



# Universidad La Salle

ESCUELA DE INGENIERIA

Incorporada a la U.N.A.M.

"ANALISIS DE UN SISTEMA DE AUDIO  
PARA GRABACION DIGITAL"

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA,  
AREA EN ELECTRONICA

p r e s e n t a

RICARDO ESTRADA MAURIN

Director de Tesis. Jacinto Cuan Lee

TESIS CON  
MATERIA DE ORIGEN

México, D. F.

1991



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## CONTENIDO :

### Prefacio

### Introducción

|   |             |  |           |
|---|-------------|--|-----------|
| <b>Cap. 1 CONOCIMIENTO DE LOS PRINCIPIOS DE AUDIO, ACUSTICA Y PSICOACUSTICA</b> | <b>1.1</b>  | <b>Diseño del Sonido</b>   | <b>2</b>  |
|   | <b>1.2</b>  | <b>Componentes de la Estructura del Sonido</b>                   | <b>2</b>  |
|   | <b>1.3</b>  | <b>La Onda de Sonido</b>   | <b>3</b>  |
|   | <b>1.4</b>  | <b>Frecuencia y Tono</b>   | <b>3</b>  |
|   | <b>1.5</b>  | <b>Amplitud e Intensidad</b>                                     | <b>4</b>  |
|   | <b>1.6</b>  | <b>Frecuencia e Intensidad</b>                                   | <b>6</b>  |
|   | <b>1.7</b>  | <b>Principio de Igualdad de Intensidad</b>                       | <b>6</b>  |
|   | <b>1.8</b>  | <b>Encubrimiento</b>   | <b>6</b>  |
|   | <b>1.9</b>  | <b>Velocidad</b>   | <b>7</b>  |
|   | <b>1.10</b> | <b>Longitud de Onda</b>  | <b>7</b>  |
|   | <b>1.11</b> | <b>Fase Acústica</b>   | <b>7</b>  |
|   | <b>1.12</b> | <b>Evolvente del Sonido</b>                                      | <b>8</b>  |
|   | <b>1.13</b> | <b>Localización del Sonido</b>                                   | <b>9</b>  |
|   | <b>1.14</b> | <b>Sonido Directo, Reflexiones próximas, Reverberación y Eco</b> | <b>10</b> |
| <br>  |             |  |           |
| <b>Cap. 2 ESTUDIO DE GRABACION</b>  | <b>2.1</b>  | <b>Diseño del Estudio</b>  | <b>12</b> |
|   | <b>2.2</b>  | <b>Ruido</b>   | <b>12</b> |
|   | <b>2.3</b>  | <b>Aislamiento</b>   | <b>14</b> |
|   | <b>2.4</b>  | <b>Estudios de Ejecución</b>                                     | <b>17</b> |
|   | <b>2.5</b>  | <b>Estudios de Producción</b>                                    | <b>19</b> |
|   | <b>2.6</b>  | <b>Estudios de Postproducción</b>                                | <b>19</b> |
| <br>  |             |  |           |
| <b>Cap. 3 EQUIPO</b>  | <b>3.1</b>  | <b>Consolas</b>  | <b>23</b> |
|   | <b>3.2</b>  | <b>Micrófonos</b>  | <b>25</b> |
|   | <b>3.3</b>  | <b>Grabaciones Magnéticas</b>                                    | <b>29</b> |
|   | <b>3.4</b>  | <b>Bocinas y Monitoreo</b>                                       | <b>30</b> |

|               |  |            |   |           |
|---------------|--|------------|---|-----------|
| <b>Cap. 4</b> | <b>PROCESAMIENTO<br/>DE LA SEÑAL<br/>DE AUDIO</b>              | <b>4.1</b> | <b>Procesadores de Espectro</b>                                     | <b>44</b> |
|               |  | <b>4.2</b> | <b>Procesadores de Tiempo</b>                                       | <b>48</b> |
|               |  | <b>4.3</b> | <b>Procesadores de Amplitud</b>                                     | <b>50</b> |
|               |  | <b>4.4</b> | <b>Procesadores de Ruido</b>  | <b>51</b> |
| <b>Cap. 5</b> | <b>AUDIO DIGITAL</b>   | <b>5.1</b> | <b>Conversión Analógica-Digital</b>                                 | <b>55</b> |
|               |  | <b>5.2</b> | <b>Conversión Digital-Analógica</b>                                 | <b>59</b> |
|               |  | <b>5.3</b> | <b>Aplicación Profesional de la Tecnología<br/>de Audio Digital</b> | <b>61</b> |
|               |  | <b>5.4</b> | <b>Grabadoras Digitales de Audio</b>                                | <b>61</b> |
|               |  | <b>5.5</b> | <b>Equipo</b>   | <b>64</b> |
| <b>Cap. 6</b> | <b>POSTPRODUCCION:<br/>EDICION, MEZCLA Y<br/>REGRABACIONES</b> | <b>6.1</b> | <b>Edición</b>  | <b>67</b> |
|               |  | <b>6.2</b> | <b>Mezcla y Regrabación</b>   | <b>69</b> |
| <b>Cap. 7</b> | <b>DISEÑO</b>  | <b>7.1</b> | <b>Ecuaciones de Reverberación</b>                                  | <b>74</b> |
|               |  | <b>7.2</b> | <b>Distancia Crítica</b>  | <b>74</b> |
|               |  | <b>7.3</b> | <b>Factores Importantes</b>   | <b>75</b> |
|               |  | <b>7.4</b> | <b>Diseño</b>   | <b>75</b> |
|               |  | <b>7.5</b> | <b>Cálculos</b>   | <b>76</b> |
|               | <b>Conclusiones</b>  |            |   | <b>80</b> |
|               | <b>Glosario</b>  |            |   | <b>81</b> |
|               | <b>Bibliografía</b>  |            |   | <b>82</b> |

## PREFACIO

La Ingeniería en Audio involucra la aplicación de tecnología eléctrica y acústica en los equipos y sistemas de sonido. Esta disciplina ha evolucionado desde 1876, con la transmisión de señales de voz (Graham Bell), lográndose la comunicación a través de grandes distancias con los inventos de la bocina dinámica (1925, Kellog y Rice) y la amplificación por medio de tubos de vacío (bulbos), perfeccionándose cada vez más los equipos, componentes y sistemas de Audio. En las últimas décadas el uso de procesos digitales ha impulsado un mayor desarrollo en dichas tecnologías, expandiéndose el uso de sistemas de reducción de ruido por medios analógicos y digitales, así como grabaciones digitales.

Para la elaboración de éste análisis en la planeación y producción del Audio se tendrán básicamente tres secciones: I. Principios y estudio del sonido (capítulos 1 y 2), II. Equipo (capítulos 3 y 4) y III. Procesamiento del Audio (capítulos 4, 5 y 6). En el capítulo 7 se propone el diseño de un estudio desde el punto de vista acústico.

## INTRODUCCION

Sin duda alguna el sonido y especialmente la música ejercen una influencia radical en nuestra vida diaria, es por esto que actualmente se presta mucha atención en la producción del Audio. En un esfuerzo mutuo por conseguir alta fidelidad, el diseñador del sonido (músico) y el Ingeniero de Sonido se encuentran en una continua relación en la búsqueda del perfeccionamiento auditivo. El Ingeniero tiene la responsabilidad de hacer muy bueno el material de sonido y el músico tiene la responsabilidad de crear sonidos "interesantes". La producción de Audio es un proceso creativo que requiere del uso de tecnología para su éxito; estamos por lo tanto frente a un problema de considerable complejidad e importancia.

Para la mayoría de nosotros, el sonido es elemental en nuestras vidas. Provee todo tipo de información cognoscitiva, información relacionada a procesos mentales de conocimiento, razonamiento, memoria, percepción e información afectiva; relacionada con emociones, sentimientos y actitudes.

El propósito de éste texto es conjuntar todos los elementos posibles para realizar un análisis del procesamiento, grabación y edición de señales de Audio con la mayor fidelidad posible dentro de un Estudio.

**CONOCIMIENTO DE LOS PRINCIPIOS DE AUDIO, ACUSTICA Y PSICOACUSTICA**

- 1.1 **Diseño del Sonido**
- 1.2 **Componentes de la Estructura del Sonido**
- 1.3 **La Onda de Sonido**
- 1.4 **Frecuencia y Tono**
- 1.5 **Amplitud e Intensidad**
- 1.6 **Frecuencia e Intensidad**
- 1.7 **Principio de Igualdad de Intensidad**
- 1.8 **Encubrimiento**
- 1.9 **Velocidad**
- 1.10 **Longitud de Onda**
- 1.11 **Fase Acústica**
- 1.12 **Evolvente del Sonido**
- 1.13 **Localización del Sonido**
- 1.14 **Dimensión**
- 1.15 **Sonido Directo, Reflexiones Próximas, Reverberación y Eco**

## 1.1 Diseño del Sonido

El Equipo de planeación, producción y edición de Audio está dentro de diversas actividades como la operación en la consola de producción, microfoneo, elaboración y grabación de efectos de sonido, edición y mezcla; de esta forma se deben proveer los medios técnicos necesarios para llevar a cabo todas estas operaciones.

Un aspecto de gran importancia no solo en Audio sino en Video y Radio es la selección adecuada de micrófonos, el lugar de colocación de estos y el uso de recintos acústicos especiales para lograr determinados efectos en la textura del sonido. Desde el personal que selecciona estos micrófonos hasta el personal que realiza las mezclas se ven involucrados de una forma u otra en el diseño del sonido y en el resultado final.

De todos los talentos necesarios en la producción de Audio el de mayor importancia es el tener la habilidad de percepción para darle la forma al sonido de lo que se quiere escuchar. Básicamente se requiere : \* La habilidad de escuchar ; \* Comprensión de los efectos fundamentales de sonido en la comunicación humana. Cualquier individuo relacionado en la producción de Audio debe ser sensible a todo tipo de sonidos, agradables o desagradables, significantes o insignificantes, bien producidos o mal producidos; es decir, percibir en toda su extensión el fenómeno de estímulos auditivos, pensando en cada sonido, analizando su calidad, interpretación, la fuente que lo produjo, todos sus componentes, su relación con el medio que lo rodea y el efecto en los sentimientos y actitudes que produce.

## 1.2 Componentes de la Estructura del Sonido

Los elementos más significantes del sonido son: Tono, Volumen, Timbre, Tiempo, Duración, Acceso y Decaimiento. El Tono nos proporciona la característica de agudos o graves del sonido; el Volumen nos describe el sonido en términos de intensidad o debilidad; el Timbre o Color del Tono es la característica de calidad de un sonido; el Tiempo se refiere a la velocidad del sonido generado; el Ritmo describe un patrón de tiempo que puede ser: simple, constante, complejo o cambiante; la Duración se refiere a que tanto permanece el sonido; el Acceso es el modo en que inicia un sonido (repentinamente, suavemente o gradualmente); el Decaimiento es el tiempo en el cual se extingue un sonido de cierta intensidad.

Por supuesto, todos estos elementos no actúan en forma individual sino en continua combinación y cambios que producen efectos en la respuesta final.



### 1.3 La Onda de Sonido

Las ondas de sonido son disturbios provocados por vibraciones que involucran el movimiento de moléculas que transmiten energía de un lugar a otro. Lo que hace posible la transmisión del sonido es el aire o en forma más precisa un medio molecular con la propiedad de elasticidad. Cuando un objeto o materia que vibra continuamente comprime las moléculas cercanas a él, se incrementa la presión. La compresión continúa hasta que las moléculas desplazan totalmente a las moléculas contiguas produciendo una cresta en la onda de sonido.

Las componentes que hacen posible una onda de sonido son: Frecuencia, Amplitud, Velocidad, Longitud de Onda y Fase.

