificador es capaz de dar tres características de ganancia contra frecuencia, mediante un filtro. Se hace con la finalidad de que la medida corresponda, aproximadamente, al nivel psicológico de percepción del sonido.

Al referirse al nivel psicológico del sonido, se quiere decir que, al variar las componentes de frecuencia de un sonido, sin variar su nivel, el oído humano lo percibe como una variación en el nivel de éste. Las unidades para medir dicha variación psicológica se conocen como phon.

El medidor de nivel de sonido no intenta ser un medidor de sonido absoluto, pero sí como un indicador de la intensidad psicológica. Por ejemplo, el uso de la curva del phon, ha sido criticado porque, para su obtención, se utilizaron tonos puros, mientras que la mayoría de las medidas se hacen con sonidos mucho más complejos y de carácter transitorio, tales como ruido.

H.- ANALIZADOR DE ANCHO DE BANDA CONSTANTE

Este analizador trabaja bajo el principio heterodino, en el cual se mezclan dos frecuencias para obtener la suma o la diferencia de ambas. Tomando como base a la frecuencia central del oscilador de cristal del analizador, puede conocerse la frecuencia analizada, mediante la suma o diferencia entre la frecuencia medida a la salida del analizador, y la frecuencia central del mismo. La frecuencia resultante de dicha adición o sustracción, será la frecuencia analizada. El diagrama de bloque de este tipo de analizador se muestra en la figura 2.3.

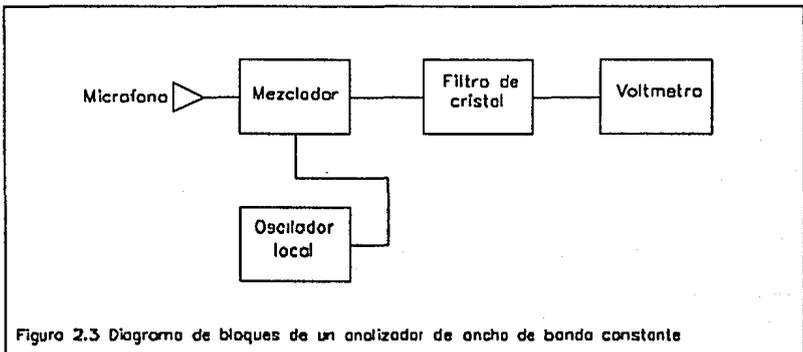


Figura 2.3 Diagrama de bloques de un analizador de ancho de banda constante

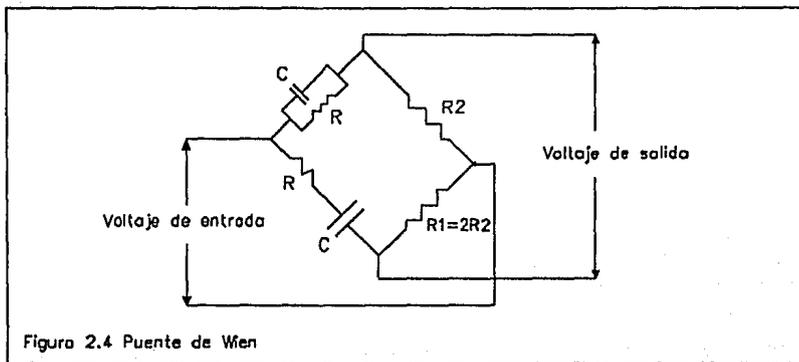
La señal eléctrica generada por el micrófono, se introduce a un circuito "mezclador" eléctrico, y un oscilador local de frecuencia variable genera una frecuencia que puede oscilar entre 80,000 a 120,000 hertz, dependiendo si se va a utilizar la suma o diferencia del analizador. La salida del mezclador se introduce al filtro de cristales de cuarzo. Por ejemplo, si la frecuencia central del oscilador es de 100,000 Hz y a la salida obtenemos una frecuencia de 101,000 o 105,000 Hz, podemos deducir que el sonido analizado tiene componentes de frecuencia entre 1000 y 5000 Hertz. Este análisis es importante para estudios de reverberación en donde existen componentes de frecuencia que deben ser analizadas bajo el principio descrito. Existen analizadores en los cuales la salida es proporcional a la magnitud de la componente de frecuencia.

I.- ANALIZADOR DE PORCENTAJE CONSTANTE DE ANCHO DE BANDA

A pesar de que los circuitos resonantes demandan inductancia y capacitancia, es posible construir circuitos resistivo capacitivo sensibles a la frecuencia. Uno de los más conocidos es el puente de Wien. El principio fundamental del puente de Wien es que se obtiene un voltaje nulo (cero) a la salida, si el voltaje de entrada tiene la frecuencia:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

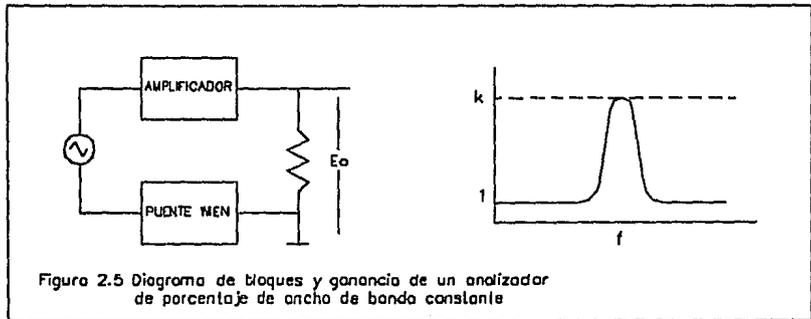
donde **R** y **C** son elementos del puente de valores conocidos de resistencia y capacitancia y los elementos restantes tienen valores mostrados en la figura 2.4.



El voltaje de salida graficado contra la frecuencia se asemeja a una curva de un circuito LC, a pesar de que la ganancia sea proxima a la unidad y no a los cientos como en un circuito LC. Sin embargo, un amplificador electrónico auxiliar desarrolla la función de incrementar la selectividad del puente denominada "multiplicación de ganancia", además de proporcionar una salida proporcional a la magnitud de la componente de voltaje a la frecuencia cero o nula del puente.

Como se utilizan resistencias de alta precisión, para el análisis de frecuencia de audio, el circuito se ha convertido en la base de un analizador de frecuencia muy útil. Como la ganancia efectiva del puente-amplificador es basicamente constante con la frecuencia, y como el porcentaje de ancho de banda es proporcional a la ganancia efectiva, a dicho analizador se le ha llamado analizador de porcentaje constante de ancho de banda.

El diagrama de bloques y la ganancia de un analizador de este tipo se muestran en la figura 2.5.



Un uso práctico de este analizador es en el análisis de ruido provocado por maquinaria u otros ruidos de características de frecuencia cambiantes.

Para los lugares en donde sea difícil efectuar una medición directa del nivel de presión del sonido o no se tengan los aparatos adecuados, existen tablas que sirven como base para conocer los niveles de presión de sonido aproximados en lugares comunes. En la tabla 1 se muestra una tabla de este tipo.

TABLA 1: NIVELES DE RUIDO PROMEDIO

Grado de Ruido	Nivel de ruido (dB)	Descripción del Ruido
Imposible conversar	120	Máximo valor audible (umbral del dolor)
	110	turbina, trueno Sirena, estación metro
Difícil conversar	100	Estación de trenes
	90	Maquinaria, equipo de aire acondicionado
Voz fuerte para conversar	80	Imprentas, cruce de calle, supermercado
	70	Teatro, tienda de departamentos, banco, oficina
	60	Tienda, restaurante, conversación normal, área residencial, oficina, lobby de hotel
Fácil para conversar	50	Ruido de audiencia en un teatro
	40	Area residencial
	30	Estudio de grabación
	20	Sonido del viento (brisa)
	10	Murmullo
	0	Mínimo rango audible

Es recomendable que el nivel de ruido sea bajo tanto en interiores como en exteriores. En vista de los requerimientos actuales de evitar contaminar por ruido, se debe prestar una atención particular a este sentido. Esto puede representar un problema en el diseño acústico.

En el diseño acústico, la medición del ruido debe hacerse como se describió anteriormente, procurando no cometer errores en el momento de la medición. En los lugares en donde esto sea imposible, puede tomarse como referencia la tabla 1.

J.- NIVEL DE RUIDO Y NIVEL DE PRESION DEL SONIDO

Cuando se escuchan dos o más sonidos, si uno de estos se vuelve mas fuerte, los otros serán muy difíciles de escuchar. A este fenómeno se le conoce como "masking" o encubrimiento. Por ejemplo, en casa escuchamos el radio o la televisión a un nivel durante el día, el cual se tiene que disminuir generalmente durante la noche. Este tipo de ejemplos se deben al efecto de "masking". De manera que la persona que escucha el mensaje lo pueda hacer de manera clara y entendible, el nivel de sonido de las bocinas debe ser mayor que el

nivel de ruido que rodea a esta persona. De otro modo , el mensaje será difícilmente escuchado debido al "masking".A continuación se menciona el nivel adecuado para comunicación y música ambiental necesarios para una buena transmisión y recepción.

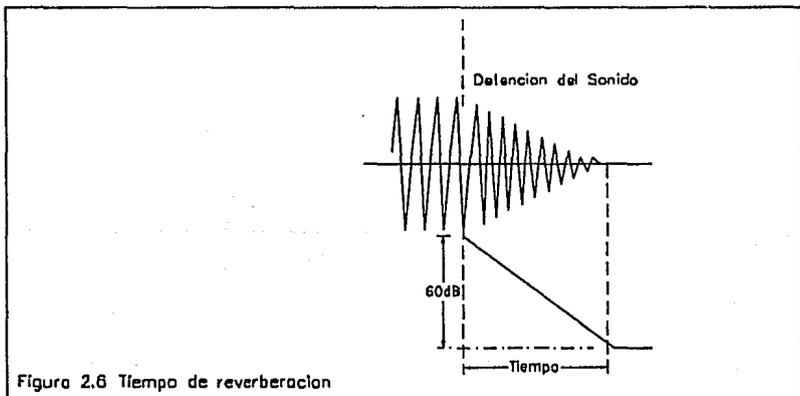
a) **Comunicación.**- Generalmente es necesario incrementar el nivel de sonido de 6-10 dB arriba del nivel de ruido. Nivel de ruido se refiere a la cantidad de sonido o ruido que rodea a un lugar y por lo tanto, a las personas que se encuentran en el.

b) **Música Ambiental ("Back Ground Music", BGM).**- El nivel de sonido debe incrementarse 3dB por arriba del nivel de ruido.

Cuando se requiere música en un concierto, el nivel de sonido, debe estar entre 90 y 100 dB y el nivel de ruido debe ser lo mas bajo posible.

K. - TIEMPO DE REVERBERACION

La reverberación del sonido es la presencia del sonido durante cierto tiempo después de que la fuente que lo produjo se detuvo. El fenómeno de permanencia del sonido se le conoce como reverberación. Figura 2.6.

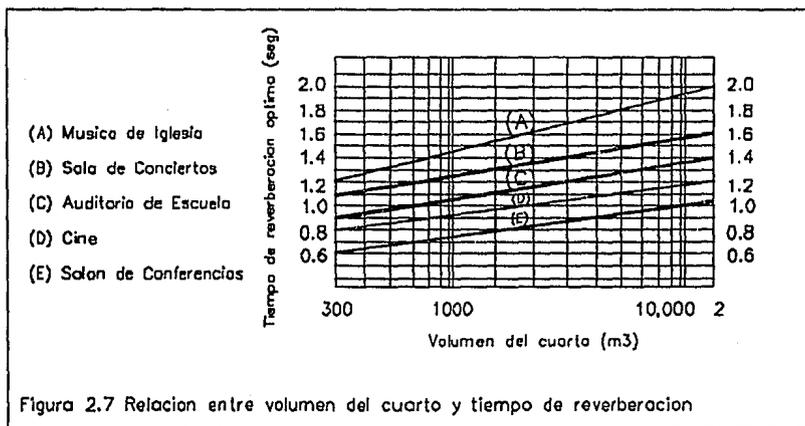


El tiempo de reverberación tiene una escala estándar, que define el tiempo requerido desde la detención del sonido hasta una atenuación de 60dB del nivel de presión original del sonido.

En los casos de la voz humana tales como voceo, lectura, actuación, anuncios, etc, los mensajes deben ser recibidos con claridad, y es deseable que el tiempo de reverberación no sea largo. En el caso de música, un tiempo de reverberación largo enriquece el sonido.

Hay varias opciones disponibles para encontrar el tiempo de reverberación óptimo. La figura 2.7 muestra el tiempo de reverberación a 500 Hz recomendado por V. O. Knudsen y C. M. Harris.

En los lugares en donde el tiempo de reverberación es largo, y en donde no se le ha prestado atención al sonido, cuando la salida de una bocina es elevada, el sonido choca contra paredes, techo etc. produciendo reverberación haciendo que los contenidos del mensaje sean difíciles de entender. Generalmente, los materiales de construcción que prolongan el tiempo de reverberación son los materiales duros como el concreto, ladrillo etc.



L.- MEDICION DEL TIEMPO DE REVERBERACION

El comportamiento del sonido en un lugar cerrado se puede estudiar bajo la base de sonido reflejado, en la medida en que la longitud de onda del sonido en consideración sea corta comparada con las dimensiones del cuarto. Este es el modo en que Sabine, el padre de la acústica arquitectónica, lo hizo a principios de siglo.

Cuando la distancia entre la pared reflectora y el observador es de, al menos 16.5 metros (en condiciones normales), la onda sonora reflejada se superpone parcialmente a la onda sonora directa. Esto provoca una pérdida considerable de nitidez, sobre todo en locales públicos.

En un lugar reverberante el sonido que llega al oyente tiene por lo menos tres categorías: el sonido directo, las primeras reflexiones y el sonido reverberante.