### 1.4 Frecuencia y Tono

El número de ciclos que una vibración completa durante un segundo es conocido como frecuencia. Cada vibración tiene una frecuencia, y generalmente el oído percibe frecuencias desde 20 Hz. hasta 16000 Hz. Psicológicamente percibimos la frecuencia como tonos (agudos o graves). El rango de frecuencias audibles o espectro de frecuencias de sonido puede dividirse en secciones; las divisiones utilizadas en la música occidental son las octavas, una de estas es el intervalo entre dos frecuencias cuya proporción es de dos a uno. El rango de percepción del oído humano es aproximadamente de 10 octavas. La primera octava es de 20 Hz. a 40 Hz., la segunda es de 40 Hz. a 80 Hz., la tercera es de 80 Hz. a 160 Hz. y así sucesivamente. Las octavas se agrupan en Bajos (graves), Medios Rangos y Agudos; y a su vez se pueden clasificar en:

- a) Graves Bajos: Primera y segunda octavas (20-80 Hz.), éstas frecuencias están asociadas con potencia, rayos o explosiones y se pierden aparentemente al mantenerse constantes.
- b) Graves Altos: Tercera y cuarta octavas (80-320 Hz.), éstas frecuencias establecen un balance en la estructura musical.
- c) Medios Rangos: Quinta, sexta y séptima octavas (320- 2560 Hz.), Los Medios Rangos proveen al sonido su intensidad y contienen las armónicas más notables del sonido (múltiplos de la frecuencia fundamental).
- d) Medios Rangos Altos: Octava 8 (2560-5120 Hz.), el oído es mucho más sensible a las frecuencias de la octava número 8, a este rango se le conoce como rango de presencia.
- e) Agudos: Novena y Décima octavas (5120-20000 Hz.), a pesar de que la novena y décima octavas generan solo el 2% de la potencia total de salida en el espectro de frecuencias del sonido, su sonido provee características vitales de calidad y brillantez.

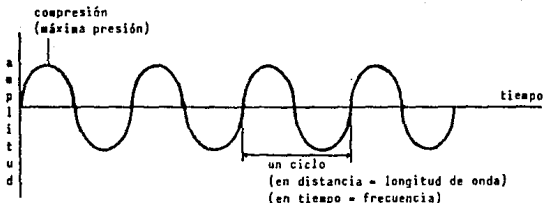


Fig. 1.1 Componentes de una Onda de Sonido

### 1.5 Amplitud e Intensidad

El número de moléculas en movimiento y por lo tanto el tamaño de la onda es llamado Amplitud, la cual percibimos como un sonido muy intenso o débil.

La presión acústica se mide en términos de niveles sonoros de presión (dB-SPL) ya que existen variaciones periódicas en la presión atmosférica cuando una onda de sonido viaja. El ser humano puede percibir desde 0 dB-SPL (umbral del oído) hasta 120 dB-SPL. La referencia estándar del nivel de presión es  $1 \text{ dyn/cm}^2$ , ó  $0.00002 \text{ N/m}^2$

$$0 \text{ dB-SPL} = 0.0002 \text{ bar} = 0.00002 \text{ N/m}^2$$

$$\text{dB-SPL} = 20 \text{ Log} \frac{\text{Presión (pasc.)}}{20 \text{ Pa}}$$

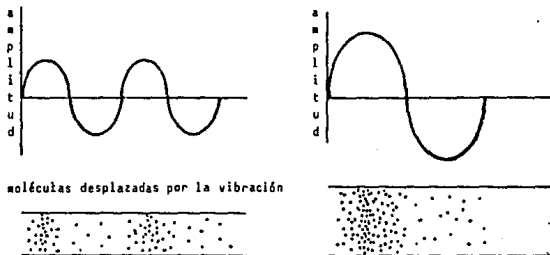


Fig. 1.2 Amplitud del Sonido

En una onda de sonido viajando se requiere energía para desplazar las partículas de aire; estas deben ser empujadas o jaladas en contra de la elasticidad del aire, causando los incrementos y decrementos de presión. Aumentando el desplazamiento al doble, la presión cambia, y esto requiere el doble de fuerza. Mientras el trabajo hecho es el producto de la fuerza por la distancia y ambos aumentan al doble, la energía en la onda de sonido es por tanto proporcional al cuadrado de la amplitud del desplazamiento de la partícula o en términos más prácticos al cuadrado de la amplitud del sonido.

La energía de una fuente sonora es comúnmente descrita en términos de flujo a través de una superficie imaginaria. La energía sonora transmitida por unidad de tiempo es llamada Potencia del Sonido. La potencia que pasa a través de un área unitaria de superficie perpendicular a una dirección específica es llamada Intensidad de Sonido (también es proporcional al cuadrado de la amplitud del sonido).

| Fuente de Sonido           | Nivel de Presión<br>dB-SPL | Intensidad<br>W/m <sup>2</sup> | Reacción<br>al escuchar |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Naves Espaciales           | 180                        |                                |                         |
|                            | 170                        |                                |                         |
| Jets                       | 160                        | 10 <sup>3</sup>                | Daño Inmediato          |
|                            | 150                        |                                |                         |
| Aeropuerto                 | 140                        | 1                              | Dolor                   |
|                            | 130                        |                                |                         |
| Truenos                    | 120                        | 10 <sup>-2</sup>               | Molestia                |
| Música de Rock Amplificada | 110                        |                                |                         |
| Subterráneos               | 100                        | 10 <sup>-3</sup>               | Exaltación              |
| Tráfico de Ciudad          | 90                         |                                |                         |
| Orquesta                   | 80                         | 10 <sup>-4</sup>               | Agradable               |
| Guitarra Acústica          | 70                         |                                |                         |
| Conversación               | 60                         | 10 <sup>-5</sup>               | Audible                 |
| Oficina                    | 50                         |                                |                         |
| Librería                   | 40                         | 10 <sup>-6</sup>               | Umbral                  |
| Auditorio vacío            | 30                         |                                |                         |
| Estudio de Grabación       | 20                         | 10 <sup>-7</sup>               | Inaudible               |
| Respiración                | 10                         |                                |                         |
|                            | 0                          |                                |                         |

Fig. 1.3 Niveles Sonoros de Presión de varias Fuentes de Sonido

## 1.6 Frecuencia e Intensidad

Así como el tono se incrementa cuando la frecuencia aumenta, la intensidad aumenta cuando la amplitud crece. Frecuencia y amplitud también están continuamente relacionadas; variando la frecuencia del sonido se ve afectada nuestra percepción de la intensidad y variando la amplitud del sonido se ve afectada la percepción del tono.

## 1.7 Principio de Igualdad de Intensidad

La respuesta del oído humano no es sensiblemente igual para todas las frecuencias audibles. Dependiendo de la intensidad nosotros escuchamos bajas y altas frecuencias en forma distinta a las frecuencias de medios rangos. De hecho, el oído es relativamente insensible a bajas frecuencias en bajos niveles.

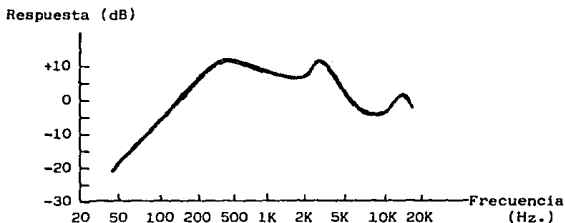


Fig. 1.4 Respuesta del oído humano a varias frecuencias

## 1.8 Encubrimiento

Otra respuesta dependiente de la relación entre intensidad y frecuencia es el Encubrimiento (Masking), el cual se presenta cuando dos sonidos (uno fuerte y otro débil) con diferentes frecuencias vibran simultáneamente. Las altas frecuencias son más fáciles de encubrir que las bajas frecuencias. El efecto de encubrimiento es mayor cuando las frecuencias son cercanas y es menor conforme las frecuencias se separan. En este fenómeno se aplica la equalización para compensar los efectos del encubrimiento.

## 1.9 Velocidad

A pesar de que la frecuencia y amplitud son las componentes físicas más importantes en una onda de sonido, la velocidad del sonido debe tomarse en cuenta. Comúnmente la velocidad tiene poco impacto en el tono e intensidad y es relativamente constante en el medio: el sonido viaja a 1130 pies/seg. al nivel del mar, a 70 °F.

La velocidad cambia significativamente a muy bajas o muy altas temperaturas, incrementándose en el aire caliente y decreciendo en aire frío. Por cada cambio de 1 °F la velocidad del sonido cambia 1.1 pies/seg.

## 1.10 Longitud de Onda

Cada frecuencia posee su longitud de onda determinada por la distancia en la que la onda viajera completa un ciclo de compresión y rarefacción. La forma de obtener la longitud de onda es dividiendo la velocidad del sonido entre su frecuencia:

$$\lambda = v/f$$

| Frecuencia (Hz.) | Longitud de Onda |
|------------------|------------------|
| 20               | 56.5 pies        |
| 31.5             | 35.8 "           |
| 63               | 17.9 "           |
| 125              | 9.0 "            |
| 250              | 4.5 "            |
| 440              | 2.5 "            |
| 500              | 2.2 "            |
| 880              | 1.2 "            |
| 1000             | 1.1 "            |
| 2000             | 6.7 pulg.        |
| 4000             | 3.3 "            |
| 6000             | 2.2 "            |
| 8000             | 1.6 "            |
| 10000            | 1.3 "            |
| 12000            | 1.1 "            |
| 16000            | .07 "            |

Fig. 1.5 Frecuencias y sus Longitudes de Onda

## 1.11 Fase Acústica

La fase se refiere a la relación de tiempo entre dos o más ondas de sonido en un punto determinado. Dos ondas están en fase cuando

existen 0 ° de diferencia entre ellas; si las ondas tienen un desfaseamiento de 180 ° y poseen la misma frecuencia, sus amplitudes se cancelan.

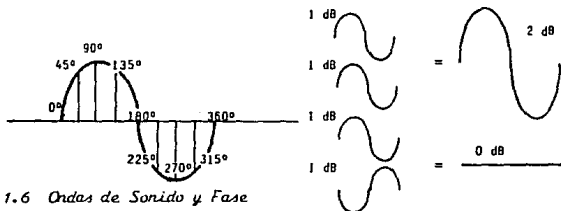


Fig. 1.6 Ondas de Sonido y Fase

### 1.12 Evolvente del Sonido

Otro factor que influye en el timbre del sonido es su forma o evolvente, la cual se refiere a los cambios de intensidad en el tiempo. La evolvente del sonido puede dividirse en cuatro estados:

- 1) Acceso; 2) Decaimiento inicial; 3) Permanencia y 4) Escape (ADSR).

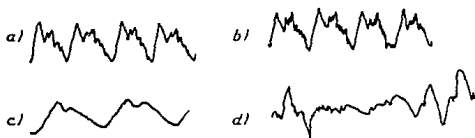


Fig. 1.7 Formas de Onda de diferentes sonidos musicales y Ruido  
 a) Tono de Do de Piano    b) Tono de Do de un Clarinete  
 c) Tono de Do de Oboe    d) Ruido

En la presentación de conciertos en San Marcos, Venecia (Italia), los músicos son situados en puntos específicos dependiendo de la música que van a interpretar. Esto se realiza para aprovechar la peculiaridad del sonido en diferentes partes del recinto; en algunos lugares se genera mayor reflexión del sonido enriqueciéndolo y en otras se producen pocas reflexiones generando sonidos más sutiles y delicados. Los principios de estos fenómenos se basan en Acústica- El estudio objetivo del comportamiento físico del sonido recibido y Psicoacústica- El efecto subjetivo del sonido en quien lo percibe. Es necesario el conocimiento de esto para comprender su influencia

en nuestra percepción bi-auditiva, dispersión del sonido, formas del sonido y diseño de recintos de Audio.

Ambos oídos son anatómicamente y funcionalmente similares, cada uno provee información de tono, intensidad y timbre; el uso de un solo oído afecta la percepción de dos elementos esenciales del sonido: Localización y Dimensión.

### 1.13 Localización del Sonido

Si nos encontramos en una fiesta en donde la gente conversa, se interpreta música y suenan platos u otros ruidos, nuestra percepción bi-auditiva hace posible que centremos nuestra atención en una determinada conversación o sonido gracias a dos factores: 1) La percepción de la intensidad del sonido y 2) La diferencia en que los sonidos llegan al tiempo hasta nuestros oídos.

Otro aspecto de importancia es el hecho de que las altas frecuencias (longitudes de onda pequeñas) son más direccionales y fáciles de localizar que las bajas frecuencias (grandes longitudes de onda). Entre frecuencias de 1000 Hz. y 5000 Hz. es difícil localizar de donde proviene el sonido.