Por definición, el sonido directo no sufre reflexiones y se comporta conforme a la ley inversa de los cuadrados de la variación de nivel. El sonido reverberante tiende a permanecer a un nivel constante si la fuente de sonido continúa introduciendo energía al local, a un ritmo regular. Esta situación establece varios campos de sonido básicos: el campo cercano, el campo libre lejano y el campo reverberante lejano.

El campo cercano no puede definirse en términos de nivel de presión de sonido en función de la distancia porque la velocidad de las partículas no sigue necesariamente la misma dirección en la que se desplaza la onda, por lo que en cualquier punto puede haber una apreciable componente de velocidad tangencial.

En el campo libre lejano prevalece la ley de variación inversa de los cuadrados. En el campo reverberante lejano, llamado también campo difuso, la densidad de energía del sonido es prácticamente uniforme.

M.- ECUACION DE SABINE Y DE EYRING

Se pueden hacer estimaciones precisas del tiempo de reverberación, mediante cálculos sencillos si se conocen las dimensiones del lugar, los coeficientes de absorción de los materiales del cuarto y el conocimiento de las áreas que ocupa cada material. La ecuación de Sabine es:

$$TR = \frac{0.161V}{Sa}$$

Donde: **TR** es el tiempo de reverberación en segundos

V es el volumen del local en metros cúbicos

S es el área del local en metros cuadrados

a es el coeficiente promedio de absorción del sonido en sabiness

Una forma más práctica de la ecuación de Sabine es la siguiente:

$$TR = \frac{0.161V}{(S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \dots)}$$

Donde: **TR** es el tiempo de reverberación en segundos
V es el volumen del cuarte en metros cúbicos
S₁ es la superficie del material 1 en metros cuadrados
α₁ es el coeficiente de absorción del material 1 en sabines
S₂ es la superficie del material 2
α₂ es el coeficiente de absorción del material 2 en sabines

Esta ecuación es más práctica porque toma en cuenta los diferentes materiales que componen un local y es fácil encontrar los distintos coeficientes de absorción para los diferentes materiales. En cambio, en la primera ecuación se utiliza un promedio de muchas cosas que puede conocerse solamente mediante medición directa en el local.

Un coeficiente de absorción de valor igual a uno, en un metro cuadrado, representa al material absorbente perfecto y se le conoce como sabines de absorción. El sabine es una unidad de absorción y está dada por el producto del coeficiente de absorción del material y la superficie que ocupa.

La ecuación de Sabine es una medida estadística y trabaja bien en espacios grandes. Sin embargo, se produce una paradoja en espacios en donde el coeficiente de absorción se acerca a la unidad.

Por esta razón surgió la ecuación de Eyring, para evitar dicho error. La ecuación de Eyring es:

$$TR = \frac{0.161V}{-S \log(1-\alpha')}$$

Donde: **TR** es el tiempo de reverberación en segundos
V es el volumen del local en metros cúbicos
S es la superficie del local en metros cuadrados
α' es el coeficiente promedio de absorción del sonido en sabines

Los resultados obtenidos con esta ecuación concuerdan con los medidos experimentalmente en aquellos casos en que exista gran absorción acústica en el interior del local. Cabe señalar que esta ecuación ofrece resultados tanto más correctos cuando más uniforme es la distribución de la absorción acústica en el interior.

La medición del tiempo de reverberación siempre lleva implícito una incertidumbre debido a que los coeficientes de absorción se determinan en laboratorios que ya llevan cierta imprecisión. Además, las medidas de diferentes laboratorios del mismo material no siempre concuerdan. Otras diferencias son causadas por la forma de montar los materiales de absorción y tienden a limitar la precisión de los cálculos.

N.- E C O

Eco es el fenómeno en el cual después de captar un sonido directamente, el mismo sonido se refleja en un cierto objeto, retrasándolo. Se dice que cuando el sonido reflejado se atrasa en más de 1/20 de segundo el sonido se recibe como un sonido distinto al eco.

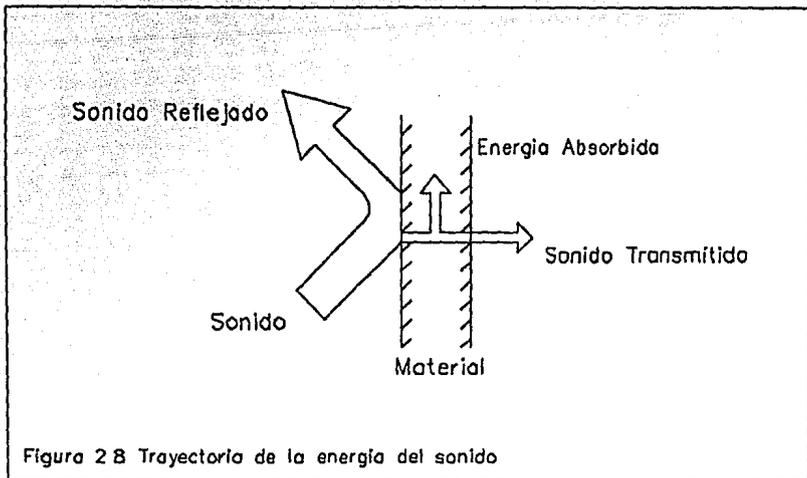
$$\frac{1}{20} \text{ s} = 50 \text{ m (avance del sonido 17m)}$$

Cuando un local no ha sido tratado acústicamente, la presencia de reverberación puede decaer en eco.

O.- AISLAMIENTO, TRANSMISION Y ABSORCION DEL SONIDO

Cuando el sonido alcanza la superficie de algun material, una parte de éste es reflejada y el resto es absorbido y disipado en forma de calor. Sin embargo, no todo el sonido absorbido es convertido en calor, una parte de éste se transmite a través del material. Figura 2.8.

Cuando la cantidad de sonido transmitida es pequeña, se dice que el medio tiene una calidad favorable para el aislamiento del sonido. La pérdida por transmisión se puede calcular como 10 veces el logaritmo de la relación existente entre el sonido incidente y el sonido transmitido. Por ejemplo, cuando un nivel de presión de sonido de 90dB choca con un material y la pérdida por transmisión es de 40dB, entonces la transmisión es de $90-40\text{dB} = 50\text{dB}$.



Los materiales duros y pesados presentan una alta pérdida por transmisión. Por el contrario, los materiales suaves y ligeros presentan una pobre pérdida por transmisión.

P.- ARTICULACION

Para juzgar si el mensaje puede ser captado con claridad se puede hacer una prueba de articulación. Existen muchos factores que intervienen en la articulación tales como el ruido, reverberación, eco, distribución de la presión del sonido, características de frecuencia, etc. La prueba por articulación consiste en tener un cierto número de sílabas sin significado y colocar a un cierto número de personas en el lugar en donde va a ser propagado el sonido de manera que anoten dichas sílabas. Para obtener el grado de articulación puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$PA = \frac{TSBC}{TSA} \times 100$$

Donde **PA** = Porcentaje de Articulación
TSBC = Total de Sílabas Bien Captadas
TSA = Total de Sílabas Amplificadas

Se dice que si el porcentaje de articulación es mayor al 85% el contenido de la audición es claramente entendible, pero si es menor al 65% el contenido no es entendible.

En el siguiente capítulo se tratan las bases del diseño acústico en general y los aspectos fundamentales del diseño acústico para sistemas de audición pública.

IV.- CAPITULO III.- DISEÑO ACUSTICO PARA SISTEMAS DE AUDICION PUBLICA

Dentro del diseño acústico se deben revisar diferentes factores, tales como el diseño arquitectónico, equipo electracustico, facilidades eléctricas, etc.. En este capítulo solo se tocarán los puntos mas importantes referentes al diseño acústico y equipo electro-acústico para audición pública.

En lo que a procedimientos de diseño se refiere, no existe un método disponible para el diseño debido a la diversidad de tipos de edificios, tales como salas de conciertos, auditorios, gimnasios, oficinas, etc, y la diferencia de condiciones de construcción, como construcciones adicionales, remodelaciones, instalaciones viejas, etc. Como referencia, a continuación se da un orden general para el diseño.

- a) Propósito de uso
- b) Frecuencia de uso de los aparatos
- c) Investigación de las características acústicas
- d) Determinación de los sistemas de sonido
- e) Selección de los aparatos y determinación del arreglo
- f) Determinación del circuito de cableado
- g) Dibujos y diagramas

Para completar lo anterior, el diseño debe ser determinado bajo consulta del usuario. Naturalmente, esta consulta siempre se requiere para la decisión final.

A.- PROPOSITO DE USO

Debido a la diversidad de aplicaciones de los sistemas de sonido, es importante establecer desde un principio cual será el propósito de uso que le dará el usuario al sistema de sonido.

En muchos casos, los usuarios no son los especialistas en acústica. Por lo tanto, en el diseño del sistema, el diseñador acústico deberá tratar de consultar con el usuario el propósito del sistema. De dicha consulta pueden obtenerse numerosos requerimientos por parte del usuario. Esto podría acarrear problemas económicos, de mantenimiento, de tiempo de entrega etc. Por tanto, el diseño del sistema debe hacerse con los productos estándares existentes.

B.- FRECUENCIA DE USO DE LOS APARATOS

Al introducir un sistema de sonido, el diseño óptimo deberá mantener un cierto equilibrio con el presupuesto. Sin embargo, un presupuesto pobre podría provocar una desviación del propósito original del sistema o un inesperado sonido pobre, sin importar que tan bueno pueda ser el equipo.

Si los costos de los aparatos, el trabajo, etc. han excedido el presupuesto, se puede tomar la decisión apropiada dependiendo de la frecuencia de uso de los aparatos. Es posible observar bastantes casos en los que sistemas diseñados para usos específicos son desviados de dicho propósito y son usados con frecuencia en aplicaciones que difieren de su concepto original, o bien, casos en los que sistemas muy caros son utilizados solamente una o dos veces al año.

Los párrafos anteriores, 3.1 y 3.2, pueden resumirse de la siguiente manera:

- a) Determinar adecuadamente los requerimientos y el propósito del usuario.
- b) Tratar de diseñar, tanto como sea posible, con los productos estándar.
- c) Para tomar una decisión adecuada deben tomarse en cuenta la frecuencia de uso de los aparatos así como su importancia.
- d) Dividir los aparatos y trabajos cuando se presenten problemas debido al presupuesto.

El uso de una hoja de revisión a la hora de consultar con el usuario permitirá la prevención de omisiones de bastantes problemas involucrados en el diseño.

C.- INVESTIGACION DE LAS CARACTERISTICAS ACUSTICAS

La investigación de las características acústicas son necesarias para obtener el efecto de sonido deseado en el lugar en donde se realizará la instalación del sonido. Si el diseño y la construcción se efectúan sin dicha investigación, pueden presentarse los siguientes problemas:

- a) Articulación pobre
- b) Baja calidad del sonido
- c) Volumen insuficiente
- d) Distribución desigual de la presión del sonido

Además, pueden presentarse casos que al tratar de mejorar la eficiencia del sistema de sonido, o al tratar de obtener cualquier otro beneficio, resulta totalmente lo contrario. Existen muchos puntos que se deben tomar en cuenta, sin embargo, solo se hará una simple descripción del ruido y de la reverberación.

D.- INVESTIGACION DEL RUIDO

El nivel de ruido en el lugar en el que se instalará el sistema de sonido se mide con el medidor de nivel de sonido ("sound level meter"). Algo que requiere atención en la medida del nivel de ruido, es que no hay problema en la medición si el nivel es el mismo todo el día, pero si la medición se hace a la hora en que el nivel es mas bajo, pueden existir serias diferencias entre ambos niveles lo que ocasionará un efecto indeseado en el sonido.

E.- INVESTIGACION DE LA REVERBERACION

En el caso de un salón, la reverberación para conocer el propósito tiene que ser revisada con cada frecuencia, de manera que es un problema complejo. Sin embargo, en el caso de un cuarto rodeado por material duro y tieso, el tiempo de reverberación es largo. Un método simple para medir la reverberación, es disparar una pistola en el local en donde se desee medir y se graba el sonido con una grabadora de alta velocidad para analizar los resultados, o bien, la medición puede hacerse con el medidor de nivel de ruido. En este caso, debe tenerse cuidado para no dañar el micrófono.

Cuando se hace una investigación referente a los tipos de materiales que constituyen a un cuarto (techo, piso, paredes) y los resultados entran en el plan de diseño, el aislamiento del sonido, la absorción del sonido y la reverberación deben ser tomados en cuenta con un cierto grado, de manera que se prevean para la fijación de las bocinas y el trabajo de construcción.

F.- DETERMINACION DE LOS SISTEMAS DE SONIDO

Para la determinación de los sistemas de sonido es importante involucrar los problemas acústicos arquitectónicos, los problemas de los aparatos electro-acústicos, y la manera en que se relacionan. En esta parrafo se dará una descripción de la selección y determinación del sistema.

Primeramente la consideración debe hacerse al seleccionar:

- a) Equipo general de amplificación del sonido
- b) Equipo de emergencia

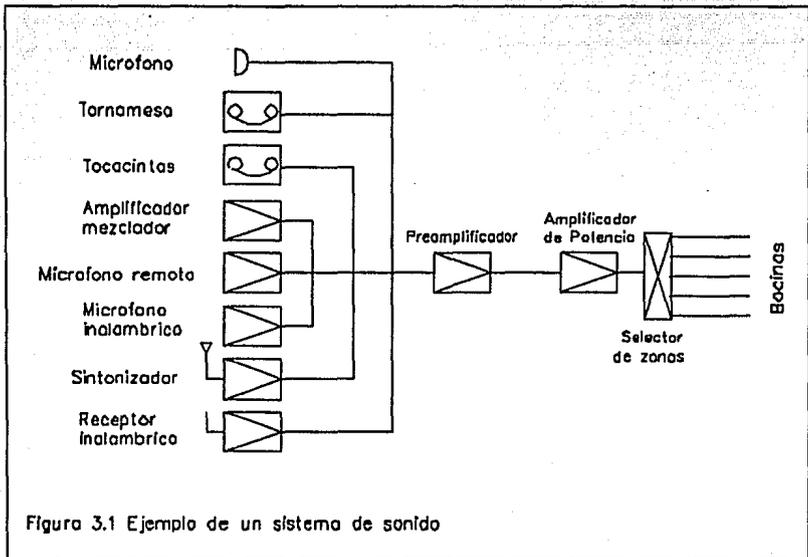
Los sistemas de sonido se clasifican de acuerdo a los tres grupos siguientes:

- a) Aparatos de entrada (número o unidad)
- b) Amplificador (número y canales)
- c) Salida de los aparatos (número o unidad)
- d) Alimentación del sistema de altavoces

Debe planerarse un bosquejo del sistema en consideración a los requerimientos del usuario, así como también el diseñador debe hacer un dibujo del mismo. Debe prepararse también la determinación de la distribución. Un ejemplo se muestra en la figura 3.1.