Cuando un sonido es emitido en un lugar reflectante, el sonido directo llega a nuestros oídos antes de interactuar con otras superficies. Cuando los sonidos reflejados alcanzan al oído en aproximadamente 10 a 20 mseg. el oído no distingue la diferencia entre la fuente original y las reflexiones, esto se conoce como fusión temporal. Esto va desapareciendo hasta tiempos de 30 a 50 mseg., donde ya podemos distinguir las reflexiones. Cuando estos tiempos son mayores de 50 mseg. las repeticiones del sonido se escuchan como Eco.

### 1.14 Dimensión

La relación entre el tiempo de llegada y la intensidad del sonido llegando a nuestros oídos también afecta la profundidad y amplitud del sonido. Lo que crea esta percepción es el efecto combinado de la diferencia de intensidad entre las ondas directas del sonido y las ondas reflejadas.



Fig. 1.8 Anatomía de la Reverberación en un Espacio Cerrado

### 1.15 Sonido Directo, Reflexiones Próximas, Reverberación y Eco

El "ciclo de vida" acústico de una onda de sonido puede dividirse en tres componentes: Ondas Directas, Reflexiones Próximas (10-30 mseg.) y Reflexiones Tardías (Reverberación; 30-50 mseg.). Estos estados proveen información subjetiva del tamaño del recinto, así como de las propiedades de reflexión de los materiales del recinto.

Existen cinco condiciones acústicas básicas que muestran la relación entre la Reverberación y el tiempo de Decaimiento:

1. Reverberación considerable y largo tiempo de decaimiento - salas de concierto, castillos, gimnasios o Iglesias.
2. Reverberación considerable y corto tiempo de decaimiento - áreas de oficina o baños.
3. Poca Reverberación y tiempo medio de decaimiento - salas de conferencia.
4. Poca Reverberación y corto tiempo de decaimiento - estudios de Radio, closets.
5. Cero Reverberación - campos abiertos al aire libre, cámaras anecoicas (eco y reverberación libre)

Si el intervalo de tiempo alcanza los 50 mseg. se perciben repeticiones llamadas Eco. Puesto que el Eco disminuye la claridad del sonido, los Estudios y Salas de Concierto se diseñan para eliminar este efecto. En ocasiones se requiere de algunos efectos de Reverberación en Estudios con poca reflexión o nula, para lo cual se utilizan dispositivos Electrónicos y Acústicos que proveen los efectos apropiados.

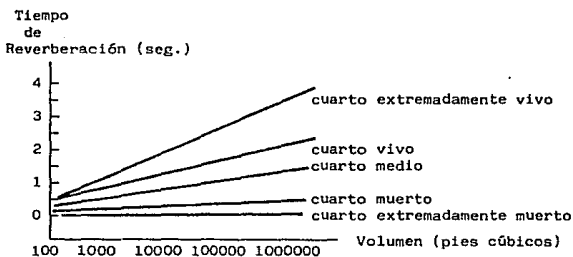


Fig. 1.9 Viveza de Recintos de acuerdo al Tiempo de Reverberación y las Dimensiones del lugar



## 2

### ESTUDIO DE GRABACION

- 2.1 Diseño del Estudio
- 2.2 Ruido
- 2.3 Aislamiento
- 2.4 Estudios de Ejecución
- 2.5 Estudios de Producción
- 2.6 Estudios de Postproducción

## 2.1 Diseño del Estudio

Teniendo la idea del comportamiento del sonido en medios acústicos y su influencia en la percepción auditiva debemos considerar los factores que influyen en estos fenómenos a fin de calcular tiempos óptimos de reverberación en recintos de producción. Estos factores son: 1. Aislamiento del sonido exterior e interior en el recinto, 2. Las dimensiones del recinto, 3. La forma del recinto, 4. Materiales de construcción del Estudio y 5. Características Acústicas. Estos 5 factores están directamente relacionados con un punto de gran relevancia: Ruido.

## 2.2 Ruido

El Ruido (sonidos indeseables) es el enemigo número uno en la producción del Audio. El Ruido se encuentra en cualquier lugar; tráfico, aviones, rayos, lluvia, gente conversando, estéreos, ventiladores, sistemas de luz e inclusive en nuestro sistema nervioso y circulatorio, así como en los mismos equipos de Audio. Por esta razón forma parte de nosotros y no puede ser totalmente eliminado. Sin embargo, existen niveles tolerables que permiten la producción de sonidos deseados. Se han desarrollado Criterios de Ruido (NC) que identifican en base a ciertos parámetros los niveles de Ruido de Fondo (o niveles de Ruido Ambiental).

En Audio el "Ruido Blanco" es aquel que se presenta desde los 20 Hz. hasta los 20 kHz. en forma aleatoria. El "Ruido Rosa" abarca las mismas frecuencias pero presenta Amplitud constante.

Los Sistemas más profesionales de Audio tienen relaciones de Señal-Ruido (S/N) de 55 a 1, esto significa 55 dB de señal cuando el Sistema genera 1 dB de Ruido.

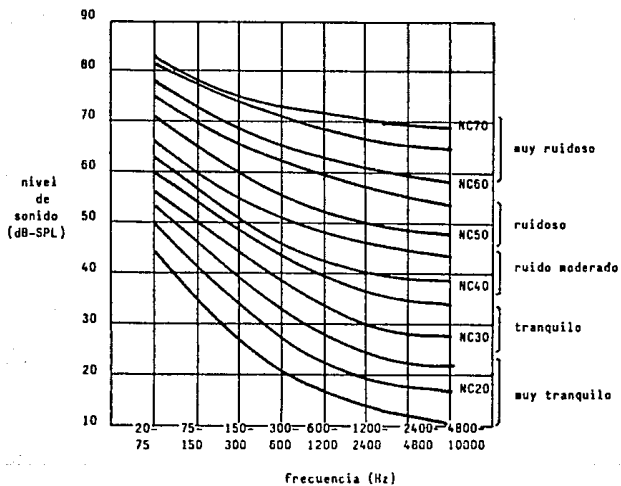


Fig. 2.1 Curvas de Criterio de Ruido (NC)

| Tipo de Recinto       | Curva Recomendada | dB    |
|-----------------------|-------------------|-------|
| Estudios de Grabación | NC 15-25          | 25-35 |
| Salas de Concierto    | NC 20             | 30    |
| Teatros               | NC 20-25          | 30-35 |
| Salones para Baile    | NC 30             | 40    |
| Estadios              | NC 50             | 60    |

*Fig. 2.2 Niveles recomendados de Criterios de Ruido para Recintos Específicos*

### 2.3 Aislamiento

Los Estudios de Sonido deben aislarse para prevenir el ruido exterior y mantener niveles de intensidad de sonido generados dentro del mismo Estudio; esto se realiza en dos formas: 1. Determinando el nivel sonoro mayor del exterior comparándolo con el criterio de ruido mínimo aceptable dentro del Estudio, que usualmente se encuentra dentro del NC15 y 25 (aproximadamente 25-35 dBA) dependiendo del tipo de sonido para el cual fué diseñado el Estudio; y 2. Determinando el nivel mayor de sonido dentro del Estudio comparado con el máximo ruido de piso aceptable exterior. Por ejemplo, asumiendo al ruido máximo medido fuera del Estudio como 90 dB-SPL y al nivel máximo aceptable de ruido dentro del estudio en 30 dB-SPL, digamos a 500 Hz. (estos valores dependen de la frecuencia, sin embargo, generalmente se basan en 500 Hz.), esto significa que la construcción del Estudio debe reducir la intensidad del nivel exterior de sonido en 60 dB.

La pérdida de transmisión (TL) es una medida de la reducción del sonido provocada por un obstáculo (paredes, pisos o techos). Este valor dá una medida llamada Clase de Transmisión de Sonido (STC).

Las dimensiones de un Estudio (altura, ancho y longitud), no deben ser iguales o múltiplos exactos de alguna de las otras dimensiones y en un momento dado pueden reforzarse algunas frecuencias, dándole color al sonido. La forma del Estudio debe ser irregular para ayudar a romper el sonido, eliminando ecos indeseados, ondas estacionarias y pobre difusión del sonido.

La Resonancia, otro factor importante en el diseño de estudios, resulta cuando un cuerpo que vibra con la misma frecuencia natural de otro provoca que se generen vibraciones simpáticas que incrementan la amplitud de ambos a determinadas frecuencias, si las variables se encuentran en fase acústica.

Cuando un sonido llega a una superficie se refleja, absorbe o se absorbe parcialmente y refleja ciertas porciones de onda. La cantidad de energía indirecta de sonido absorbida está dada en un parámetro acústico llamado Coeficiente de Absorción de Sonido. Existen tres clasificaciones de materiales acústicos: Absorbedores puros, absorbedores de diafragma y resonadores de Helmholtz.

Para hacer más funcionales , muchos Estudios son diseñados con paneles móviles, paredes con desplazamientos, etc. para alterar la difusión, absorción y tiempo de reverberación.

|   | Altura | Ancho | Longitud |
|---|--------|-------|----------|
| a | 1.0    | 1.14  | 1.39     |
| b | 1.0    | 1.28  | 1.54     |
| c | 1.0    | 1.50  | 2.40     |
| d | 1.0    | 1.80  | 2.10     |

*Fig. 2.3 Parámetros utilizados es Estudios*

|   | Altura | Ancho     | Longitud  |
|---|--------|-----------|-----------|
| a | 9 pies | 10.1 pies | 12.5 pies |
| b | 9 "    | 11.5 "    | 13.8 "    |
| c | 9 "    | 13.5 "    | 21.6 "    |
| d | 9 "    | 16.2 "    | 18.9 "    |
| a | 10 "   | 11.4 "    | 13.9 "    |
| b | 10 "   | 12.8 "    | 15.4 "    |
| c | 10 "   | 15.0 "    | 24.0 "    |
| d | 10 "   | 18.0 "    | 21.0 "    |
| a | 15 "   | 17.1 "    | 20.8 "    |
| b | 15 "   | 19.2 "    | 23.1 "    |
| c | 15 "   | 22.5 "    | 36.0 "    |
| d | 15 "   | 27.0 "    | 31.5 "    |

*Fig. 2.4 Dimensiones usadas comúnmente en Estudios, utilizando los parámetros de la figura 2.3*

| Materiales  | Coeficientes |        |        |         |         |         |
|---|--------------|--------|--------|---------|---------|---------|
|   | 125 Hz       | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz |
| Yeso acústico (Zonolite)  |              |        |        |         |         |         |
| ½ pulg.   | 0.31         | 0.32   | 0.52   | 0.81    | 0.88    | 0.84    |
| 1 pulg.   | 0.25         | 0.45   | 0.78   | 0.92    | 0.89    | 0.87    |
| Acoustile, arcillas con cubierta de fibra de vidrio de 1 lb/pie de densidad | 0.26         | 0.57   | 0.63   | 0.96    | 0.44    | 0.56    |
| Ladrillo  | 0.03         | 0.03   | 0.03   | 0.04    | 0.05    | 0.07    |
| Concreto  |              |        |        |         |         |         |
| ordinario   | 0.36         | 0.44   | 0.31   | 0.29    | 0.39    | 0.25    |
| pintado   | 0.10         | 0.05   | 0.06   | 0.07    | 0.09    | 0.08    |
| Fibras de vidrio  |              |        |        |         |         |         |
| AF100, 1 pulg.  | 0.07         | 0.23   | 0.42   | 0.77    | 0.73    | 0.70    |
| AF100, 2 pulg.  | 0.19         | 0.51   | 0.79   | 0.92    | 0.82    | 0.78    |
| AF530, 1 pulg.  | 0.09         | 0.25   | 0.60   | 0.81    | 0.75    | 0.74    |
| AF530, 2 pulg.  | 0.20         | 0.56   | 0.89   | 0.93    | 0.84    | 0.80    |
| AF530, 4 pulg.  | 0.39         | 0.91   | 0.99   | 0.98    | 0.93    | 0.88    |
| Pisos   |              |        |        |         |         |         |
| concreto o terrazo  | 0.01         | 0.01   | 0.015  | 0.02    | 0.02    | 0.02    |
| linoleum, asfalto, caucho o corcho en madera                                | 0.02         | 0.03   | 0.03   | 0.03    | 0.03    | 0.02    |
| madera  | 0.15         | 0.11   | 0.10   | 0.07    | 0.06    | 0.07    |
| Espumas   |              |        |        |         |         |         |
| sonex, 2 pulg.  | 0.08         | 0.25   | 0.61   | 0.92    | 0.95    | 0.92    |
| sonex, 3 pulg.  | 0.14         | 0.43   | 0.98   | 1.03    | 1.00    | 1.00    |
| sonex, 4 pulg.  | 0.2          | 0.7    | 1.06   | 1.01    | 1.01    | 1.00    |
| Geoacoustic, vidrio celular de 2 pulg.                                      | 0.13         | 0.74   | 2.35   | 2.53    | 2.03    | 1.73    |
| Vidrio ordinario  | 0.35         | 0.25   | 0.18   | 0.12    | 0.07    | 0.04    |
| Páneles de triplay, ½ pulg.   | 0.28         | 0.22   | 0.17   | 0.09    | 0.10    | 0.11    |
| Rockwool  |              |        |        |         |         |         |
| 2 pulg. y con asbestos  | 0.23         | 0.53   | 0.99   | 0.91    | 0.62    | 0.84    |
| 4 pulg.   | 0.28         | 0.59   | 0.88   | 0.88    | 0.88    | 0.72    |
| 4 pulg. y con asbestos  | 0.50         | 0.88   | 0.99   | 0.75    | 0.56    | 0.45    |
| Spinacoustic  | 0.45         | 0.77   | 0.99   | 0.99    | 0.91    | 0.78    |
| Asbestos espumosos, 3/4 pulg.   | 0.08         | 0.19   | 0.70   | 0.89    | 0.95    | 0.85    |
| Velour  |              |        |        |         |         |         |
| suave   | 0.03         | 0.04   | 0.11   | 0.17    | 0.24    | 0.35    |
| medio   | 0.07         | 0.31   | 0.49   | 0.75    | 0.70    | 0.60    |
| pesado  | 0.14         | 0.35   | 0.55   | 0.72    | 0.70    | 0.65    |

Fig. 2.5 Coeficientes de Absorción de Sonido de Materiales de Construcción Acústicos

Hoy en día los Estudios de Sonido son los lugares en los que el Audio es creado, producido, procesado y grabado. Los avances tecnológicos no solo hacen posible la producción de alta calidad y sonido asistido por computadora, sino que también impulsa el desarrollo del proceso de Postproducción como una parte muy importante en el proceso de Producción. Esto conlleva la evolución de salas de control de producción, salas de Postproducción y equipos portátiles (Estudios móviles). Los Estudios de Sonido se vuelven cada vez más especializados y pueden ser clasificados en dos ramas básicas: Ejecución y Producción.

## 2.4 Estudios de Ejecución

Los Estudios de Ejecución son aquellos en los que se desarrolla el talento y contienen micrófonos, luces, cámaras, altavoces, instrumentos acústicos y electrónicos, escenarios; dependiendo de la función del Estudio.

### Radio

En el Radio el Estudio generalmente combina la sala de control con la de producción o en su defecto se genera el Audio en una sala contigua a la sala de control separadas por cristal.

### Televisión

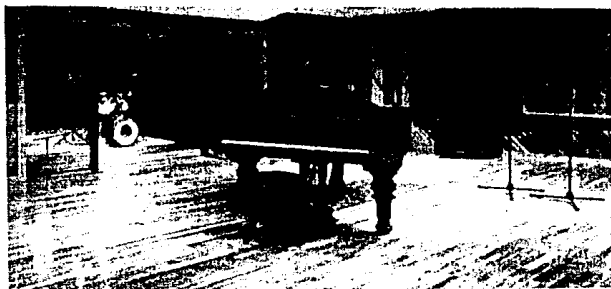
En televisión el Estudio y la sala de control pueden estar separadas por algún piso e inclusive algún edificio.

### Música

Generalmente el Estudio y la sala de control están separadas por algún cristal estableciéndose comunicación entre las dos secciones por medio de sistemas de microfonos. En ocasiones se aíslan secciones para batería o vocalistas a fin de evitar que se introduzcan los sonidos de instrumentos en micrófonos para vocalistas.

### Estudios de Música Electrónica

El uso de sintetizadores en la Música Electrónica requiere de técnica considerable e instrucción para su desarrollo. En conjunción con las computadoras, las posibilidades del sonido de sintetizadores es ilimitada. Este desarrollo es llamado Interfase Digital de Instrumentos Musicales (MIDI).



*Fig. 2.6 Estudio de Ejecución*



## 2.5 Estudios de Producción

Los Estudios de Producción de Audio contienen la mayoría del Equipo necesario para preparar el material de Sonido. Los arreglos y complejidad del Equipo en los estudios de Producción varían de acuerdo a sus funciones, pero básicamente el equipo más importante incluye:

- \*Micrófonos - Dispositivo básico transductor que cambia la energía del sonido en energía eléctrica.
- \*Tornamesa - Dispositivo de Audio profesional que cambia la energía mecánica del movimiento del disco en energía eléctrica.
- \*Compact Disc - Utiliza el laser para leer información del disco en forma digital.
- \*Tocacintas - Dispositivo Analógico o Digital que ejecuta o graba información de acuerdo a la energía magnética almacenada en la cinta.
- \*Consola - Dispositivo al cual llegan las señales de micrófonos, Compact Disc, Tornamesa, Grabadoras, etc; amplificándolas, balanceándolas, mezclándolas y encausándolas al sistema de grabación.
- \*Procesadores de Señal - Dispositivos que cambian la onda de sonido, tiempo o cantidad de señal. Los más comunes son: Ecuilizador, Compresor y Reverberador.
- \*Bocinas - Convierte la señal eléctrica en sonido.
- \*Audífonos - Pequeñas bocinas que aíslan el sonido de alguna fuente.
- \*Panel de Conexiones - Redistribuye las entradas y salidas de componentes de Audio, facilitando las rutas de las señales.

## 2.6 Estudios de Postproducción

Los Estudios de Postproducción ensamblan los materiales grabados durante la Producción, editando y mezclando señales dando lugar al Audio Final. Los avances recientes en tecnología digital, codificación, sincronización, sintetizadores, interfases de computadora ; ayudan al desarrollo de la Postproducción.

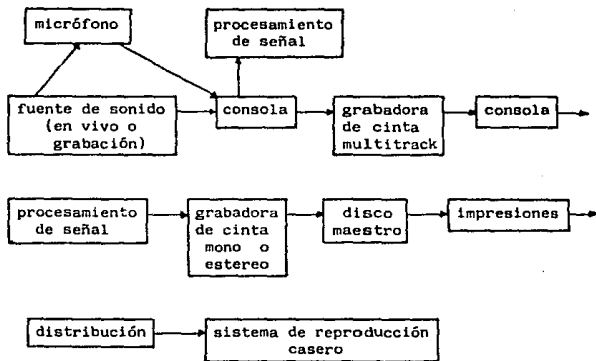
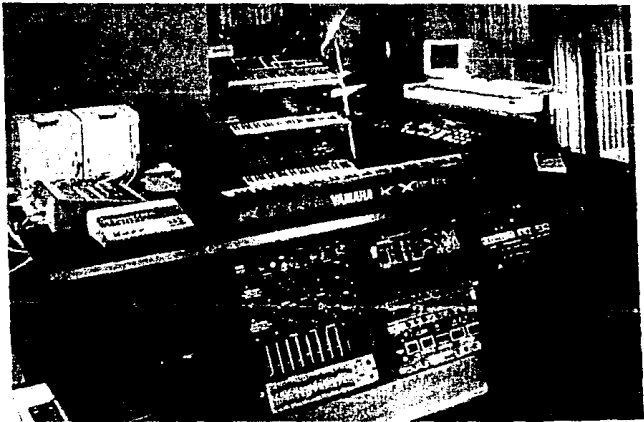


Fig. 2.7 Grabado de Disco y cambio en la Reproducción



*Fig. 2.8 Estudio de Producción con M707*

### **3**

## **EQUIPO**

**3.1 Consolas**

**3.2 Micrófonos**

**3.3 Grabaciones Magnéticas**

**3.4 Bocinas y Monitoreo**

### 3.1 Consolas

Si el cuarto de control puede considerarse el corazón de un estudio de sonido, la consola de mezcla es el centro nervioso. A la consola llegan las señales de micrófonos, compact disc, instrumentos eléctricos y electrónicos, tocacintas, tornamesas, etc. y son amplificadas, balanceadas, monitoreadas y encausadas a dispositivos de grabación.

La consola puede tener funciones adicionales como equalización, énfasis del sonido en alguna bocina de un sistema estereo, reverberación, compresión y procesamiento de señales digitales. La consola funciona con dos características básicas de diseño: 1- Opera con tres sistemas fundamentales: Entrada, Salida y Monitores; 2- Estos sistemas funcionan de acuerdo a flujos de señal preestablecidos.

Las consolas se especifican comúnmente por el número de entradas y salidas; por ejemplo, una consola de 6X1 posee 6 entradas y una salida, existen consolas de 6X2 e inclusive 32X32 que poseen una amplia gama para sonido estereo y distintas configuraciones de entrada/salida. Algunas consolas tienen tres números de especificación como 24X8X2, lo cual indica 24 entradas, 8 submasters (para mezcla antes de la salida maestra) y 2 salidas maestras.

#### ~ Sección de Entrada

La sección de entrada toma las distintas señales y las manda a los sistemas de monitoreo y salida. Un módulo sencillo de entrada consiste en un conector de entrada, un amplificador para aumentar el nivel de señal de entrada y un control de volumen. Sin embargo, puede tener otras funciones como espectros de potencia para micrófonos que requieren de voltaje para su operación, equalización, reverberación, selección de canales, filtros, reversiones de fase, sistemas de eco, selectores, pausa y sistemas de medición.

#### ~ Sección de Salida

La sección de salida encausa las señales de la consola a sistemas de grabación o controles maestros. Esto incluye una red que combina las señales de la sección de entrada, controles de volumen para submasters y controles maestros que regulan el nivel de toda la salida, reverberadores, eco, selectores y sistemas de medición.

#### ~ Sección de Monitoreo

La sección de monitoreo controla lo que se escucha en las bocinas de monitores y audífonos. Comúnmente incluye un mezclador monitor, mezclador para audífonos, controles de volumen y sistemas de medición de volumen (VU).

La segunda generación de consolas de producción son llamadas "en línea" o consolas I/O debido a que las funciones de entrada y salida se encuentran verticalmente en línea y están combinadas en cada canal. Estas consolas consisten de entradas y salidas (I/O), control de monitoreo y módulos de comunicación.

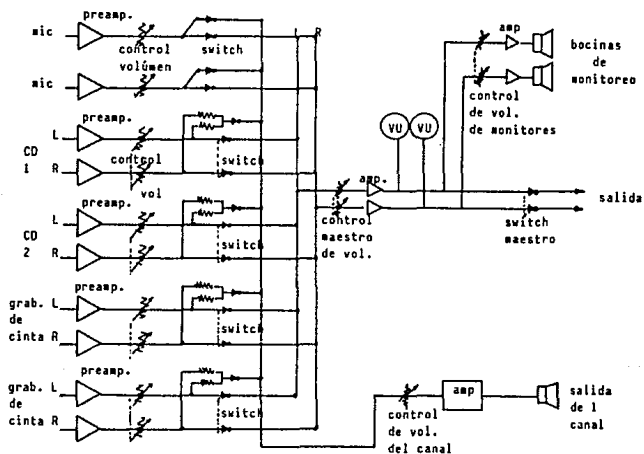


Fig. 3.1 Diagrama de bloques de una Consola Estereo 6X2

El Amplificador de Voltaje Controlado (VCA) hace posible automatizar las funciones de regulación de nivel facilitando la codificación y decodificación posicional de información mientras se realizan ajustes de nivel.

Todas las funciones de la consola pueden ser asistidas por una computadora, la cual maneja toda la información en un procesador central a través de un teclado y un monitor CRT.

La generación más reciente de consolas de producción son las llamadas consolas Asignables. Además de controles individuales para cada canal, estas funciones se centralizan en cursos preestablecidos que pueden ser asignados a algún canal específico. Una vez asignados los comandos se almacenan en la computadora de la consola de tal forma que se pueden asignar distintas funciones a otros canales. No existen módulos de entrada y salida en el sentido convencional.