G.- SELECCION Y ARREGLO DE LOS APARATOS

La selección y arreglo de los aparatos debe realizarse con una buena revisión del lugar de instalación, de las características acústicas, del tamaño del lugar y del propósito de uso.



Los puntos a ser tomados en cuenta se dan a continuación:

- a) Propósito de uso
- b) Características acústicas del cuarto.
- c) Volumen, construcción, tipo y uso del cuarto.
- d) Conocimiento de sonido y de los aparatos por parte del usuario.
- e) Usar productos estandar tanto como sea posible.
- f) Tomar la decisión necesaria de acuerdo a la importancia y a la frecuencia de uso.

En relación con el propósito de uso y el lugar de la instalación, que son factores que comunmente se deben tomar en cuenta, tambien es preferible escoger lugares con baja distorsión y una relación señal a ruido (S/N) alta. Otros puntos que requieren consideración son las características de frecuencia, y hablando del lugar de la instalación, debe existir una diferencia si son interiores o exteriores.

(1) PROPOSITO DE USO

El propósito de uso puede clasificarse en tres categorías:

- a) **Comunicación.** Este propósito puede cubrirse con aparatos con un rango de frecuencia de 200 a 6000 Hz. Para radiodifusión de mensajes, de 250 a 4000 Hz pueden ser suficientes.
- b) **Música Ambiental.** Para radiodifundir el sonido, incluyendo la música suave, el rango de frecuencias puede ser de 100 a 6000 ó 10,000 Hz.
- c) **Música.** El rango de frecuencias audible para el oído humano oscila entre 20 Hz y 20,000 Hz, lo cual satisface el propósito. Sin embargo, un rango de 50 a 16,000 Hz puede ser suficiente.

(2) LUGAR DE LA INSTALACION

En el caso de sonorización de interiores, deben tomarse en cuenta varias condiciones dependiendo en el uso y características del edificio. Naturalmente, los aparatos elegidos deben satisfacer estas necesidades. En el caso de exteriores, deben seleccionarse aparatos capaces de resistir las condiciones ambientales (viento, lluvia, nieve, temperatura etc.)

H.- SELECCION Y ARREGLO DE LAS BOCINAS

No es una exageración decir que la selección y el arreglo de las bocinas son factores que determinan muchas veces la calidad del sistema de sonido. Al menos que estos factores sean determinados con bastante consideración, el sistema de sonido puede ocasionar una articulación pobre, volumen del sonido insuficiente etc.

La selección de las bocinas debe hacerse para satisfacer las condiciones dentro de los varios tipos disponibles y para los diferentes propósitos. Además, la potencia debe ser tomada en cuenta de manera que se obtenga el nivel de volumen deseado. El arreglo de las bocinas debe ser realizado tomando en cuenta la construcción del edificio, el tamaño del lugar, ruido, reverberación y propósito de uso. La relación de la potencia de entrada a ser alimentada a la bocina también debe tomarse en cuenta.

I.- TIPO Y PROPOSITO DE LAS BOCINAS

Hay muchos tipos de bocinas disponibles tanto para interiores como para exteriores, con diferentes nombres dependiendo de la posición en que se fijen y de su propósito. Los tipos y propósitos de las bocinas se muestran en las siguientes tablas:

TABLA 2: BOCINAS PARA USO EN INTERIORES

TIPO	PROPOSITO (principal)
Bocina de plafón	Música ambiental, comunicación, auxiliar
Suspendida del techo	Música ambiental, comunicación
De pared	Música ambiental, comunicación, auxiliar
Bocina de Columna	Música, comunicación
De caja (alta calidad)	Música
De rango ancho	Música, comunicación, auxiliar
Trompeta	Comunicación

*Las columnas y las trompetas pueden ser usadas tanto en interiores como en exteriores.

TABLA 3: BOCINAS PARA USO EN EXTERIORES

TIPO	PROPOSITO (principal)
Bocina de Columna	Música ambiental, música, comunicación
De rango ancho	Música, música ambiental, comunicación
Trompeta	Comunicación

J.- ARREGLO DE LAS BOCINAS

Es importante determinar el arreglo de las bocinas y su potencia de alimentación. En el caso de interiores, se considera su propósito de uso y las características acústicas (reverberación, nivel de ruido, aislamiento del sonido, etc.), así como las características direccionales y el nivel de presión de salida del sonido de la bocina. En el caso de bocinas

en exteriores, se consideran de acuerdo a las condiciones del clima, el nivel de ruido, las características direccionales de la bocina, y el nivel de presión de salida del sonido, como en el caso de interiores.

El arreglo de bocinas se clasifica en tres partes:

(1) Sistema centralizado; (2) Sistema Descentralizado, y (3) Sistema Combinado. Las ventajas y desventajas se explican brevemente a continuación. Cualquier sistema deberá seleccionarse a partir de estos tres, una vez conocido el propósito.

K.- SISTEMA CENTRALIZADO

Centralizado se refiere el lugar en donde las fuentes de sonido, o mejor dicho, las bocinas, se encuentran centralizadas en un lugar o en una dirección.

a) VENTAJAS

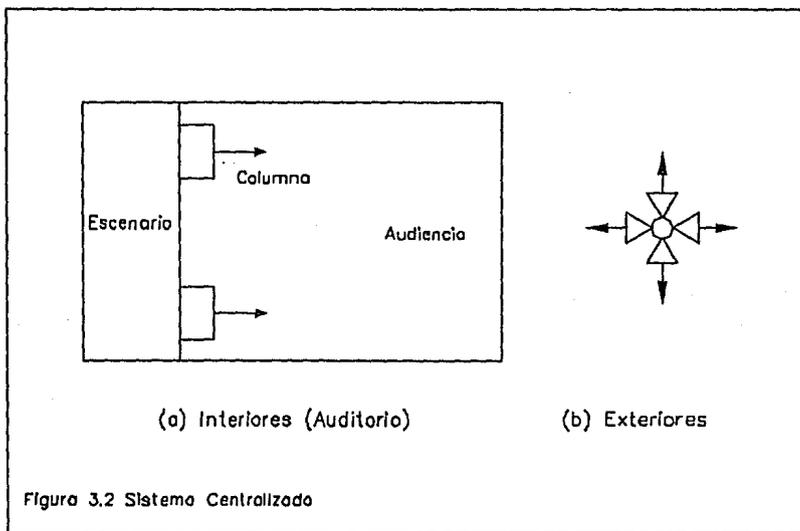
- Sensación direccional obtenible. En los casos de lectura, discurso, concierto, etc. la dirección visual y la dirección del sonido deben ser importantes. Esto puede notarse en la música estereofónica de un cine, en el cual no se puede notar el propósito sin la impresión direccional.
- Tiempo de retraso. Debido a una fuente centralizada de sonido, el tiempo en alcanzar al oyente es diferente dependiendo de su localización dentro del cuarto.
- Costo de Construcción bajo. Debido a la centralización de las bocinas, el cableado y el entubamiento del mismo, es sencillo, con la ventaja del uso de pequeños cables y el bajo costo de su instalación. Además, en vista de las pocas posibilidades de estática o interferencia electromagnética, es posible obtener una gran calidad en el sonido.

b) DESVENTAJAS

- Es más difícil obtener una distribución homogénea del nivel de presión del sonido. El nivel de presión de sonido es grande cerca de la bocina pero pequeño alejado de ella. Por lo tanto, es fácil que el nivel de presión de sonido sea menos

uniforme. (En el caso de una bocina de columna, el nivel de atenuación es pequeño a una cierta distancia)

- La articulación es pobre en un lugar en donde la reverberación es grande. Si se intenta obtener el nivel de volumen deseado, elevando el nivel de presión de sonido por la bocina, se obtendrá una mayor reflexión del sonido por parte de las paredes, techo y piso del lugar, lo que causa reverberación, eco, etc. impidiendo la articulación adecuada de los sonidos de la voz.
- En los lugares donde el nivel de ruido es alto, se necesita una gran potencia de salida. El nivel de presión del sonido por parte de la bocina debe ser mas alto en 6 o 10 dB que el nivel de ruido. La elevación del sonido en 6 dB indica que la potencia debe elevarse 4 veces. Por ejemplo, suponga que una potencia eléctrica de 20W se alimenta a una bocina para obtener un nivel de presión de sonido de 75dB a una cierta distancia, y que el ruido en dicho punto es de 75dB al mismo nivel de presión que la bocina, entonces, la salida requerida deberá ser por lo menos 81 dB, con una potencia de entrada de más de 80W.



L.- SISTEMA DESCENTRALIZADO

Este es el sistema en el cual la fuente de sonido se encuentra distribuida en arreglos.

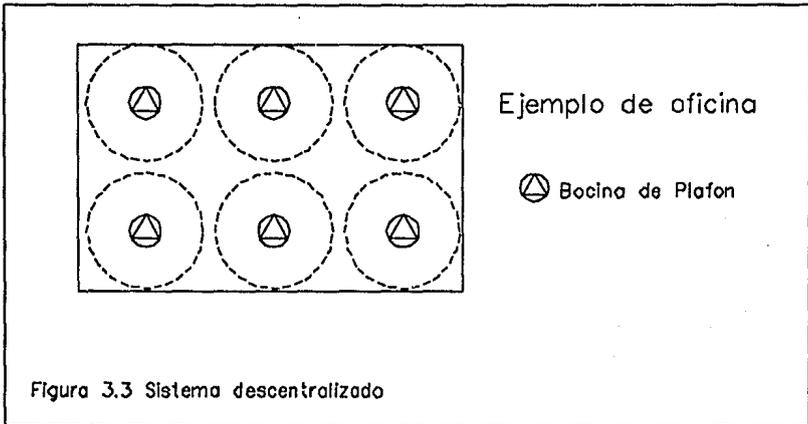
a) VENTAJAS

- Nivel de sonido uniforme fácilmente obtenible.
- En cuartos con tiempo de reverberación alto.- Se alimenta a la bocina una pequeña potencia de salida con el fin de hacer el rango de sonido mas pequeño. El nivel de presión de sonido se ejerce en un menor grado sobre el material reflejante del sonido, haciendo de esta manera que la reflexión sea menor.
- En lugares en donde el nivel de sonido es grande.- Una bocina central presenta la desventaja que debe ser alimentada con una gran potencia de entrada y esta a su vez debe ser de gran potencia, además de que el nivel de presión de sonido no es uniforme, y la reverberación puede ser mayor. Muchas bocinas pueden acoplarse en pequeños arreglos de manera que cubran rangos establecidos y con pequeña potencia de alimentación.
- En lugares con techos bajos.- En dichos lugares, un sistema centralizado provocaría un sonido "ruidoso" a las personas que se encontraran cerca de la bocina. El arreglo de muchas bocinas distribuidas da una presión uniforme del sonido. El arreglo distribuido no es utilizable en lugares en donde se requiera sentido direccional del sonido. Para dicho propósito, las bocinas deben colocarse en el techo.

b) DESVENTAJAS

- El nivel direccional es difícilmente obtenible. Debido al gran número de bocinas, las direcciones de vista, las posiciones del sonido (fuente de sonido primaria), y el sonido de las bocinas (fuente de sonido secundaria) se esparsen, y la sensación direccional es difícil de obtener.

- **Articulación Deteriorada.** Puede haber casos en donde los sonidos producidos por muchas bocinas interfieren unos con otros, deteriorando la calidad del sonido, haciendo más difícil oír los contenidos claramente.
- **Costo de instalación alto.** Debido al arreglo de muchas bocinas, naturalmente el costo de instalación se vuelve alto.



M.- SISTEMA COMBINADO

Este sistema incluye el método de usar simultáneamente el arreglo de bocinas centralizadas, el arreglo de bocinas distribuidas y el método de usarlas separadamente de acuerdo al propósito. El uso simultáneo de bocinas centralizadas y bocinas distribuidas, es el método en el que el nivel de presión del sonido se obtiene principalmente del sistema central, y el arreglo de bocinas distribuidas proporciona un nivel de presión del sonido mayor, en lugares en que éste es insuficiente. El uso de este tipo de sistema puede provocar que haya una diferente respuesta en el tiempo tanto en el sistema centralizado como en el distribuido, y en los casos en los que sea necesario es posible utilizar un sincronizador de señales.

El método de utilizar el sistema centralizado y el descentralizado al mismo tiempo o separadamente puede adoptarse dependiendo del uso deseado.

N.- ARREGLO DE LA POTENCIA DE LAS BOCINAS

El arreglo de las bocinas y la potencia de alimentación necesarias está en función de distintos factores, dependiendo de los usos tanto en interiores como en exteriores. A continuación, se hará una breve descripción de los arreglos de bocinas más típicos.

1.- INTERIORES

El arreglo y la potencia pueden obtenerse en los casos de oficinas , salones, tiendas y corredores.

a.- OFICINAS (salones de clase)

Generalmente, muchas oficinas tiene un área de aproximada-mente $80-130 \text{ m}^2$ y una altura de techo de 3 o 4 metros. La potencia de entrada a la bocina y el arreglo necesario puede determinarse mediante el siguiente método:

- 1) Obtener la potencia necesaria (W) para las bocinas dependiendo de la capacidad del cuarto y el nivel de ruido. Esto es, calculando el nivel de presión de sonido necesario de acuerdo al uso y propósito del sistema.
- 2) Determinar el tipo de sistema a utilizarse, centralizado o descentralizado, y el número de bocinas necesario para cubrir los requerimientos del sistema.
- 3) Determinar el número y el arreglo de bocinas, como se indicó en 2, pero tomando en cuenta las características estéticas del lugar.