### 3.2 Micrófonos

El Audio es posible gracias al uso de los micrófonos; estos convierten la energía acústica en energía eléctrica. En general existen cinco tipos de micrófonos:

- 1) Dinámicos
- 2) de Carbón
- 3) Capacitivos
- 4) de Filamento
- 5) Piezoeléctricos (cerámicos o de cristal)

#### - Micrófonos de Alta y Baja Impedancia

Luego de haber cambiado la energía acústica en eléctrica, esta circula a través del circuito como corriente, la resistencia que encuentra la corriente es conocida como Impedancia; menor Resistencia implica baja Impedancia.

Los micrófonos de baja Impedancia tienen dos ventajas sobre los micrófonos de alta Impedancia: \* Son mucho menos susceptibles al "Hum" y al ruido eléctrico, así como estática de motores y luces fluorescentes; \* Pueden ser conectados en largos cables sin incremento de Ruido. Debido a esto se utilizan a nivel profesional.

De los micrófonos de baja Impedancia (dinámicos, de carbón y capacitivos) los más utilizados son los dinámicos. En estos el elemento transductor consiste en un cable colocado en un diafragma suspendido en un campo magnético. Cuando el sonido mueve el diafragma, este mueve el cable en el campo magnético, induciéndose un voltaje proporcional a la fuente sonora.

En micrófonos de filamento el diafragma está formado por una fina placa de metal suspendida en un fuerte campo magnético. Conforme el sonido hace vibrar el diafragma, se genera un voltaje proporcional a la fuente de sonido.

El micrófono capacitivo funciona como un transductor de variaciones electrostáticas de voltaje, variando la distancia entre dos placas paralelas una de las cuales es el diafragma. La señal de salida tiene una alta impedancia y requiere de un preamplificador y una fuente de poder.

El funcionamiento de un micrófono de carbón depende de las variaciones de resistencia en los contactos de carbón. El movimiento del diafragma (comúnmente aluminio) produce variaciones en la presión ejercida a los gránulos de carbón; esto provoca variaciones en la resistencia eléctrica. Para pequeños desplazamientos, la variación en la resistencia es proporcional al desplazamiento. Comúnmente estos micrófonos se utilizan en telefonía.

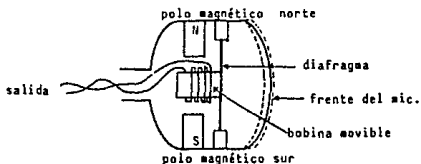


Fig. 3.2 a) Micrófono Dinámico

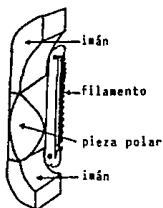


Fig. 3.2 b) Micrófono de Filamento

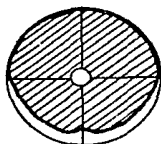


Los micrófonos piezoeléctricos contienen un elemento transductor que genera un voltaje de acuerdo a la deformación mecánica que sufre el material. Estos micrófonos son los llamados cerámicos o de cristal, los cuales poseen una buena respuesta en frecuencia y son relativamente baratos.

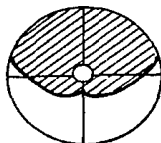
~ Características Direccionales

Un papel fundamental de los micrófonos de alta calidad es su direccionalidad (distancias y direcciones en las cuales el micrófono percibe el sonido), dependiendo del diseño, un micrófono puede captar el sonido de:

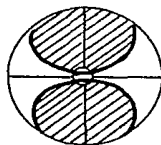
- todas direcciones (Omnidireccional)
- del frente y por atrás (Bidireccional)
- solo en una dirección (Unidireccional)



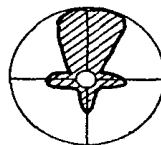
Patrón Omnidireccional



Patrón Unidireccional o Cardioide



Patrón Bidireccional



Patrón Ultracardioide

Fig. 3.3 Diagramas Polares de Direccionalidad en Micrófonos

Los micrófonos bidireccionales y más aún los unidireccionales son susceptibles al "Efecto próximo" (incremento en el nivel de bajas frecuencias en relación a frecuencias intermedias y altas) cuando son colocados cerca de la fuente de sonido. Para neutralizar el efecto de proximidad, la mayoría de estos micrófonos son equipados con un sistema de atenuación de bajos.

Para la protección de micrófonos capacitivos en distorsiones graves, se les equipa con cojinetes evitando sobrecargas en la electrónica del micrófono. Para reducir distorsión, ruidos ambientales y "Hum", algunos micrófonos son equipados con filtros, cortavientos y circuitos especializados que eliminan el "Hum".

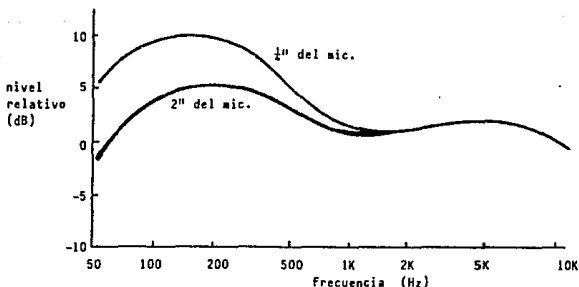
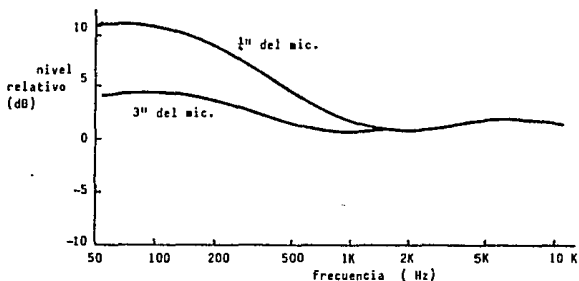


Fig. 3.4 Efecto Próximo

### 3.3 Grabaciones Magnéticas

En grabaciones de Audio, las señales eléctricas son convertidas a señales magnéticas durante la grabación y en el proceso de reproducción las señales magnéticas son de nuevo convertidas en señales eléctricas.

En grabaciones analógicas las señales se orientan en la cinta con patrones análogos a la forma de onda de la señal original. En grabaciones digitales, los sistemas analógicos son convertidos a información digital durante el grabado y son reconvertidos a información analógica durante la reproducción.

La mayoría de las cintas de Audio están compuestas por delgadas tiras de carbón, plástico o poliéster y partículas magnéticas que son adheridas por barnices sintéticos.

Las cintas de Audio analógicas se presentan en cuatro medidas de grosor:  $1\frac{1}{2}$ , 1,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{1}{4}$  de mm. Generalmente la cinta que se utiliza profesionalmente es la de  $1\frac{1}{2}$ , debido a que es más difícil de arrugar, romper o estirar. Por otro lado las cintas tienen cinco anchos: .15,  $\frac{1}{2}$ , 1 y 2 pulg., formatos que se utilizan actualmente.

Existen medidas de la habilidad de una cinta de reproducir un sonido:

- Coercitividad: Fuerza magnética necesaria para saturar una cinta.
- Retención: Que tanto detiene una cinta la información magnética una vez que los campos han sido alterados.
- Sensibilidad: Nivel de salida que puede reproducir una cinta.

Las cintas se fabrican de acuerdo a propósitos específicos, variando en estas las características de coercitividad, retención y sensibilidad.

Las tres secciones esenciales de un reproductor de cintas son el sistema de transporte, las cabezas magnéticas y la electrónica de grabación y reproducción. Las grabadoras de Audio reproducen a varias velocidades: 15/16, 1 7/8, 3 3/4, 7 1/2, 15 y 30 pps. Al aumentar la velocidad aumenta la calidad del sonido. Debido a que las partículas magnéticas en la cinta responden en formas no lineales las cabezas de grabación poseen un sistema de polarización de altas frecuencias que convierten lineal la información magnética para ser codificada en la cinta.

La cinta de cartucho es una cinta altamente lubricada de  $1\frac{1}{2}$  mm,  $\frac{1}{2}$  de pulg. Estas cintas vienen en longitudes equivalentes a tiempos de 20 seg. a 40 min. Las cintas de Audio comúnmente utilizadas son de  $\frac{1}{2}$  ó  $\frac{1}{4}$  mm. de grueso y .15 pulg. de ancho, siendo generalmente de 60 a 180 min. Aunque no son ideales para el Audio profesional se han logrado éxitos en la calidad con: Dióxido de Cromo, Óxido de Cobalto y partículas metálicas, mejorándose la reducción del ruido, respuesta en frecuencia, niveles mayores de salida y rango dinámico.

Los formatos analógicos de cintas reproducen rangos dinámicos de 80 dB, mientras que los formatos digitales proveen rangos dinámicos de 110 dB, virtualmente libre de Ruido.

### 3.4 Bocinas y Monitoreo

Las bocinas son transductores que convierten la energía eléctrica en energía sonora y pueden clasificarse en alguno de los siguientes tipos:

1. Dinámicas
2. Capacitivas
3. Electroestáticas
4. Piezoeléctricas
5. Electromagnéticas
6. de Flujo de Aire
7. Paramétricas

Por su respuesta en frecuencia, eficiencia y accesibilidad las bocinas más utilizadas son las dinámicas. Una configuración típica de una bocina dinámica está formada por:

- \* circuito magnético
- \* bobina
- \* diafragma
- \* sistema de soporte (suspensión)
- \* armazón

Para controlar la distorsión la bobina está diseñada para no salirse del campo magnético uniforme debido a la vibración. La impedancia es generalmente múltiplo de 4 ohms. La tapa del cono es usada para evitar que penetre el polvo en el espacio magnético. La suspensión se utiliza para amortiguar las vibraciones del sistema, para mantener la bobina en la región magnética y para enfatizar el movimiento axial.

En bocinas electroestáticas se tienen placas metálicas perforadas en las cuales se fija un diafragma que al recibir la señal vibra; la desventaja de estas bocinas es que generan distorsión en amplitudes grandes.

Las bocinas piezoeléctricas funcionan con metales polímeros y generalmente están formadas por pares de placas a los cuales se les aplica la señal. Puesto que estas bocinas poseen muy baja eficiencia generalmente son utilizadas para altas frecuencias y para audífonos.

Las bocinas electromagnéticas (también llamadas magnéticas) tienen la ventaja de ser muy compactas por lo cual son comúnmente utilizadas en teléfonos o audífonos; el diafragma formado por sustancias magnéticas es colocado contra el polo de un imán electromagnético y la fuerza de atracción del diafragma se convierte en corriente fluyendo a través de una bobina.

En bocinas de flujo de aire se envía un flujo a través de una línea en la que se varía la sección transversal por medio de la señal de entrada generándose el sonido. Por medio de estas bocinas se pueden generar altas potencias de salida, sin embargo, el flujo de aire genera ruido que afecta la fidelidad.

Las bocinas paramétricas se utilizan para Audio con alta Directividad y requieren de un ecualizador, un modulador AM, un oscilador ultrasónico y un amplificador de potencia.