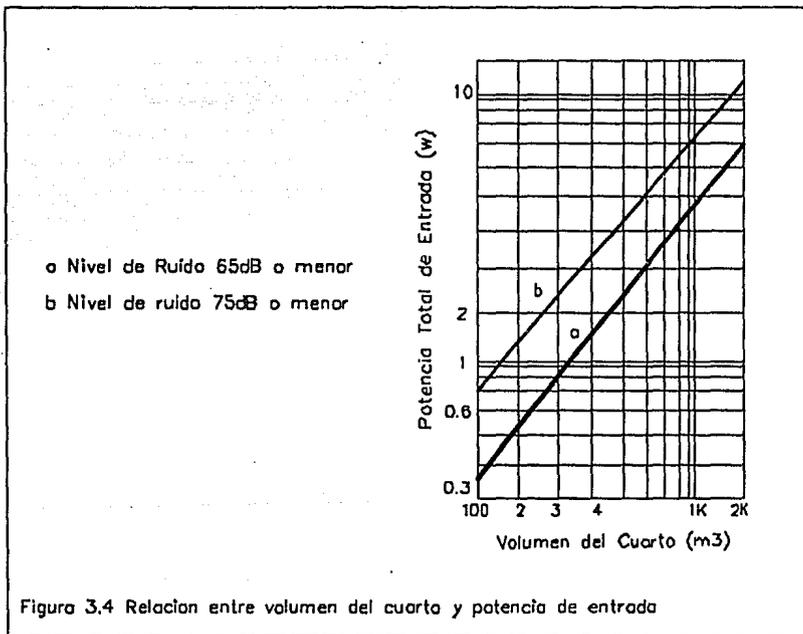
A parte de las condiciones anteriores, deben tomarse en cuenta la reverberación del lugar, la cual se omite aquí.

Es posible obtener la potencia de alimentación a las bocinas de acuerdo al volumen del cuarto y el nivel de ruido existente, utilizando la figura 3.4 que describe la relación entre el volumen del local y la potencia de alimentación.

Para hacer un arreglo distribuido de las bocinas, el número necesario de bocinas puede obtenerse del espaciamiento entre ellas y por el área a ser cubierta, como se muestra en la tabla 4.

TABLA 4. RELACION ENTRE LA ALTURA DEL TECHO Y ESPACIAMIENTO ENTRE BOCINAS.

ALTURA DEL TECHO	ESPACIAMIENTO	AREA CUBIERTA
Menor a 2.5m	5m	aprox. 25 (m ²)
2.5 a 4.5	6	36
4.5 a 15	9	81



Suponiendo la existencia de un cuarto de 9m de ancho, 11m de largo y 3m de altura, con un nivel de ruido menor a 65dB (cuarto de oficina ordinario, figura 3.5), ¿cuantas bocinas serán necesarias y que potencia tendrá que alimentarse a ellas?.

Primeramente, el área del cuarto es de 99m^2 , y el volumen del mismo es aproximadamente 300m^3 , y en el caso de un nivel de ruido menor a 65dB , la potencia total de entrada a alimentarse a la bocina es de 1W de la figura 3.4.

Si las bocinas van a estar en un arreglo distribuido, se necesitan cerca de 2.8 bocinas para un área de 99m^2 , de acuerdo al nivel de presión de sonido necesario. Sin embargo, en muchos casos no se requiere el nivel de presión de sonido resultante a 1m de distancia de la superficie de la pared. En el caso del cuarto en cuestión, dos bocinas serán suficientes, con una potencia de alimentación de 0.5W . En caso de seleccionar bocinas de pared, se les debe alimentar una potencia de 1W .

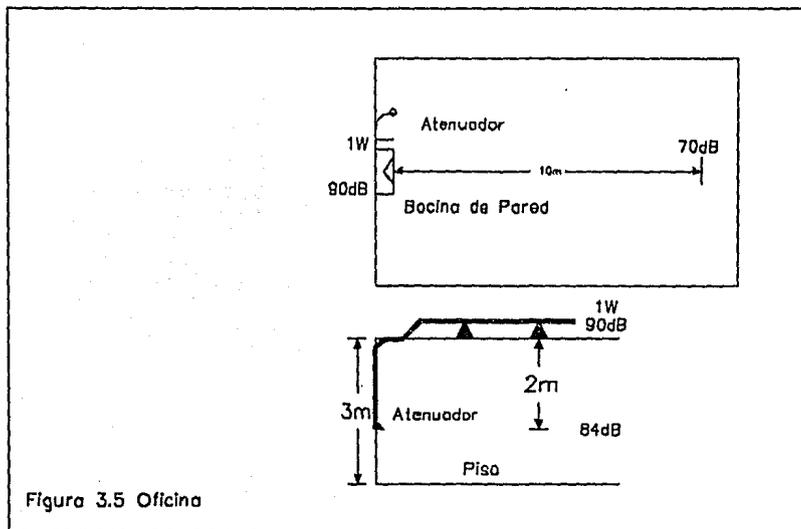


Figura 3.5 Oficina

Como la presión del sonido se vuelve más alta que lo indicado en la figura debido a la reverberación por los materiales en el cuarto, la potencia de entrada de 1W no es necesaria. Por lo tanto, las bocinas pueden usarse bajo ajuste del nivel de presión del sonido por el atenuador, o bien, mediante el volumen del amplificador. Algo que requiere particular atención es que generalmente la mayoría de las bocinas utilizadas para amplificar la voz, son aquellas que utilizan transformadores y no existen menores a 1W , y 10Kohms de impedancia a 100V de línea, de manera que la conexión de 0.5W no se puede hacer. Debe

añadirse además que como el nivel de ruido varía de acuerdo al día y hora, la conexión de la bocina a 1W debe ser ajustada por el atenuador o por el amplificador al nivel de presión del sonido necesaria.

En el caso de un salón de clases, una potencia de 2W es la mínima necesaria para un nivel adecuado de volumen. Esto es, porque un nivel de presión de sonido de 1W es insuficiente debido a la diferencia del nivel de ruido entre clases y el descanso.

b.- SALA (Auditorio, Gimnasio)

En vista de la diversidad de propósitos para el uso de una sala, y la diferencia en el tiempo de reverberación por la ocupación de asientos, los materiales decorativos, etc. las potencias para obtener el nivel adecuado de presión de sonido, pueden ser considerablemente distintas. Para obtener un nivel adecuado de la presión de sonido, preferentemente se utilizan bocinas de columna. El arreglo debe ser centralizado, porque las audiencias ven directamente hacia el escenario, del cual, naturalmente, proviene el sonido.

El nivel de presión de sonido necesario para comunicación debe ser aproximadamente de 75dB como promedio, o de 85 a 90 dB para música, con 15 dB arriba del nivel pico respectivamente.

Para resumir los párrafos anteriores:

- 1) Obtener la potencia de salida necesaria en reflexión del volumen del cuarto.
- 2) Utilizar bocinas de columna.
- 3) Utilizar el sistema centralizado de bocinas.

En los lugares en los que el techo es bajo, se prefiere la utilización del sistema descentralizado. Esto se debe a la sensación de "ruido" inducida cerca de la bocina.

En lo que a volumen del cuarto se refiere, la potencia de salida del amplificador, o la potencia de alimentación de las bocinas, debe obtenerse de la figura 3.4. La relación existente entre la potencia de salida del amplificador y el arreglo de las bocinas se explica a continuación mediante un ejemplo.

Existe una sala que principalmente se utiliza para comunicación durante el año, y también para conciertos varias veces al año. Dicho salón tiene una anchura de 20m, largo 30m (sin incluir el escenario), y una altura de 10m, el volumen es de 6000m^3 .

Bajo la condición de usarse principalmente para comunicación, la potencia necesaria para el amplificador obtenida por la tabla, resulta ser de 60W. (para música, es necesario un amplificador de por lo menos 120W).

Entonces, como es difícil elevar a todas las partes del cuarto con la presión de sonido necesaria con una sola bocina, usualmente se utilizan 2 bocinas en el escenario. En otras palabras, se utilizan 2 bocinas de 30W cada una.

Ahora, considerando al salón como un espacio libre y calculando que la bocina tenga un nivel de presión de sonido de salida de 90dB a 1W, cuando se alimentan los 30W a dicha bocina, el nivel de presión de salida se vuelve 105dB. A una distancia de 30m, sobre el eje de la bocina, el nivel de presión del sonido se atenúa aproximadamente 30dB, por lo que se convierte en 75dB. Sin embargo, el tiempo de reverberación demuestra que existen diferencias dependiendo en el decorado interno del cuarto, el número de asientos ocupados y el nivel de presión del sonido se vuelve mayor a 75dB.

En el caso de una sala, de manera que pueda obtenerse el nivel de presión necesario, la potencia del amplificador debe obtenerse por el volumen y capacidad de ésta, adoptando un sistema centralizado para el arreglo de las bocinas. Figura 3.6.

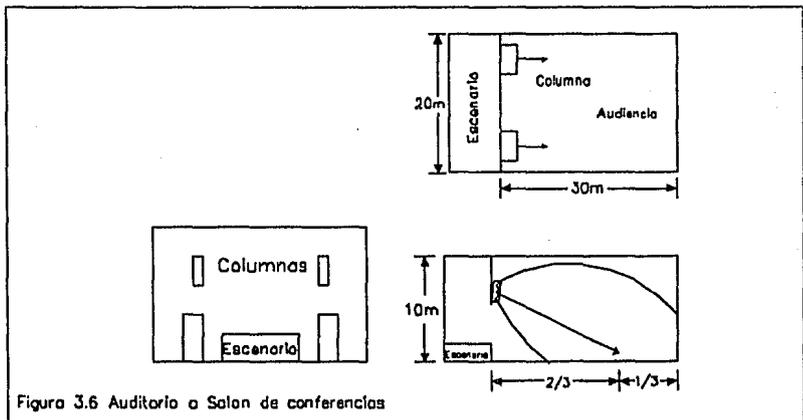


Figura 3.6 Auditorio o Salón de conferencias

En el caso de un gimnasio, no habrá problemas si la estructura es tratada acústicamente desde la construcción. Sin embargo, lo usual es decorar los gimnasios con materiales sólidos, lo que provoca un tiempo de reverberación largo cuando los asientos están desocupados, causando, particularmente, una pobre articulación del sonido. En dicho caso, el efecto deseado del sonido, es difícilmente obtenible. Dependiendo del caso, se vuelve necesario un tratamiento con material absorbente. Generalmente, un gimnasio no solamente se utiliza para entrenamientos, sino que tienen múltiples utilidades, por lo que un arreglo adecuado de bocinas es muy importante. Las bocinas utilizables para gimnasios son las bocinas de columna, ya que estas tienen características altamente direccionales, y los arreglos deben ser directamente a la audiencia, de manera que la reverberación se reduzca. Figura 3.7.

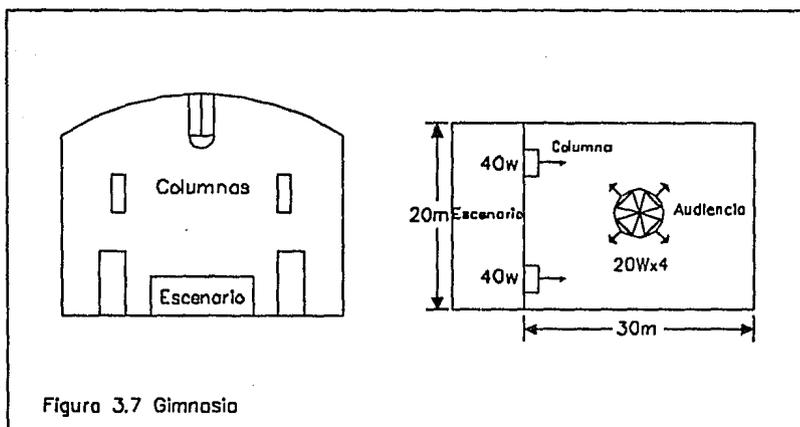


Figura 3.7 Gimnasio

La potencia de salida del amplificador, o la potencia de alimentación de las bocinas debe obtenerse a partir del volumen del gimnasio.

Para explicar un ejemplo de gimnasio, supongase que existe un gimnasio de 30m de ancho, 40m de largo (sin incluir escenario), y altura de 10m. El volumen del gimnasio es aproximadamente 12000 m^3 , para el cual la potencia de salida del amplificador debe ser de 120W de acuerdo a la figura 3.4. Las bocinas deberán estar en un arreglo centralizado, como en el caso de la sala, con dos bocinas de columna en el escenario, dirigidas directamente a la audiencia, alimentadas con 60W cada una. De hecho, no se requiere una potencia tan grande, por lo que una potencia de 40W será suficiente. Esto es por las pequeñas diferencias

existentes entre la eficiencia de las bocinas y el tiempo de reverberación. En el caso de juego o entrenamiento, la audiencia estará alrededor de la cancha, por lo que es conveniente que las bocinas estén colgadas de la parte central del techo, y aproximadamente 4 bocinas dirigidas a los 4 lados del gimnasio.