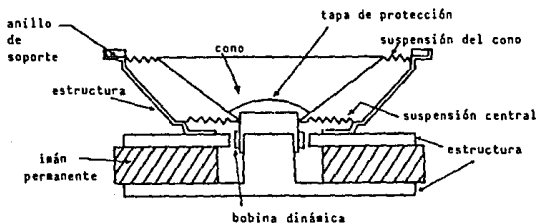


Fig. 3.5 a) Estructura de una Bocina Dinámica

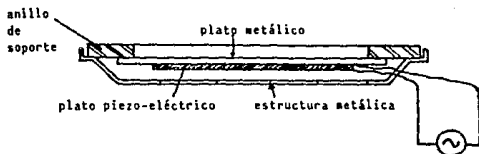


Fig. 3.5 b) Bocina Piezoeléctrica de banda ancha

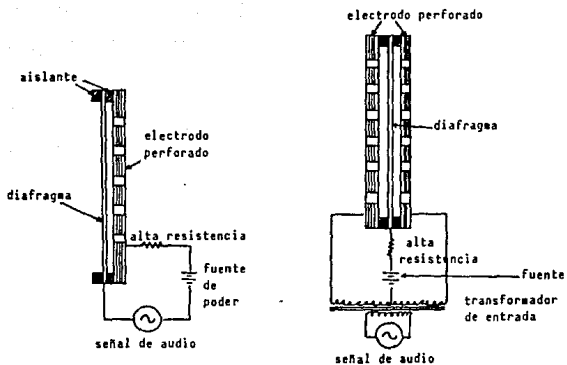


Fig. 3.5 c) Configuración de Bocinas Electrostáticas

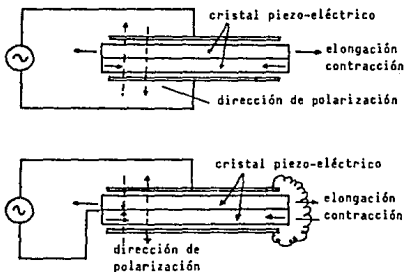


Fig. 3.5 d) Bocinas Piezoeléctricas

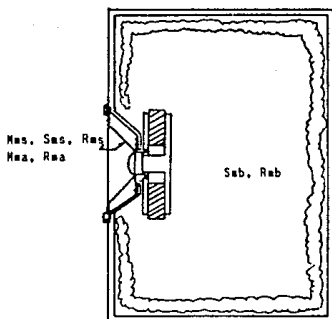


Fig. 3.5 a) Vista seccional de un gabinete y su circuito equivalente  
 $F$  = fuerza de conducción;  $Z_{me}$  = impedancia de movimiento, ohms mecánicos;  $M_{ms}$  = masa del sistema en vibración, kg;  $R_{ms}$  = resistencia mecánica del sistema en vibración, ohms mecánicos;  $S_{ms}$  = rigidez del sistema en vibración, N/m;  $S_{mb}$  = rigidez del gabinete, N/m;  $R_{mb}$  = resistencia mecánica del gabinete, ohms mecánicos;  $M_{ma}$  = masa de radiación, kg;  $R_{ma}$  = resistencia de radiación, ohms mecánicos.

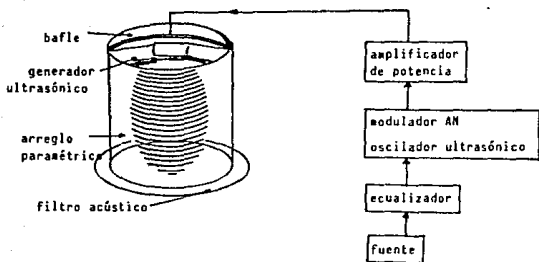


Fig. 3.5 f) Configuración de una Bocina Paramétrica

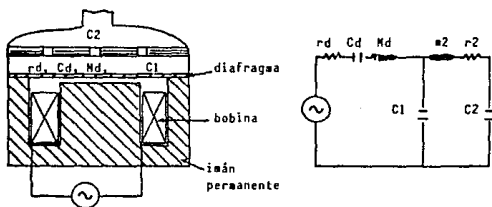


Fig. 3.5 g) Bocina Electromagnética y su circuito equivalente



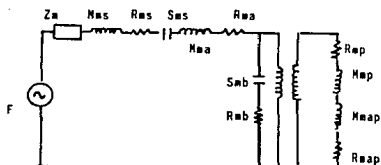
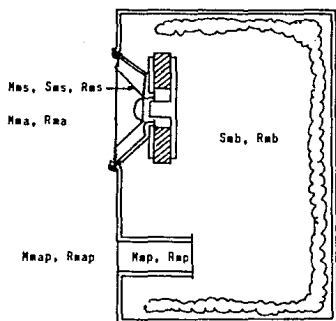


Fig. 3.5 h) Vista seccional de un Gabinete Acústico con inversión de fase y su circuito equivalente

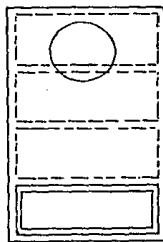
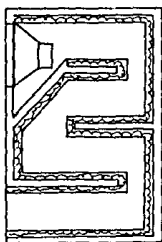
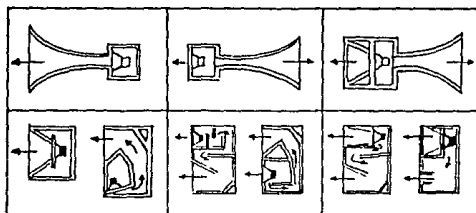


Fig. 3.5 El Arreglos de Gabinetes cominmente utilizados

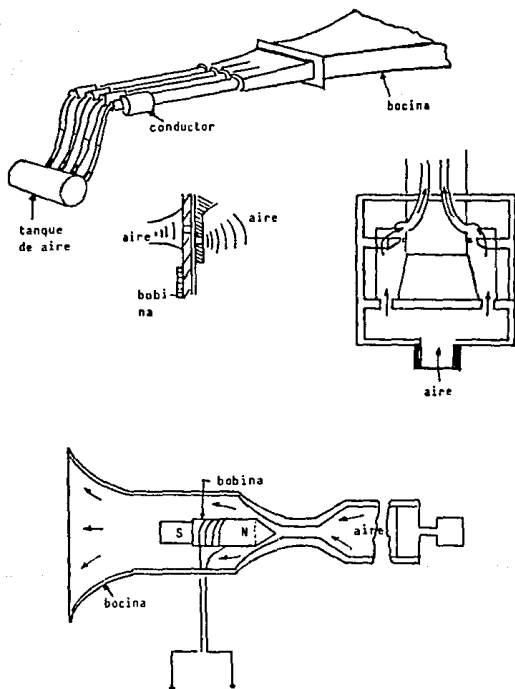


Fig. 3.5 f) Bocinas de Flujo de Aire

Al reproducir las frecuencias de Audio, es difícil para una bocina reproducir todo el rango de frecuencias por lo cual se acostumbra dividir este espectro en Medios Rangos (frecuencias intermedias), Rangos de Bajas Frecuencias (Woofer) y Rangos Altos (Tweeter) y el uso de bocinas especializadas para cada rango. La señal de entrada se divide en los distintos rangos (a determinadas frecuencias de corte) por medio de filtros paso-altas y paso-bajas divididos en -6 dB por octava, -12 dB por octava, -18 dB por octava, etc. según la atenuación. Para determinar la frecuencia de corte es necesario considerar las características de niveles de presión, direccionalidad y distorsión armónica de la bocina utilizada, estas características deben ser tomadas en cuenta para la Atenuación. Generalmente, el límite asignado a frecuencia baja es menor que la frecuencia más baja de resonancia de la bocina y la amplitud del sistema vibrante es mayor, incrementándose la distorsión armónica, por lo cual la frecuencia asignada debe ser más de dos veces esta frecuencia. Para el límite de frecuencia mayor se utilizan las características direccionales con base a un ángulo de incidencia de 30 °. Comúnmente se utilizan atenuadores de volumen en estas redes para realizar ajustes en bajas frecuencias.

Según para lo cual fué diseñado, un sistema de bocinas tendrá determinados espectros y capacidades de amplitud. Al evaluar un sistema de bocinas para monitoreo deben tomarse en cuenta: La respuesta en frecuencia, linealidad, amplificadores de potencia, distorsión, capacidad de niveles de salida, sensibilidad, respuesta polar y tiempo de arribo de señales.

Algunas de las formas más comunes de distorsión son:

- Intermodulación
- Armónicas
- Transitorios
- Intensidad

La distorsión por Intermodulación (IM) resulta cuando dos o más frecuencias están presentes al mismo tiempo interactuando y creando combinaciones de tonos y disonancias que no son del sonido original. Las armónicas son múltiplos de las frecuencias originales que se generan en los sistemas de Audio. La distorsión por Transitorios se debe a la insuficiencia de los equipos de Audio de responder rápidamente al cambio de señal provocando sonidos de percusión (slew-rate). La distorsión por Intensidad se genera cuando la señal posee amplitudes grandes que el Sistema de Audio no soporta, saturándose.

Los monitores de Estudio, deben tener capacidad de niveles de salida de 110 dB-SPL. La llegada del sonido al sistema de monitoreo debe ser no mayor a 1 mseg. Para monitoreo de sonido la persona designada para escuchar debe tener libertad de movimiento del frente hacia atrás y de lado a lado sin alteración de la percepción de intensidad, frecuencia o perspectiva de espacio. Los Audífonos son parte esencial del monitoreo, especialmente en Estudios. Para el uso de Audífonos debemos considerar que: 1) La respuesta en frecuencia debe ser amplia y plana; 2) Conocimiento del sonido en Audífonos, y 3) Aislar el Sonido.

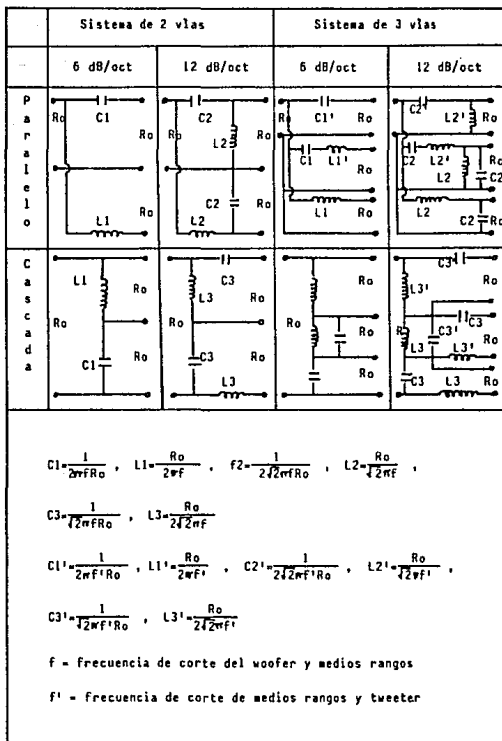
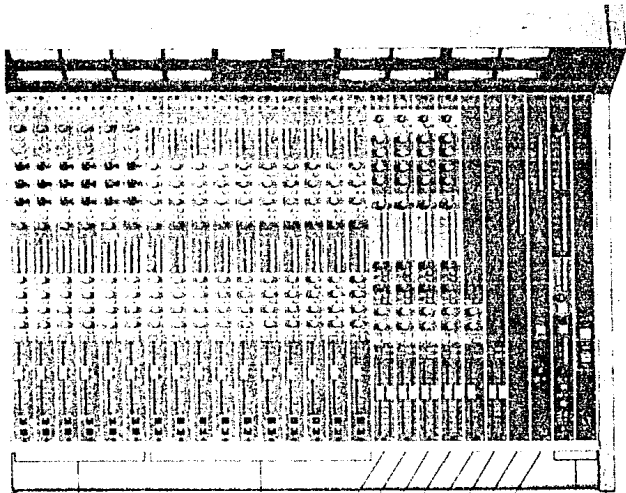
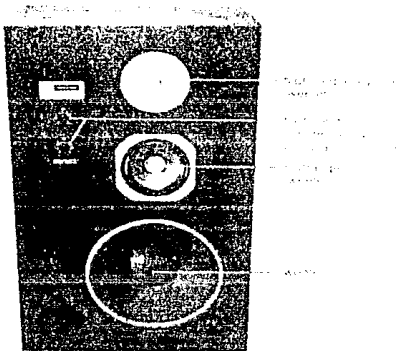


Fig. 3.6 Sistemas de División del Espectro de Frecuencias para Bocinas Especializadas

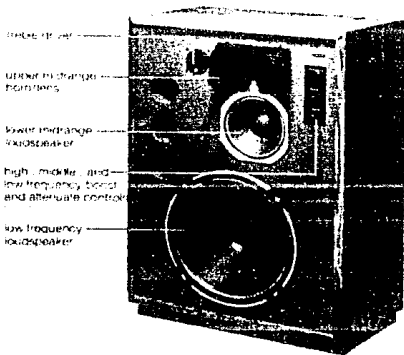


2 Multichannel recording console with separate input, output, and monitor

*Fig. 3.7 Consola de grabación de varios canales*

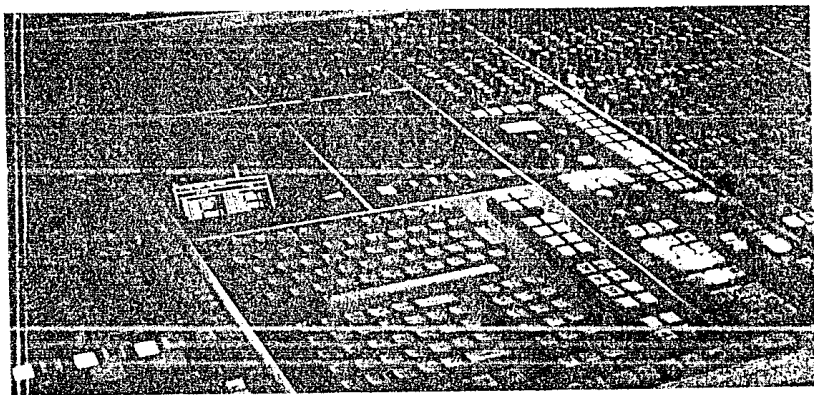


9-2 A three-way system loudspeaker



9-3 A four-way system loudspeaker

Fig. 3.8 Sistemas de Bocinas de 3 y 4 vías



*Fig. 3.9 Consola Profesional de Grabación asistida por Computadora*



## PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DE AUDIO

- 4.1 Procesadores de Espectro
- 4.2 Procesadores de Tiempo
- 4.3 Procesadores de Amplitud
- 4.4 Procesadores de Ruido

Los procesadores de señal son dispositivos utilizados para alterar características del sonido. Generalmente son externos a la consola. La señal es enviada de la consola al procesador, modificada y regresada a la consola para grabarse, editarse o transmitirse.