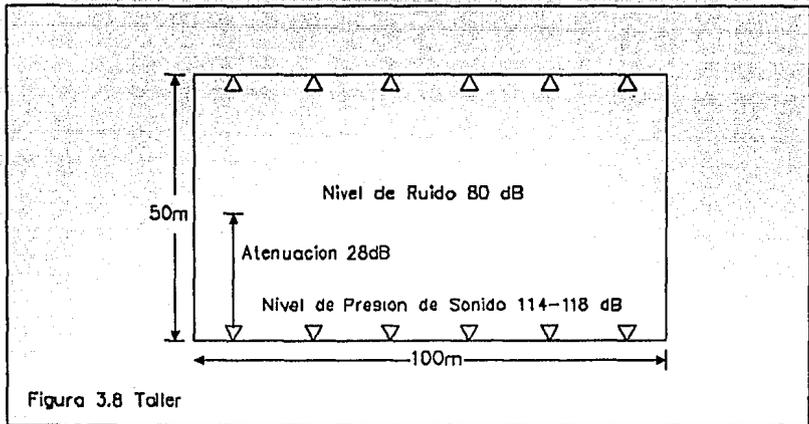
Si el nivel de presión de sonido es pequeño en la dirección de las ventanas, o al frente del escenario, se pueden colocar bocinas con una potencia de salida pequeña en dichas posiciones.

c.- TALLER

Los talleres incluyen muchos tipos de edificios, cada uno con diferentes niveles de ruido y diferentes longitudes de reverberación, por lo que representan el mayor problema dentro del diseño acústico. En este párrafo, la explicación se hará por medio de un ejemplo. En los casos de lugares en donde el tiempo de reverberación sea largo, es deseable hacer un tratamiento con material absorbente de sonido, pero en muchos casos esto es difícil. En este caso, las bocinas deben estar arregladas en posiciones distribuidas para reducir el área cubierta por una sola bocina. Además, en el caso de tiempo de reverberación corto, pero áreas grandes, puede seguirse este mismo arreglo, de manera que cada bocina pueda usarse con una pequeña salida.

Para instalar las bocinas en lugares donde el nivel de ruido es alto (mas de 90dB), es deseable efectuar pruebas con los aparatos de medición, de manera que las bocinas se coloquen en los lugares en donde se reúne la gente o donde es necesario el sonido. Generalmente, para que los contenidos del mensaje sean claros, el nivel de presión de sonido deberá estar de 6 a 10 dB por encima del nivel de ruido.

Suponiendo un lugar con las dimensiones que se muestran en la figura 3.8 y con un nivel de ruido de mas de 80 dB, las bocinas deben colocarse en arreglos distribuidos. Para obtener un nivel de presión de sonido adecuado, de 114 a 118 dB, es necesario introducir en el sistema trompetas con transformador, que tengan una eficiencia favorable. Debe tenerse cuidado de colocar las bocinas en lugares de aproximadamente 4m de altura, de otra manera, alguien que se encontrara en las vecindades de una bocina, sentiria un nivel de presión del sonido muy alto.

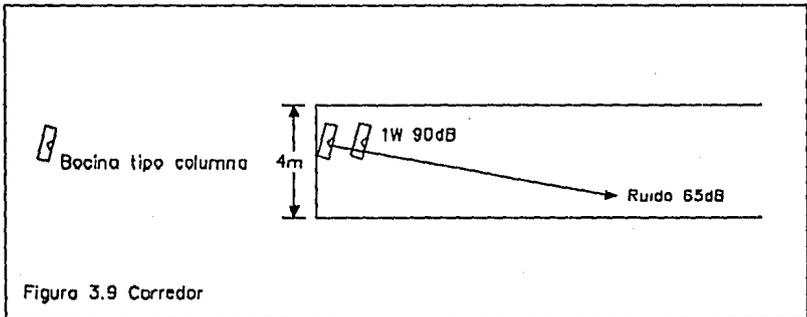


Suponiendo que una trompeta de 10W tiene un nivel de presión de sonido de 104 dB cuando se le alimenta 1W de entrada, dicha trompeta tendrá 114 dB de salida bajo una alimentación de 10W. Dando un nivel de presión de sonido de 86dB a 25m de distancia. Por otra parte, bajo los efectos de la reverberación, el nivel de presión de sonido se vuelve mayor a 86 dB, por lo que cumple ampliamente su propósito. Cuando la bocina se usa a 5W tomando en cuenta su calidad de sonido, se puede obtener un nivel de presión de sonido de 83 dB, el cual es incrementado por la reverberación. Esto puede satisfacer el propósito pero debe tenerse cuidado en los cambios de nivel de ruido provocados por el cambio o instalación de maquinaria.

d.- CORREDORES (Pasillos)

Los corredores involucran diferencias considerables del nivel de ruido por el día o por la hora, y también por la reverberación debida a los materiales de construcción. En este caso, se pueden emplear bocinas con una alta potencia de salida. Generalmente, las bocinas de pared deben ser alimentadas con una potencia de 1 a 3W, pero la potencia necesaria varía de acuerdo a la distancia de propagación, reverberación y nivel de ruido. Para las bocinas de techo, generalmente se les alimenta una potencia de 1W. Por ejemplo se muestra a continuación un corredor formado de madera y vidrio. Para que los contenidos del sonido sean claros, se necesita un nivel de presión de sonido de aproximadamente 65 dB. Cuando se usa una bocina de pared, la distancia cubierta debe tener como mínimo 71 dB del nivel

de ruido mencionado. Cuando una bocina de 90 dB se alimenta con 1W de potencia, la bocina es capaz de satisfacer el objetivo hasta una distancia de 9m. Sin embargo, debido a la existencia de reverberación, las bocinas pueden ser utilizadas en un rango de hasta 15m. Figura 3.9.



En el caso de bocinas de techo, el número de estas puede ser obtenido por la relación existente entre el espaciamiento entre bocinas y el área a ser cubierta, con una potencia de 1W.

En el caso de un pasillo, la potencia total de entrada se obtiene de la figura 3.3 y el espaciamiento entre bocinas de la tabla 4.

2.- EXTERIORES

Si se intenta amplificar la voz convenientemente a una cierta distancia en exteriores, la transmisión a una gran distancia, con una bocina de potencia puede ser en algunos casos imposible, por diferentes factores como pueden ser por ejemplo que las condiciones del tiempo varían de acuerdo a la época del año, los niveles de ruido varían de acuerdo al lugar, y existen regulaciones que previenen del ruido, dependiendo de la ciudad. Además, en vista de los requerimientos actuales, de evitar la contaminación, incluyendo el ruido, debe tenerse cuidado especial en el arreglo de las bocinas y en el nivel de presión de sonido para exteriores.

Para obtener el nivel de presión de sonido necesario para las bocinas en exteriores, se utiliza el siguiente procedimiento:

- 1) Debe investigarse el nivel de ruido del lugar, y la salida debe hacerse de 6 a 10 dB por encima del nivel de ruido obtenido.
- 2) La atenuación del sonido se obtiene de la distancia en donde se encuentra la bocina, al punto donde se requiere el sonido.
- 3) La potencia de salida se obtiene sumando la atenuación obtenida en (2) con el nivel de presión de sonido requerido, obtenido en (1).
- 4) Utilícese una bocina de 1W para saber cuanta potencia debe añadirse con el fin de obtener el nivel de presión de sonido obtenido en (3).
- 5) De acuerdo a los requerimientos y a la importancia de la calidad del sonido, pueden utilizarse bocinas de columna, bocinas de alto rango, o bien trompetas. La selección de las bocinas puede hacerse en el orden anterior, o bien en el orden contrario.

La altura a la que debe ser colocada la bocina, es la misma que la distancia de propagación del sonido, sin embargo deben evitarse los arreglos muy altos por los cambios en las condiciones climáticas. Así mismo, deben evitarse los arreglos bajos, en los cuales existe un nivel muy alto de la presión del sonido en las vecindades de las bocinas.

Un ejemplo de un patio se muestra en la figura 3.10.

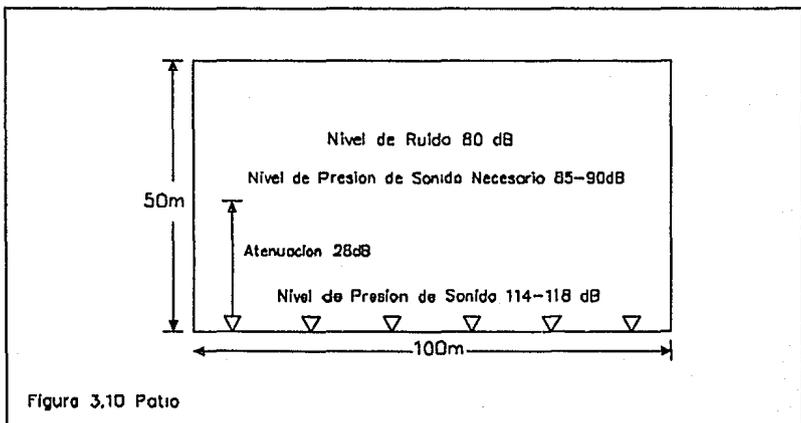


Figura 3.10 Patio

Cuando el nivel de ruido es de 75dB, el nivel necesario de la presión del sonido es de 85 dB (10dB arriba), en el cual una atenuación a 2/3 será de 33dB, de manera que el nivel de presión de sonido de la bocina debe ser de 118dB.

Las explicaciones anteriores incluyen ejemplos para interiores como para exteriores. El diseño debe ser hecho tomando como una referencia el nivel de presión de sonido de las bocinas. Para completar el diseño, debe hacerse un estudio detallado del lugar, incluyendo diagramas y dibujos.

O.- DETERMINACION DEL MICROFONO

Para la selección del micrófono, deben tomarse en consideración el tipo, forma, dirección, características de frecuencia, impedancia, balanceado o no, etc. dependiendo del propósito y el lugar de uso.

Generalmente la elección del micrófono se hace de acuerdo en los factores de funcionamiento. Para hablar solamente, la elección se hace de acuerdo al precio. Debe tenerse cuidado en que si la elección del micrófono es inadecuada, todo el sistema puede volverse de sonido pobre, sin importar si las características del sistema son excelentes y cumplen ampliamente con el propósito. Así mismo, si el micrófono se usa de manera inadecuada por parte del usuario, el sistema puede provocar una calidad del sonido pobre, volumen insuficiente, zumbidos, etc. Por esta razón, debe hacerse una buena explicación al usuario del micrófono.

Como un método de selección, debe considerarse primero el lugar de uso, interiores o exteriores, seguido del tipo, etc. de manera que se cubra el propósito.

a) Lugar de uso (lugar de la instalación)

- Interiores o exteriores
- Dónde instalarse
- Nivel de ruido

b) Propósito de uso

- Comunicación
- Música

P. - SELECCION DE LOS PATRONES DEL MICROFONO

De acuerdo a los patrones de micrófonos específicos, los micrófonos se clasifican en omnidireccionales, unidireccionales y bidireccionales. Los estandares generales para la selección de micrófonos se muestran en la tabla 5. Deben tomarse en cuenta además las características de frecuencia del micrófono.

SELECCION DEL TIPO DE MICROFONO

Es necesario considerar simultaneamente la selección del tipo y forma y las características de frecuencia del micrófono para cubrir el propósito y el lugar de uso. La selección debe hacerse de acuerdo en los tipos y formas que se dan a continuación:

TIPO:	a) Dinámico	FORMA:	a) Mano
	b) Condensador		b) Stand
	c) Velocidad		c) Suspendido
	d) Cerámico		d) Elevador
	e) Cristal		e) Inalámbrico
	f) Carbón		

Tabla 5: PATRONES Y ESTANDARES DE SELECCION PARA MICROFONOS

PATRON	ESTANDAR PARA SELECCION
Omnidireccional	1) Inadecuado para el uso en lugares de tiempo de reverberación largo y nivel de ruido alto debido a su habilidad de retroalimentación. 2) Utilizable para captar sonido ambiental
Unidireccional	1) Dificil de retroalimentarse 2) Utilizable cuando se requiere obtener el sonido de una sola dirección (más comúnmente usado)
Bidireccional	1) Inadecuado para el uso en lugares de tiempo de reverberación largo y nivel de ruido alto debido a su habilidad de retroalimentación 2) Para obtener el sonido en dos direcciones solamente

Los tipos generalmente usados para la amplificación de la voz son los dinámicos y los de condensador. Las formas deben ser seleccionadas de acuerdo al lugar de instalación y del propósito de uso. A continuación se da una breve descripción de estas:

- 1) **Micrófono de Mano.-** Movable, limitado por el largo del cable. Seleccionado en el caso de ser utilizado manualmente.
- 2) **Micrófono de Stand.-** Hay de montura para piso o para escritorio, de acuerdo al propósito y lugar de uso.
- 3) **Tipo Suspendido.-** A ser seleccionado en el caso de necesitarse micrófono suspendido del techo, dependiendo de la posición de instalación y del rango de movimiento.
- 4) **De Piso.-** Se utiliza por encima de la superficie del piso. Cuando es necesario, puede ser metido totalmente en el piso, para prevenir que la vibración del ruido interfiera en el micrófono.
- 5) **Balanceado/Desbalanceado.-** El tipo balanceado o desbalanceado concierne a los problemas de distancia entre el amplificador y el micrófono y de la calidad del sonido. Generalmente, el tipo balanceado (baja impedancia), se utiliza dentro de los micrófonos de alta calidad. La extensión del cable del micrófono no puede ser definida de un modo general, pero las siguientes consideraciones son aceptables:

Desbalanceado de 50 k Ω :	aproximadamente	10m
Desbalanceado de 600 Ω :		20m
Balanceado de 600 Ω :		80m
- 6) **Micrófono Inalámbrico.-** Este tipo carece de cable lo que permite al usuario moverse libremente con él. El rango usable separado de la antena depende de las características del aparato. El micrófono de 15 V/m a una distancia de 100m, es utilizable a una distancia mayor de 100m. Las características varían, pero el micrófono puede ser utilizado a 30m del cruce de una calle, o a 80m en lugares tranquilos.
- 7) **Cobertura.-** Para el uso en exteriores, es recomendable el uso de una cobertura para eliminar el ruido de viento. Es recomendable usar una cobertura, cuando

el micrófono se mueve demasiado. A parte de estos usos, la cobertura impide que el micrófono produzca interferencias y zumbidos.