La mayoría de los procesadores pueden ser agrupados dentro de una de las siguientes categorías:

- Procesadores de Espectro
- Procesadores Psicoacústicos
- Procesadores de Tiempo
- Procesadores de Amplitud
- Procesadores de Ruido

#### 4.1 Procesadores de Espectro

Estos procesadores afectan el balance espectral en una señal y comúnmente son: Ecuualizadores, Filtros y Procesadores Psicoacústicos.

##### - Ecuualizadores

Los ecualizadores son dispositivos electrónicos que alteran la respuesta en frecuencia por medio de incrementos o decrementos de nivel de señal en porciones específicas del espectro. Estas alteraciones se pueden llevar a cabo en dos formas: Incremento y corte (pico o cresta), o por Retardo. El sistema de incremento/corte aumenta o disminuye el nivel de una banda de frecuencias alrededor de una frecuencia central (curva de campana). El sistema de retardo también incrementa o decreta la amplitud pero gradualmente nivela el máximo rango de frecuencia buscada a cierta frecuencia de corte. El nivel se mantiene constante en todas las frecuencias cercanas a ese punto.

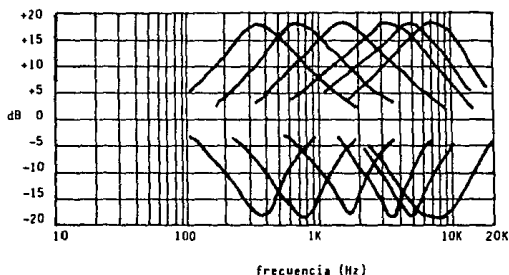


Fig. 4.1 a) Curvas de Campana de Ecualización por Incremento y Corte

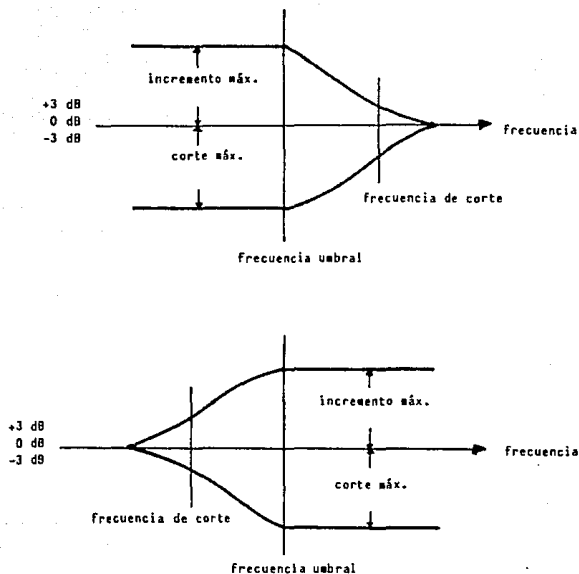


Fig. 4.1 b) *Equalización por Retardo de altas y bajas frecuencias. La frecuencia de corte es aquella en donde la ganancia es de 3 dB arriba (o abajo) del nivel de referencia; la frecuencia umbral es el punto en donde la ganancia ya no sufre incrementos o decrementos de nivel.*

El número de frecuencias en los ecualizadores varía; obviamente con más valores se tiene un mayor control del sonido representando esto mayores costos. Generalmente las frecuencias están en intervalos de múltiplos enteros, mitades, terceras octavas y octavas. Ejemplos de esto serían: a) 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, 1600 Hz, 3200 Hz, 6400 Hz, 12800 Hz; b) 50 Hz, 75 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, 600 Hz, etc; c) 50 Hz, 60 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 120 Hz, 160 Hz, 200 Hz, 240 Hz, 320 Hz, 400 Hz, 480 Hz, 640 Hz, etc.

Generalmente se utilizan tres tipos de ecualizadores:

- Ecualizador de Frecuencia Fija: Estos ecualizadores operan a frecuencias fijas seleccionadas del espectro de frecuencias. Solo se puede seleccionar una frecuencia central en cada control dándole incrementos o decrementos de nivel. El ecualizador gráfico es de frecuencia fija y la posición de controles provee una idea de la gráfica de curvas de frecuencia, debido a esto su nombre.
- Ecualizador Paramétrico: Este ecualizador tiene frecuencias y anchos de banda variables permitiendo alterar las frecuencias y sus niveles continuamente, debido a esto tiene una gran flexibilidad y mayor precisión en el control de la ecualización.
- Ecualizador Paragráfico: Combina los controles de un ecualizador gráfico con la flexibilidad de un ecualizador paramétrico.

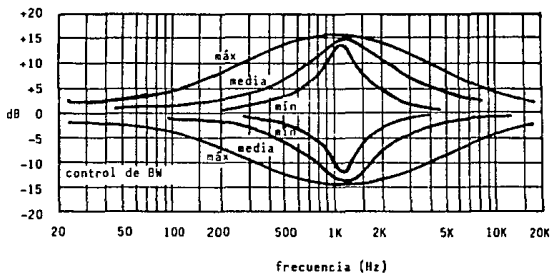


Fig. 4.2 Ajuste del Ancho de Banda en un Ecualizador Paramétrico

### - Filtros

Un filtro es un dispositivo que atenúa determinadas bandas de frecuencia, y a diferencia de un ecualizador por todas las frecuencias arriba o abajo de determinada frecuencia se ven afectadas, además en un filtro las caídas son más precipitadas.

Los filtros más utilizados son:

- Paso-altas
- Paso-bajas
- Paso-banda
- Filtros de corte

Un filtro paso-bajas atenúa todas las frecuencias arriba de una frecuencia o punto determinado. Un filtro paso-altas atenúa todas las frecuencias debajo de un punto específico. Un filtro paso-banda posee dos puntos de corte en una frecuencia baja y otra alta, entre estos dos puntos las frecuencias pueden pasar. Un filtro de corte atenúa una banda determinada, como por ejemplo el "Hum" de CA (60 Hz.) el cual es un problema constante en Audio.

### - Procesadores Psicoacústicos

Un procesador Psicoacústico provee a las señales brillantez, claridad, inteligibilidad e imagen estereo por medio de la adición de armónicas no originales de la señal, incrementándose así la percepción de la intensidad.

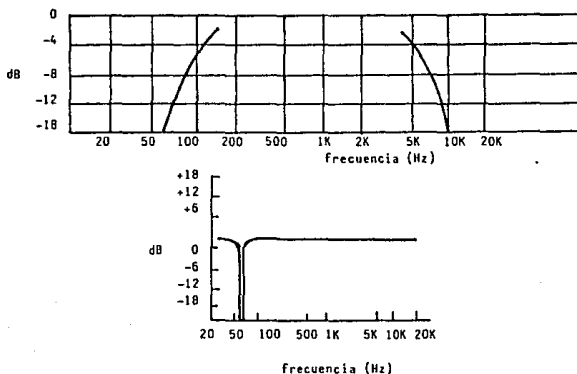


Fig. 4.3 Curvas de Filtros Paso-Bandas y de Corte

## 4.2 Procesadores de Tiempo

Los procesadores de tiempo son dispositivos que afectan las relaciones de tiempo de las señales. Estos efectos incluyen Reverberación, Retardo y Flanger.

### ~ Reverberación

La reverberación es creada por múltiples repeticiones del sonido de una señal. Conforme estas repeticiones bajan en intensidad se incrementan en número.

Existen cuatro sistemas de reverberación:

1. Cámaras acústicas de Eco
2. Reverberación por Láminas Metálicas
3. Reverberación Mecánica
4. Reverberación Digital

La reverberación por cámaras acústicas se lleva a cabo en ambientes con alta reflexión de sonido. La reverberación por láminas metálicas aprovecha la energía mecánica en estas láminas adquirida por una bocina sonando cerca de las láminas y mediante micrófonos de contacto se regresa la señal a la consola. Las múltiples reflexiones de las láminas crean el efecto de reverberación. La reverberación mecánica utiliza dispositivos elásticos que proveen las repeticiones continuas del sonido, pudiéndose controlar el tiempo de reverberación en base a ajustes de estos materiales comúnmente metálicos. La reverberación digital se realiza electrónicamente mediante retardos que son reciclados en milisegundos, produciéndose el efecto de reverberación.

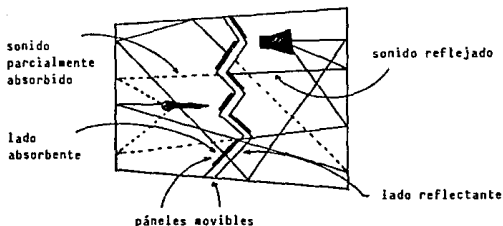


Fig. 4.4 Paneles Movibles. Por medio de estos Paneles se pueden alterar las características acústicas de un recinto de Audio.

#### Retardo

El tiempo entre las repeticiones de un sistema de reverberación o eco es imperceptible, el tiempo entre las reflexiones es el retardo. Manipulando el tiempo de Retardo es posible crear un gran número de efectos sonoros. Generalmente el retardo puede producirse con grabadoras de cinta o electrónicamente con dispositivos analógicos o digitales.

#### Flanger

Efecto de retardo que consiste en colocar una misma señal en dos diferentes grabadoras, retardando una de las señales y grabando simultáneamente las señales de salida.

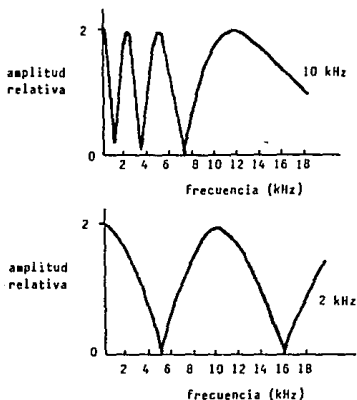


Fig. 4.5 Desfasamiento. La señal directa y la salida son combinadas produciéndose cambios en el ancho de banda del Audio.

### 4.3 Procesadores de Amplitud

Los procesadores de Amplitud son dispositivos que afectan el rango dinámico. Estos efectos incluyen compresión, limitadores y expansores de señal.

Con la compresión, conforme el nivel de la señal de entrada se incrementa, el nivel de salida también se incrementa pero en menor rango, reduciéndose el rango dinámico. Con limitadores el nivel de salida se mantiene en un punto predeterminado no obstante los cambios de nivel de la entrada. Con expansores, conforme el nivel de entrada se incrementa, el nivel de salida se incrementa pero en mayores rangos, incrementándose el rango dinámico.