Q.-DETERMINACION DEL AMPLIFICADOR

Para la selección del amplificador, deben tomarse en consideración el funcionamiento de los aparatos de entrada y salida, la potencia de las bocinas y la potencia a ser alimentada a estas, del funcionamiento de acuerdo al uso, y el aspecto de la instalación y aplicación. Además, deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) Conocimientos del operador
- 2) Lugar de instalación (características de construcción)
- 3) Capacidad de la fuente de poder

R. - DETERMINACION DE LA POTENCIA DEL AMPLIFICADOR

La potencia del amplificador depende de la potencia total a ser alimentada a la bocina. Por seguridad, la potencia total de entrada a las bocinas no debe ser de la potencia máxima de salida del amplificador, pero sí de su potencia nominal.

Debe tomarse en cuenta las posibles modificaciones al sistema o la ampliación del número de bocinas.

S. - SELECCION DEL TIPO DE AMPLIFICADOR

Existen varios tipos de amplificadores disponibles de acuerdo al uso del sistema. Los tipos de amplificador se clasifican en:

- 1) Portátiles
- 2) De escritorio
- 3) De rack
- 4) De consola

1) Portátiles.- Incluyen megáfonos y otros amplificadores portátiles, que involucran escasos problemas para su arreglo.

- 2) **De escritorio.**- Este es el tipo mas usual, y se puede operar y colocar fácilmente (10-100W).
- 3) **Amplificador de Rack.**- Es aplicable en el caso de sistemas muy grandes, o en donde el espacio es muy reducido, para ensamblar loa aparatos de entrada y salida (más de 100W).
- 4) **Amplificador de Consola.**- Hay sistemas grandes y pequeños, los cuales se usan generalmente para controlar monitoreando a los oyentes. Este tipo incluye al sistema para monitorear y grabar el sonido, y el sistema de monitoreo por TV (más de 60W).

T.- SELECCION DEL FUNCIONAMIENTO

La selección debe hacerse de acuerdo al uso, si son necesarios 1,2 o 3 canales, del número de entradas y salidas del amplificador, dependiendo del número de aparatos de entrada y salida. Debe considerarse tambien la impedancia de los aparatos de entrada y salida para cubrir el objetivo. Asimismo, la respuesta a la frecuencia, la distorsión, etc. son factores importantes para la elección del amplificador.

U.- APARATOS EXTERNOS

Los aparatos externos incluyen los reproductores, a control remoto, etc., de acuerdo al objetivo del sistema. Algunos ejemplos se enuncian a continuación:

1) Aparatos de entrada

- Micrófono con campana
- Micrófono remoto
- Amplificador mezclador
- Tocabdiscos
- Reproductora de cintas
- Música ambiental
- Sintonizador

2) Aparatos de Salida

- Selector de bocinas
- Atenuador

V.- CAPITULO IV.- CASO PRACTICO

SISTEMA DE VOCEO PARA LAS INSTALACIONES DEL METRO LIGERO DE LA CIUDAD DE MEXICO

A.- DATOS GENERALES

A continuación se presentan las especificaciones para el diseño e instalación de los equipos locales necesarios para el sistema de voceo en las estaciones del metro ligero de la Ciudad de México.

Debido a la necesidad que se tiene de transmitir mensajes a los usuarios y personal del metro ligero, se requiere de un sistema local de voceo. Este recibirá y transmitirá los mensajes de los puestos de control y los generados en la propia estación.

B.- NIVELES DE RUIDO EN EL METRO DE LA CD. DE MEXICO

Este reporte describe el resultado de las pruebas y trabajos de medición acústica llevados a cabo en diversos tipos de estaciones del sistema de transporte colectivo METRO de la Cd. de México durante las horas de servicio de operación.

Los parámetros estudiados fueron básicamente:

- Tiempo de reverberación
- Niveles de ruido en el medio ambiente
- Características de resonancia
- Comportamiento del sonido existente

Estas mediciones se hicieron en diferentes estaciones en función de su tipo de construcción:

- Estación elevada (Línea 4 y Línea 9)
- Estación Superficial (Línea 2 y Línea 5)

- Estación Subterránea (Línea 1, Línea 3 y Línea 6)
- Estación profunda (Línea 7)

Los estudios se hicieron tanto en horas pico, como en horas valle para determinar los niveles de ruido en el medio ambiente.

C.- DESCRIPCION FUNCIONAL

El equipo en cada estación recibirá cuatro señales generadas desde los siguientes lugares:

- Centro de comunicaciones del puesto de control de línea.
- Puesto emergente computarizado.
- Local Jefe de estación.
- Taquilla principal.

Estas señales alimentarán directamente al selector de entrada, el cual deberá contar con control de ganancia independiente por entrada. La salida del selector pasará por el atenuador y después alimentará a los amplificadores de la estación, los cuales a su vez, estarán conectados a la red de altavoces.

Dentro del sistema existe un panel monitor para los amplificadores, con el fin de escuchar el mensaje en una zona determinada. Este panel cuenta con diez entradas lo que permite escuchar el voceo en diez zonas distintas.

Los amplificadores del sistema cuentan además con funciones de prioridad, al igual que los módulos de entrada para las diferentes señales generadas dentro del sistema.

Para el sistema de voceo del Metro ligero, la prioridad para la transmisión de las señales es la siguiente:

- 1) Puesto de Control de Línea (PCL)
- 2) Puesto Emergente Computarizado (PEC)
- 3) Jefatura de estación
- 4) Taquilla principal

En taquilla principal y la jefatura de estación se dispone de un micrófono con botón de control de encendido para poder efectuar el voiceo.

D.-PRUEBAS REALIZADAS

1. Tiempo de Reverberación

Estas mediciones se realizaron en andenes y vestíbulos a intervalos de 1/3 de octava por medio de un generador de Ruido - impacto. El tiempo de reverberación también fue calculado de acuerdo a la fórmula de Sabine.

El tiempo de reverberación significativo se obtuvo en los primeros 60 dB de decaimiento del ruido impacto. Los promedios de lectura fueron los siguientes.

TIPO DE ESTACION	VESTIBULOS	ANDENES
ELEVADA	0.67 seg	N/A
SUPERFICIAL	0.55 seg	N/A
SUBTERRANEA	0.72 seg	0.66
PROFUNDA	1.52 seg	0.58

En el caso de las estaciones profundas se buscó la zona de mayor ruido, siendo, en este caso, la lumbrera.

Como se explicó anteriormente, el tiempo de reverberación tan pequeño observado en los diferentes tipos de estaciones, no representa un problema acústico real, aunque definitivamente los acabados arquitectónicos utilizados no favorecen una correcta difusión del sonido.

E.- MEDICION DEL RUIDO AMBIENTAL

Para la medición del nivel de ruido ambiental, se utilizó un medidor de nivel de presión de sonido (SPL) con escala "A", es decir, con filtro compensado a las características del oído humano.

Con la finalidad de promediar las condiciones propias de una estación, se buscó un punto intermedio entre los vestíbulos y el andén.

Las mediciones se efectuaron en periodos de 10 minutos en horarios distintos, realizando lecturas cada 15 segundos.

En cada tipo de estación, se consideraron seis diferentes condiciones de ruido diferentes:

- 1.- Sin tren, sin sonido, con poca gente.
- 2.- Sin tren, sin sonido, con mucha gente.
- 3.- Sin tren, con sonido, con poca gente.
- 4.- Sin tren, con sonido, con mucha gente.
- 5.- Con tren, sin sonido, con mucha gente.
- 6.- Con tren, con sonido, con mucha gente.

TIPO DE ESTACION	NIVEL DE RUIDO (dB)	
	Mínimo	Máximo
PROFUNDA	60	86
SUBTERRANEAS	60	86
SUPERFICIALES	76	86
ELEVADAS	76	86

Definitivamente el tipo de estaciones con mayor problema de inteligibilidad acústica, son las estaciones superficiales, cuyo promedio de nivel de ruido se encuentra en 80 dB.

Es importante hacer notar que la relación señal a ruido en esos niveles debe tener una separación de por lo menos 6 dB. De este modo, el nivel de presión de sonido generado por los amplificadores y los altavoces del sistema de sonorización y voice debe ser del orden de 89 dB para lograr un mínimo de inteligibilidad.

Por otra parte, este estudio arroja un dato interesante, ya que cuando dos trenes se encuentran estacionados en el andén, en el caso de las estaciones superficiales y elevadas,

se logra el nivel mas bajo de ruido, ya que estos sirven como mampara acústica deteniendo el ruido exterior.

F.- SONIDO AMBIENTAL

Los problemas que con mayor frecuencia se presentan en el comportamiento de los sistemas de voceo y música ambiental dentro de las estaciones del metro son:

- Relación señal/ruido muy desfavorable.
- Cobertura de áreas muy pobre.
- Disparidad en niveles de amplificación entre música y mensajes.
- Distorsión en el programa de música en altavoces.

G.- NIVELES DE RUIDO PROMEDIO

Los niveles de ruido mostrados a continuación fueron medidos en horario matutino (A.M.) de 6 de la mañana a 12 a.m. y en horario vespertino y nocturno (P.M.) de 12 a.m. a 12 p.m., en los vestíbulos (VEST.) y andenes de las estaciones siguientes:

ESTACION SUPERFICIAL: SAN ANTONIO ABAD

CONDICIONES			A.M.		P.M.	
TRENES	GENTE	SONIDO	VEST.	ANDENES	VEST.	ANDENES
SIN	SIN	SIN	73	83	74	82
SIN	SIN	CON	73	82	74	82
SIN	CON	CON	73	83	74	82
CON (1)	CON	CON	73	77	74	76
CON (2)	SIN	SIN	73	80	74	80
CON (3)	CON	CON	73	78	74	77
CON (4)	SIN	SIN	73	82	74	80

1.- Con un tren parado

2.- Con un tren en circulación

3.- Con dos trenes parados

4.- Con dos trenes en circulación

ESTACION SUBTERRANEA: HIDALGO

CONDICIONES			A.M.		P.M.	
TRENES	GENTE	SONIDO	VEST.	ANDENES	VEST.	ANDENES
SIN	SIN	SIN	65	61	68	64
SIN	SIN	CON	65	65	68	66
SIN	CON	CON	72	71	72	68
CON (1)	CON	CON	71	71	74	74
CON (2)	SIN	SIN	72	84	74	80
CON (3)	CON	CON	72	74	74	74
CON (4)	SIN	SIN	72	78	75	85

- 1.- Con un tren parado
- 2.- Con un tren en circulación
- 3.- Con dos trenes parados
- 4.- Con dos trenes en circulación

ESTACION PROFUNDA: VIVEROS

CONDICIONES			A.M.		P.M.	
TRENES	GENTE	SONIDO	VEST.	ANDENES	VEST.	ANDENES
SIN	SIN	SIN	62	60	62	60
SIN	SIN	CON	66	66	64	64
SIN	CON	CON	68	62	64	64
CON (1)	CON	CON	71	76	69	76
CON (2)	SIN	SIN	73	86	70	85
CON (3)	CON	CON	78	81	78	85
CON (4)	SIN	SIN	84	87	78	85

- 1.- Con un tren parado
- 2.- Con un tren en circulación
- 3.- Con dos trenes parados
- 4.- Con dos trenes en circulación

ESTACION ELEVADA: SANTA ANITA

CONDICIONES			A.M.		P.M.	
TRENES	GENTE	SONIDO	VEST.	ANDENES	VEST.	ANDENES
SIN	SIN	SIN	66	60	65	63
SIN	SIN	CON	68	63	74	66
SIN	CON	CON	72	67	74	69
CON (1)	CON	CON	76	71	76	76
CON (2)	SIN	SIN	76	72	74	82
CON (3)	CON	CON	74	70	76	70
CON (4)	SIN	SIN	74	82	78	82

1.- Con un tren parado

3.- Con dos trenes parados

2.- Con un tren en circulación

4.- Con dos trenes en circulación

H.- EQUIPO

El sistema V-1000 , de marca TOA, es un equipo desarrollado especialmente para aplicaciones de sonorización pública o publifusión y se emplea principalmente en lugares públicos de gran magnitud en donde se requiere que el sistema de sonido sea flexible. En estos lugares, generalmente se necesitan aplicaciones como micrófonos descentralizados, prioridades, o micrófonos remotos. El sistema V-1000 satisface dichos requerimientos sin necesidad de un equipo especial ni adaptaciones a los sistemas convencionales.

Dentro de sus características principales encontramos:

- 1) Diferentes tipos de programación de prioridades para los micrófonos del sistema.
- 2) Crecimiento según las necesidades de ampliación.
- 3) Sistema modular para adaptarse a necesidades específicas.
- 4) Alta confiabilidad
- 5) Alta calidad en la reproducción del sonido pero sin ser equipo de sonido profesional

6) Voceo en zonas específicas

7) Transmisión simultánea de mensajes a diferentes áreas

El sistema V-1000 está diseñado de manera flexible de tal forma que se acople a las necesidades cambiantes del usuario. Dentro de los sistemas de audición pública, en el sistema V-1000 se dedica especial atención a una operación libre de problemas y fácil mantenimiento, es decir, la confiabilidad es prioridad de las características eléctricas del equipo.

El sistema V-1000 es modular y existen cerca de 40 módulos con diferentes funciones que se pueden acomodar fácilmente en una cabina mezcladora especialmente diseñada para ellos. El equipo periférico, también de la serie V-1000, como amplificadores y micrófonos remotos se interconecta con la cabina para hacer del sistema un sistema integral.

Los módulos pueden programarse para diferentes funciones mediante interruptores en el circuito impreso del mismo.

La serie V-1000 puede programarse con diferentes tipos de prioridad, los más importantes son:

- 1) Prioridad más alta.- Se programa de acuerdo al acomodo de los módulos en la cabina mezcladora.
- 2) Primera entrada primera salida.- La señal que se genere primero tendrá prioridad de salida sobre las señales generadas después.
- 3) Prioridad en cascada.- Depende del acomodo en la cabina y de la generación de señales.
- 4) Prioridad combinada

Estas funciones son de importancia para el sistema de voceo debido a que las señales generadas en los diferentes puestos de control del metro, llevan prioridad sobre las señales generadas en las estaciones del sistema.

Configuración del sistema

A continuación se enlistan los módulos utilizados en la serie V-1000 y sus características principales.

MODULOS DE ENTRADA

MODULO	CARACTERISTICAS	ENTRADA	OTRAS FUNCIONES
V-1051A	<ul style="list-style-type: none"> Módulo preamplificador para micrófono con función programable Entrada balanceada 	Seleccionable -62dB/600 Ω ó dB/100 K Ω balanceado	<ul style="list-style-type: none"> Ocupado Campana
V-1052A	<ul style="list-style-type: none"> Módulo preamplificador para micrófono con compresor y programable Entrada balanceada 	-62dB/600 Ω	<ul style="list-style-type: none"> Ocupado Campana
V-1151A	<ul style="list-style-type: none"> Módulo preamplificador para micrófono programable Entrada balanceada 	-62dB/600 Ω	
V-1251A	<ul style="list-style-type: none"> Módulo preamplificador para micrófono programable Entrada con transformador balanceado 	-62dB/600 Ω	<ul style="list-style-type: none"> Ocupado Campana
V-1005	<ul style="list-style-type: none"> Entrada para micrófono 		
V-1054	<ul style="list-style-type: none"> Auxiliar de entrada con función de enmudecimiento (señal alimentada) Entrada balanceada 	Seleccionable: 0dB ó -20dB/ 100 K Ω	<ul style="list-style-type: none"> Control del nivel de enmudecimiento
V-1154	<ul style="list-style-type: none"> Auxiliar de entrada Entrada desbalanceada 	0dB/5 K Ω	
V-1254	<ul style="list-style-type: none"> Entrada de línea Entrada balanceada por transformador 	0dB/5 K Ω	
V-1053	<ul style="list-style-type: none"> Preamplificador para phono con enmudecimiento Ecuilización estándar RIIA 	0dB/50 K Ω	
V-1061	<ul style="list-style-type: none"> Selector programable con enmudecimiento 4 entrada (1 programa para 4 entradas) 		<ul style="list-style-type: none"> Control del nivel salida
V-1032	<ul style="list-style-type: none"> Sintonizador AM/FM con enmudecimiento Sintonizador digital Circuito PLL Recepción y sintonía automática Memoria Salida 20dB/0dB 	Recepción: AM: 522-1611 20 μ V/999KHz para 20 dB FM: 87.5-108 MHz 2.5V/98MHz para 20dB	<ul style="list-style-type: none"> Memoria

MODULOS FUENTE DE SEÑAL DE ENTRADA

V-1014	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de alerta, sirena • Led de señal rojo/verde voceo • Nivel de salida y tiempo ajustables 	Control del nivel salida
V-1015	<ul style="list-style-type: none"> • Módulo de campana • Seleccionable: campana o gong • Leds indicadores 	

MODULO AMPLIFICADOR DE LINEA

V-1071A	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificador de línea • Combina señales preamplificadas sin pérdidas • Control de graves y agudos 	Salida: 0dB/600 Ω	Control del nivel salida
V-1062	<ul style="list-style-type: none"> • Selector de 5 zonas • Funciona como selector de programas si se encadenan 2 entradas 		
V-1082	Fuente de alimentación Conexión dentro de V-1000A Alimentación de 24V para módulos Circuito de protección contra corto circuito		24V c.d. 1 Amp
V-1090	Módulo interfase Bus de línea de entrada y salida		
V-1001	Panel liso sencillo para mezcladora		
V-1002	Panel liso doble para mezcladora		
YA-1000A	Circuito detector de fallas para amplificadores		

AMPLIFICADORES DE POTENCIA

MODELO	POTENCIA	ENTRADAS
VP-1030A	30 Watts RMS	Baja impedancia 100, 70 y 50V de línea 2 entradas de prioridad
VP-1060A	60W RMS	2 entradas programables
VP-1120A	120W RMS	
VP-1240A	240W RMS	

I.- ANALISIS ECONOMICO

A continuación se describe el equipo utilizado en los diferentes centros de control del metro ligero. El análisis económico se enumera de manera independiente para las estaciones, el puesto de control de línea y el puesto emergente computarizado, así como los costos por instalación y mano de obra requeridos para la puesta en operación del equipo de sonido para los vestíbulos y andenes de la línea 9 del metro.

1.- EQUIPO PARA EL PUESTO DE CONTROL DE LINEA

MODELO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CR-411DN	Gabinete 19" y puerta	1		6,153,180
YM-003	Soportes laterales	6	151,620	909,720
YA-703	Soportes interiores	1		560,795
BP-031G	Panel de Ventilación			910,319
MP-032A	Panel Monitor	1		793,811
BA-400	Casetera cuádruple	1		2,912,700
PF-013A	Panel perforado	2	52,469	314,814
EQ-910A	Ecuallizador gráfico	2	1,092,268	2,184,536
VM-1030A	Amplificador mezclador	3	2,024,327	6,072,981
V-1251A	Preamp. micrófono	3	160,199	480,597
V-1054	Preamp. auxiliar	3	254,961	764,883
V-1001	Panel liso p/mezclador	3	37,906	113,718
V-1002	Panel liso doble	5	50,174	250,870
V-1062	Selector de zonas	2	1,055,954	2,111,908
V-1082	Fuente de alimentación	1	567,977	
V-1000A	Cabina Mezcladora	1		757,302
VR-1012	Micrófono selector zonas	1		1,878,692
PS-011G	Panel de Encendido	1		138,453
PD-021G	Distribuidor alimentación	1		764,684
JB-031A	Caja de conexiones	1		1,201,589
BK-033A	Panel liso 19"	1		65,636

Q-V-1071	Transmisor de línea	10	2,283,916	22,839,160
	Ensamblado de gabinete e interconexión de los equipos.	1		7,908,750
Costo del equipo para PCL				\$ 60,657,075

La configuración de los equipos dentro del gabinete se muestra en la figura 4.1.

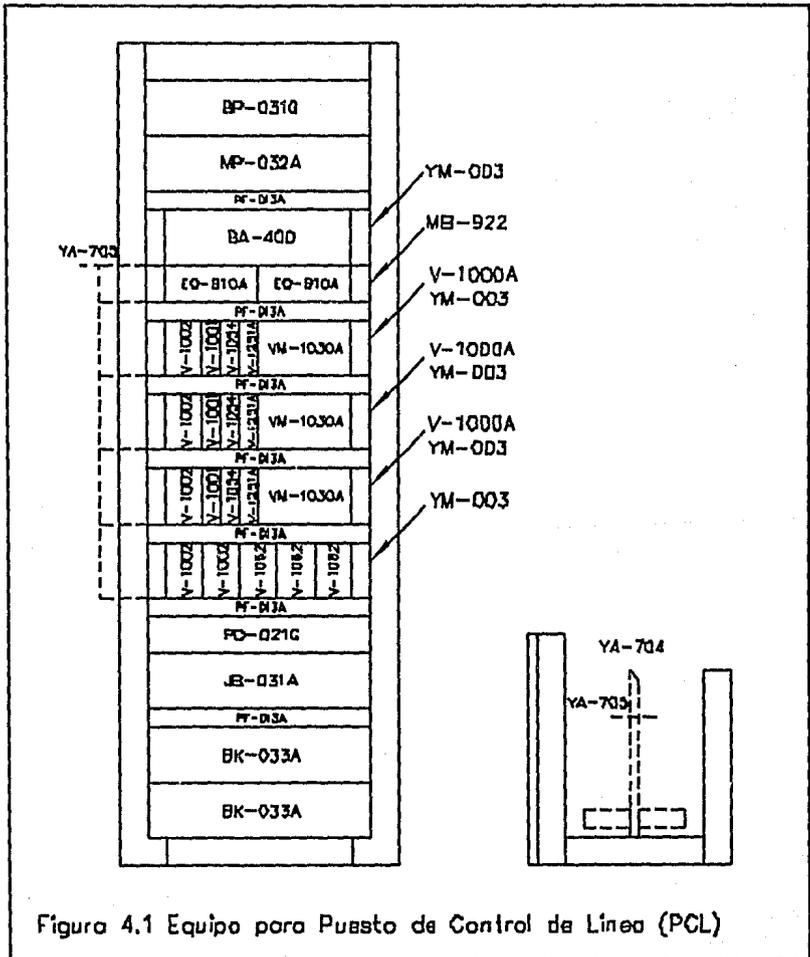
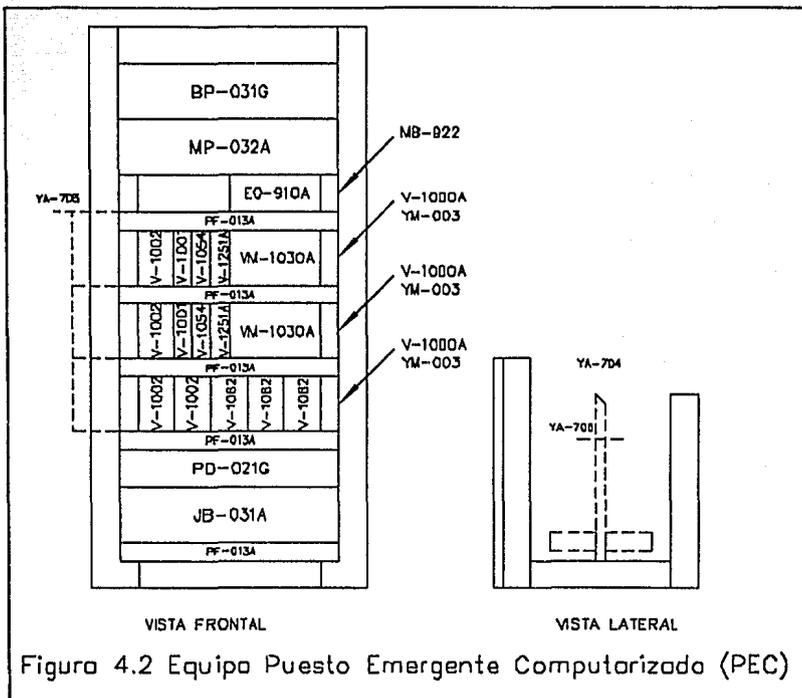


Figura 4.1 Equipo para Puesto de Control de Línea (PCL)

2.- EQUIPO PARA EL PUESTO EMERGENTE COMPUTARIZADO

MODELO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CR-211DN	Gabinete 19" y puerta	1		4,769,646
YM-003	Soportes laterales	3	151,620	454,860
YA-704	Soportes interiores	1		388,360
YA-705	Mensulas de soporte	4	72,818	291,272
BP-031G	Panel de Ventilación	1		910,319
MP-032A	Panel Monitor	1		793,811
PF-013A	Panel perforado	4	52,469	209,876
EQ-910A	Ecuador gráfico	2		1,092,268
VM-1030A	Amplificador mezclador	2	2,024,327	4,048,654
V-1251A	Preamp. micrófono	2	160,199	320,398
V-1054	Preamp. auxiliar	2	254,961	509,922
V-1001	Panel liso p/mezclador	2	37,905	75,810
V-1002	Panel liso doble	4	50,174	201,096
V-1062	Selectro de zonas	2	1,055,954	2,111,908
V-1082	Fuente de alimentación	1		567,977
V-1000A	Cabina Mezcladora	1		757,302
VR-1012	Micrófono selector zonas	1		1,878,692
PS-011G	Panel de Encendido	1		138,453
PD-021G	Distribuidor alimentación	1		764,684
JB-031A	Caja de conexiones	1		1,201,589
Q-V-1071	Transmisor de línea	10	2,283,916	22,839,160
V-1015	Módulo generador de chime	1		371,469
MB-922	Soporte ecualizador	1		65,636
	Ensamblado de gabinete e interconexión de los equipos	1		7,908,750
	Costo del equipo para PEC			\$ 52,671,912

La configuración de los equipos dentro del gabinete se muestra en la figura 4.2.



EQUIPO PARA LAS ESTACIONES AGRICOLA ORIENTAL, SAN JUAN, TEPALCATES, GUELATAO, PEÑON VIEJO, Y ACATITLA

MODELO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CR-271DN	Gabinete 19" y puerta	1		4,769,646
YM-003	Soportes laterales	4	151,620	606,480
YA-704	Soportes interiores	1		388,360
YA-705	Mensulas de soporte	4	72,818	291,272
BU-411AN	Unidad de Enfriamiento	1		1,128,771
MP-032A	Panel Monitor	1		793,811
PF-013A	Panel perforado	4	52,469	209,876

V-1090	Interfase de conexión	2	123,890	247,780
V-1254	Preamplificador auxiliar	2	240,400	480,800
V-1051A	Preamp. micrófono	4	160,199	640,796
VM-1120A	Amplificador Mezclador 120W	2	2,548,613	5,097,226
Q-V-1001	Entrada de línea	3	1,287,193	3,861,579
V-1005	Entrada para micrófono	4	153,017	612,068
EQ-910A	Ecualizador gráfico	3	1,092,268	3,276,804
V-1001	Panel liso p/mezclador	2		37,905
V-1002	Panel liso doble	2	50,274	100,548
V-1000A	Cabina Mezcladora	1		757,302
PS-011G	Panel de Encendido	1		138,453
BK-033A	Panel liso 19"	2	65,636	131,272
MB-922	Soporte ecualizador	1		65,636
JB-600A	Caja de conexiones	1		764,684
	Ensamblado de gabinete e interconexión de los equipos.	1		5,760,610
	Costo del equipo por estación			\$ 30,161,679

La configuración del equipo en el gabinete se muestra en la figura 4.3.

EQUIPO PARA LAS ESTACIONES SANTA MARTA Y PANTITLAN

El equipo para estas estaciones es igual que el equipo para las estaciones anteriores, excepto que los amplificadores de potencia se substituyen por los indicados a continuación, esto se debe al mayor número de bocinas necesarias en estas estaciones por su mayor tamaño.

MODELO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
VP-1240A	Amplificador 240W	2	3,531,749	7,063,498
BK-033A	Panel liso 19"	1		65,636
	Costo para estas estaciones			\$ 32,193,587

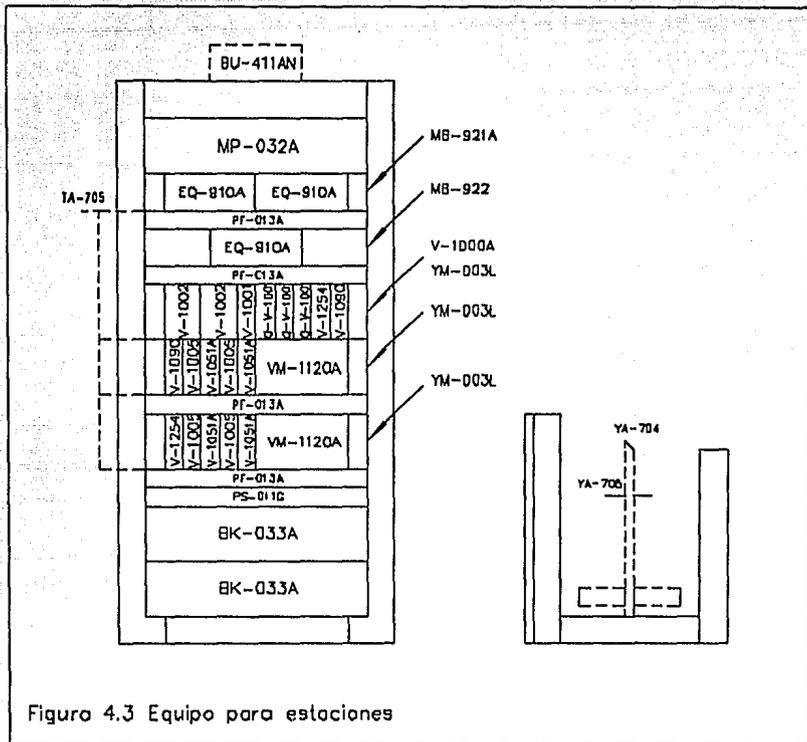


Figura 4.3 Equipo para estaciones

OTROS EQUIPOS Y SUMINISTROS

MODELO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
PM-600D	Micrófono de voceo para	16	200,000	3,200,000
PC-642S	Bocina con rejilla 6W	478	79,401	37,953,678
YS-220	Caja acústica para	478	51,500	24,617,000
PC-642S	Refacciones	1 lote		11,857,741
	Cable calibre 18 AWG	10,500m	900	9,450,000
	Accesorios para fijación	1 lote		3,570,000
	Capacitación y asistencia al mantenimiento			11,857,741
	Costo de Otros equipos y suministros			\$ 102,506,160

El costo de las refacciones se calculó como el 3% del valor total de los suministros, escogiéndose estas como las piezas que se requieren para tener funcionando sin fallas el equipo durante un año. Estas piezas se clasifican dentro de las piezas de consumo.

3.- COSTOS DE INSTALACION

INSTALACION PARA LAS ESTACIONES AGRICOLA ORIENTAL, PEÑON VIEJO, SAN JUAN, TEPALCATES, GUELATAO Y ACATITLA

El costo de ensamble y programación del equipo se cotizó dentro de las especificaciones referentes al equipo de estas estaciones.

Costo de instalación y cableado por estación \$ 7,540,416.-

INSTALACION PARA LAS ESTACIONES SANTA MARTA Y PANTITLAN

Costo de instalación y cableado por estación \$ 8,394,226.-

COSTO TOTAL DE INSTALACION \$ 62,030,948.-

4.- RESUMEN

1) Costo del equipo para el Puesto	\$ 60,657,075.-
2) Costo del equipo para el Puesto de Control de Línea Emergente Computarizado	\$ 52,671,912.-
3) Costo del equipo para estaciones secundarias (6 estaciones x 30,161,679)	\$ 180,970,074.-
4) Costo del equipo para estaciones terminales (2 estaciones x 32,193,587)	\$ 64,387,174.-
5) Costo de otros equipos y suministros	\$ 102,506,160.-
6) Costo total de instalación	\$ 62,030,948.-
	IMPORTE \$ 523,223,343.-
	DESCUENTO P.E.C.E. 3% \$ 15,696,700.-
	SUBTOTAL \$ 507,526,643.-
	I.V.A. \$ 76,128,997.-
	GRAN TOTAL \$ 583,655,640.-

K.- INSTALACION Y PRUEBAS

La instalación y cableado son uno de los factores más importantes para el funcionamiento apropiado de un sistema de sonido. No importa que tan bueno sea un equipo, si la conexión e instalación no es la adecuada, puede provocar oscilación, ruido, interferencia, calidad de reproducción mala y en algunos casos, daño a los equipos.

L.- CONEXION DE LAS BOCINAS

Para un sistema de audición pública, el tipo de conexión más utilizado es el de conexión en paralelo. Se le conoce como conexión de alta impedancia en paralelo debido a que la línea de transmisión conduce voltaje de línea para evitar pérdidas provocadas por la distancia, y los amplificadores llevan transformadores de acoplamiento que proporcionan el voltaje a la línea.. Esto se hace debido a las grandes distancias de cableado y a las diferentes líneas de bocinas.

M.- ACOPLAMIENTO DE IMPEDANCIAS

La impedancia de los amplificadores y la impedancia de las bocinas debe ser igual para una correcta transmisión de la señal. Sin embargo, en ocasiones pueden presentarse los siguientes problemas:

- Pérdida de señal a la salida del amplificador
- Pérdida de estabilidad
- Corto circuito y daño al equipo

Las terminales de conexión del amplificador incluyen salidas para baja y alta impedancia. Así como es necesario un acoplamiento de impedancias, también es necesario que la potencia del amplificador y la potencia de la línea de bocinas sea similar.

Para el sistema de voceo del metro, se utiliza el sistema de conexión de alta impedancia con línea de 100V. El sistema está calculado de tal forma que la potencia de los amplificadores y la potencia de las bocinas sea la misma de logrando así un acoplamiento perfecto.

En los casos en donde no es posible lograr el acoplamiento de potencia entre amplificadores y bocinas, es recomendable que la potencia total conectada a una línea de bocinas, no exceda a la potencia total del amplificador.

N.- CONEXION ENTRE AMPLIFICADORES Y APARATOS DE ENTRADA

Los aparatos del sistema de sonido, a excepción de las bocinas, están montados en gabinetes especialmente diseñados para el equipo de la serie V-1000 de TOA. De este modo, la conexión entre los diversos aparatos es sencilla.

Los aparatos reproductores de sonido, como caseteras, se conectan a un preamplificador dentro de la cabina mezcladora. En esta cabina se montan los preamplificadores y los diferentes módulos para micrófonos y preamplificadores de línea. Del preamplificador de línea solo es necesario un cable de interconexión entre éste y algún amplificador del gabinete. Los amplificadores restantes se conectan entre si por las salidas y entradas descritas anteriormente.

Este tipo de conexiones tienen la ventaja de ser sencillo tanto para su instalación como para revisiones, mantenimiento y detección rápida de problemas ocasionados por el cableado interno del gabinete.

Conexión de los micrófonos

Para la conexión de los micrófonos se necesita un preamplificador para micrófono, como los ya descritos. Los micrófonos utilizados en el sistema son de tipo balanceado de baja impedancia (6002), los preamplificadores son de similares características.

El tipo balanceado permite una longitud de cable de 80m, por lo que resulta la más apropiada para los micrófonos de jefe de estación y taquilla que se encuentran separados del gabinete central.

Cableado de las bocinas

Antes de efectuar el cableado de las bocinas, es importante seleccionar el tipo de cable dependiendo de los lugares a instalar, de la longitud del cableado y de los espacios entre otras líneas de señal.

Existen diversos tipos de cable utilizados para sistemas de audición pública, entre los que encontramos:

- Cable para interiores 600V con recubrimiento de polivinil, pvc o polivinil resistente al calor.
- Cable para exteriores 600V blindado, polivinil para exteriores y antillama.

Los calibres recomendados para distancias mayores a un kilometro son del calibre 10 al calibre 18, esto es, porque la impedancia de la red de cableado debe acoplarse a la impedancia de entrada del amplificador. En el caso del equipo TOA, la impedancia de entrada del amplificador es de 100V 1002 y la impedancia producida por el cableado calibre 10 al 18 es de 12 a 682.

Es necesario que el cableado no se encuentre cerca de líneas de voltaje, que pueden inducir oscilaciones y ruido. La distancia recomendable es de por lo menos 30 cm.

La instalación de los equipos se hace directamente desde fábrica en donde se comprueba el funcionamiento adecuado de todos los aparatos y de los amplificadores de potencia.

Para comprobar el funcionamiento de la línea de bocinas se utiliza un medidor de impedancias, el cual, a diferencia de un medidor de resistencia, toma en consideración la reactancia capacitiva e inductiva de la línea de bocinas. El medidor de impedancias genera una señal de 1kHz que se transmite a través de la línea y es reproducida por las bocinas. Cuando existe alguna falla, por ruptura o desconexión del cableado, es fácilmente detectable gracias a la señal audible reproducida por el medidor.

VI.- CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han expuesto los aspectos más importantes del diseño acústico y de sus aplicaciones. Para dar una visión amplia del sonido y de la acústica, se partió de los conceptos fundamentales, que sirven como base de conocimiento para cualquier aplicación que requiera de diseño acústico.

Los fundamentos del sonido como la frecuencia, tono, timbre, intensidad, rango audible, difracción y refracción del sonido y el efecto del viento, son importantes porque, gracias a ellos, conocemos el comportamiento del sonido bajo diferentes circunstancias, sus características principales y métodos de medición y estudio.

Un concepto importante que hay que destacar es el de nivel de presión de sonido, en el cual se fundamenta el diseño acústico. Es importante debido a que de su medición se derivan las características más significativas que deben tomarse en cuenta para un diseño acústico confiable. El nivel de presión del sonido mide la intensidad, atenuación con la distancia y la ganancia que se obtiene del amplificador y altavoces utilizado, dependiendo de su potencia y respuesta a la frecuencia.

Como parte de los estudios preliminares al diseño acústico, es necesario conocer las características arquitectónicas del lugar, para que de este modo, se puedan elegir los aparatos de medición adecuados al lugar de estudio, esto es, porque existen diversos aparatos de características similares, pero diseñados para diferentes aplicaciones.

Si se conocen las características arquitectónicas del lugar y el equipo a utilizarse, es posible llevar a cabo el estudio desde un punto de vista teórico solamente, aplicando los conceptos fundamentales del sonido y de cálculos, derivados de las ecuaciones desarrolladas para la medición teórica del mismo. Sin embargo, si se desea una alta confiabilidad en el diseño, es conveniente efectuar mediciones directas en el lugar de diseño, ya que en ocasiones, existen comportamientos acústicos en el lugar de estudio que no se reflejan en los cálculos.

Una vez realizados los estudios previos, es necesario hacer una adecuada selección y arreglo de los aparatos y bocinas empleados en el sistema, de tal manera que satisfagan las condiciones de sonorización y no se exceda ni se limite su capacidad. Lo anterior repercute

no solamente en la calidad del sonido, sino en el aspecto económico del diseño, porque si un equipo es mayor en capacidad que la requerida, se estará aumentando de precio un sistema que no lo requiere. En el caso contrario, si por cuestiones económicas el sistema se limita, puede repercutir en la calidad de reproducción del sonido. En otras palabras, en el diseño acústico no solo intervienen factores de acústica, sino también factores económicos.

Desde el punto de vista de diseño del sistema, se tomaron en consideración los aspectos de funcionamiento requeridos, y el sistema se adaptó a las necesidades específicas del metro. De este modo gracias a la flexibilidad del equipo utilizado, se logró adaptar el sistema a las necesidades del usuario y no se buscó adaptar al usuario al sistema.

Acústicamente, se eligieron bocinas con características de respuesta a la frecuencia y ganancia, distintas a las demandadas por las autoridades del metro, para obtener los niveles de presión de sonido adecuados y evitar ecos y reverberación que dañan la calidad del sonido.

El diseño de un sistema de audición pública debe comenzar desde la construcción. Generalmente no se toma en cuenta el sistema de sonido sino hasta que está concluida una obra, lo que repercute en ocasiones, en contra de la calidad de reproducción del sonido. Por esta razón debe prestarse mayor atención al diseño acústico desde la planeación de una construcción, en donde arquitectos e ingenieros juegan un papel importante. Es necesario concientizarlos de los beneficios en cuanto a calidad y los problemas de instalación que pueden evitarse con una correcta planeación y diseño de los sistemas.

Finalmente, el diseño acústico para audición pública se ha visto de manera global, aplicado prácticamente a un proyecto de gran envergadura e importancia como lo es el Metro ligero de la Cd. de México, teniendo siempre presente el objetivo de proporcionar un sistema confiable, de calidad y funcionamiento apropiado.

VII.- BIBLIOGRAFIA

- Shimizu, Kazuhiro. Acoustical Designing Textbook. TOA Corporation, Kobe Japan 1989.
- Shimizu, Kazuhiro. TOA V-1000 series. Designing Guidance for Engineers. TOA Corporation, Kobe Japan. Febrero 1987.
- Hunter, Joseph Lauren. Sound systems. New York, 1957.
- Rettinger, M. Studio Acoustics, New York: Chemical Publishing Co. 1981
- Eyring, C.F.. Reverberation Time in dead rooms, Journal of the ASA, vol 1. pp 217-241, Enero 1930.
- Noise control manual, Segunda edición, junio de 1980, Toledo, Ohio.
- Young, W.R. Sabine reverberation equation and sound power calculations, Journal of the ASA, vol 31 no. 7 pp. 912-921, Julio 1959.
- Davis, D. Acoustical design of Audio rooms, TOA Corporation, Kobe Japan, 1990.