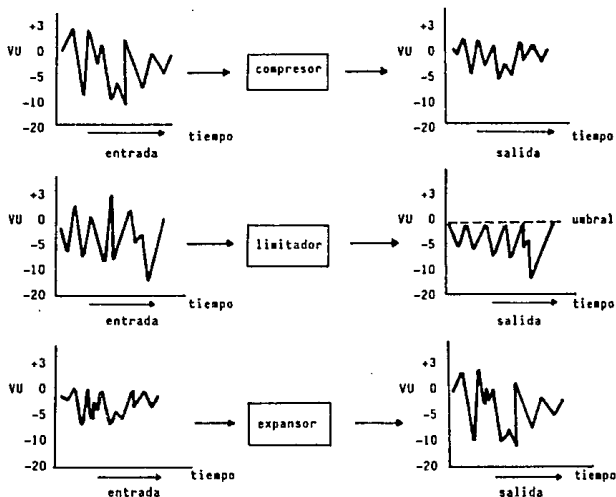


Fig. 4.6 Efecto de un Compresor, un Limitador y un Expansor



#### 4.4 Procesadores de Ruido

Los procesadores de ruido son diseñados para reducir el ruido generalmente en grabaciones analógicas. Una técnica muy simple es utilizar filtros paso-bajas para eliminar el "Hiss", y utilizar filtros paso-altas para eliminar el "Hum" (los controles de tono son un típico ejemplo de estos filtros). Para grabaciones de alta calidad se utilizan filtros dinámicos DNR (reducción dinámica de ruido), los cuales se activan cuando el ruido se encuentra presente sin poder encubrirse, y se desactivan o modifican sus funciones automáticamente cuando se presentan niveles y frecuencias que encubren el ruido. También se utilizan compresores durante la grabación y expansores durante la reproducción obteniéndose niveles muy buenos de calidad (Compandor).

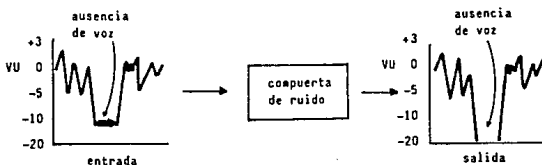


Fig. 4.7 a) Efecto de una Compuerta de Ruido

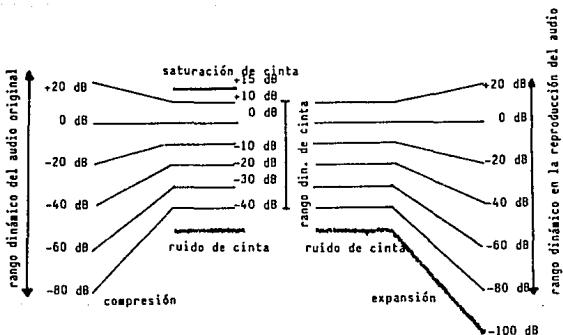


Fig. 4.7 b) Decremento de Ruido en Grabaciones de Cinta

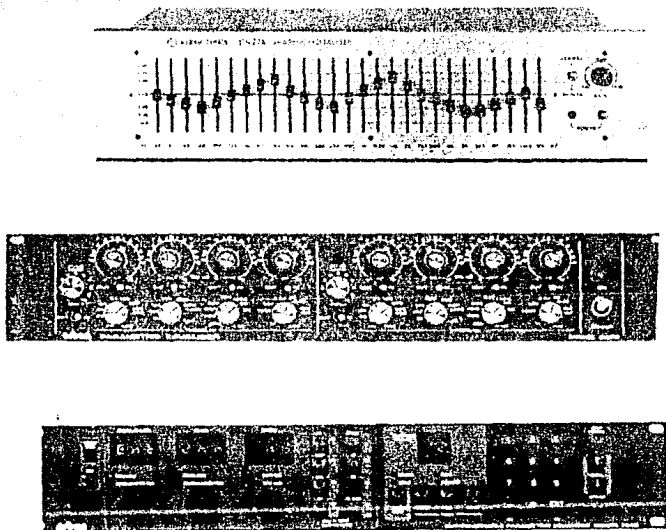


Fig. 4.8 Ecualizadores Gráfico, Paramétrico y Paramétrico

## 5

### AUDIO DIGITAL

- 5.1 Conversión Analógica - Digital
- 5.2 Conversión Digital - Analógica
- 5.3 Aplicación Profesional de la Tecnología de Audio Digital
- 5.4 Grabadoras Digitales de Audio
- 5.5 Equipo

La grabación Analógica está sujeta siempre a distintas anomalías como el "wow", distorsión y otros ruidos, de tal forma que bajo las mejores condiciones se producen rangos dinámicos de 70 dB a 80 dB. Debido a esto se desarrolló el procesamiento de grabación por medios digitales, PCM (modulación por código de pulsos) con el cual se eliminan virtualmente la mayoría de los problemas del Audio Analógico. Otras ventajas del Audio Digital son: \* La fácil manipulación de la señal de Audio con operaciones repetidas y generación de efectos sin alterar la fidelidad del sonido original; \* La capacidad de multiplexar un gran número de señales en procesos de transmisión o grabaciones en consolas de mezcla.

| Especificación<br>o<br>Característica | Reproductor<br>LP             | Reproductor<br>Analógico<br>de Cinta<br>(15 pulg/seg) | Sistema<br>CD              | Reproductor<br>Digital<br>de Cinta |
|---------------------------------------|-------------------------------|---|----------------------------|------------------------------------|
| Respuesta en frecuencia               | 30 Hz-20 kHz<br>± 3 dB        | 20 Hz-20 kHz<br>± 3 dB                                | 20 Hz-20 kHz<br>+0.5/-1 dB | 20 Hz-20 kHz<br>+0.5/-1 dB         |
| Rango dinámico                        | 70 dB<br>(a 1 kHz)            | 70 dB   | 90 dB                      | 90 dB                              |
| Relación señal-ruido                  | 60 dB                         | 64-68 dBA   | 90 dB                      | 90 dB                              |
| Distorsión armónica                   | 1-2 %                         | 0.52 %  | 0.004 %                    | 0.05 %                             |
| Separación entre canales              | 25-30 dB                      | 40-60 dB  | 90 dB                      | 80 dB                              |
| Wow y flutter                         | 0.03 %                        | 0.03 %  | indetectable               | indetectable                       |
| Durabilidad                           | altas frecuencias se degradan | depende de la calidad de la cinta                     | semipermanente             | depende de la calidad de la cinta  |
| Tiempo de vida                        | 500-600 h                     | -   | 5000 h                     | -                                  |
| Efecto con polvo y huellas digitales  | causa ruido                   | pérdida de señal                                      | corregible                 | corregible                         |
| Señal residual después de borrar      | -                             | -70- -80 dB   | -                          | ninguna                            |
| Regrabado                             | -                             | -60 dB  | -                          | ninguno                            |

Fig. 5.1 Comparación de Sistemas de Audio Analógicos y Digitales

## 5.1 Conversión Analógica-Digital

El proceso de convertir señales analógicas en formatos digitales involucra cuatro pasos básicos:

- 1) Filtrado
- 2) Muestreo
- 3) Cuantificación
- 4) Codificación

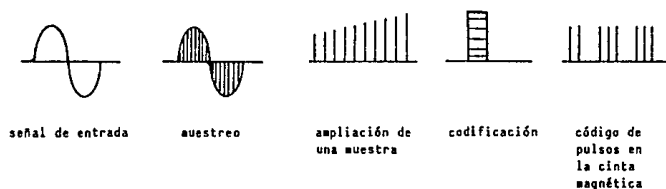


Fig. 5.2 Representación del Proceso de Grabación Digital

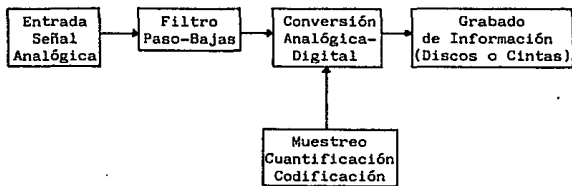


Fig. 5.3 Pasos Básicos en la Conversión Analógica-Digital

#### - Filtrado

El primer dispositivo requerido en la conversión A/D es un filtro paso-bajas cuya función es limitar las frecuencias de la señal de entrada sin provocar distorsión o ruido excesivo. Esta operación es básica ya que en la siguiente etapa, cuando la señal de salida del filtro es muestreada a la frecuencia  $f_s$  cualquier frecuencia en la señal que contenga ruido o distorsión arriba de la mitad de la frecuencia de muestreo  $f_n = f_s/2$  podría aparecer como contribuciones de señal debajo de  $f_n$ . Para una frecuencia  $f$  entre  $f_n$  y  $f_s$ , la frecuencia del filtro es  $f_s - f_n$ .

Por otro lado la distorsión armónica debe eliminarse en ésta etapa ya que en las demás etapas no se corrigiera este efecto y se pueden generar frecuencias audibles.

#### - Muestreo

Esta etapa se realiza con un dispositivo de muestreo analógico requerido para crear aperturas de muy poco tiempo, leyendo muestras de voltajes de la señal original en dichos intervalos de tiempo. Por el teorema de Nyquist sabemos que si la frecuencia de Audio mayor es 20 kHz., la frecuencia de muestreo debe ser por lo menos 40 KHz., sin embargo, por razones prácticas y económicas el Audio Digital utiliza actualmente tres formatos: \* 32 kHz. para aplicaciones internacionales (el mayor ancho de banda posible en transmisión es de 15 kHz); \* 44.1 kHz. para usos domésticos, y \* 48 kHz. para grabaciones profesionales.

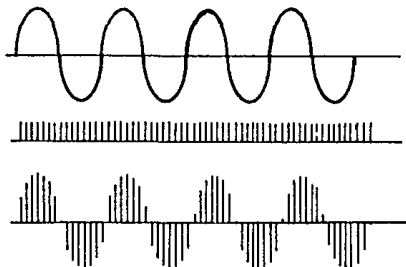


Fig. 5.4 Muestreo; para evitar pérdida en la información la señal debe muestrearse con frecuencia lográndose una adecuada decodificación.

### ~ Cuantificación

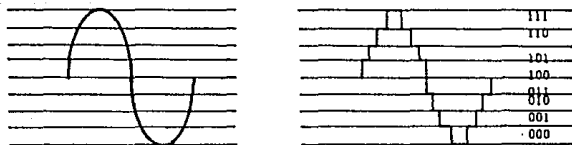
El proceso de cuantificación convierte los valores de las muestras de la señal analógica en cantidades discretas llamadas niveles de cuantificación. Entre mayor sea el número de niveles de cuantificación más exacta será la representación digital de la señal y por lo tanto mayor la fidelidad.

### ~ Codificación

Cuando las muestras han sido cuantificadas, estos voltajes se convierten a través de la etapa de codificación en un código binario (Bits) compuesto de una serie de pulsos. El número de niveles discretos que podemos generar está dado por  $2^n$ , en donde n es el número de bits utilizados.



4 niveles de cuantificación - sistema de 2 bits



8 niveles de cuantificación - sistema de 3 bits

Fig. 5.5 Codificación; conforme el número de niveles de cuantificación aumenta, la representación digital de la señal analógica es más exacta.

En la cuantificación de la señal analógica a números binarios se genera el Ruido de Cuantificación. Cada bit contribuye en 6 dB al rango dinámico. Un sistema de 16 bits es suficiente para trabajar con el Ruido de Cuantificación sin efectos considerables. Esto provee al sonido digital de una relación señal-ruido de 96 dB, la cual es mucho mejor que cualquier sistema analógico. Cabe señalar que la cuantificación es un proceso que puede llevarse a cabo uniformemente (linealmente) o en forma no lineal (formas exponenciales), y para alta calidad de Audio se han usado métodos lineales por las siguientes razones: Los códigos uniformes son óptimos para señales que se distribuyen totalmente en los rangos de amplitud y frecuencia, estos sistemas son los más sencillos de analizar y usar en procesamientos de señal (Hardware); y los conversores de 16 bits son tecnología comercial en la actualidad.

En señales de bajos niveles se genera como ya se mencionó el ruido de cuantificación, el cual produce distorsión armónica. Para solucionar este problema se utilizan filtros digitales paso-bajas de alta velocidad generando rangos dinámicos de 105 dB y niveles de distorsión armónica menores del 0.003 %.

Otra solución inmediata al problema de ruido en señales de bajo nivel con convertidores uniformes es el uso del "Dither", que es una señal de ruido de bajo nivel con valor rms de 1/3 del intervalo total de amplitud muestreada, y que es agregada a la señal de entrada del convertidor eliminándose las armónicas audibles y generándose un pequeño ruido blanco. Una interesante alternativa para este problema puede ser la generación del "Dither" digitalmente (con un generador de secuencias pseudo-aleatorias) convirtiéndolo en una señal analógica con amplitud menor que el bit menos significativo (LSB), y luego sumarla con el voltaje de entrada al convertidor A/D. Después de que la muestra ha sido digitalizada, la muestra analógica de ruido que fué agregada puede restarse digitalmente de la señal convertida. Esto produce una señal digital cuantificada en forma efectiva con más bits del convertidor A/D sin generar distorsiones.

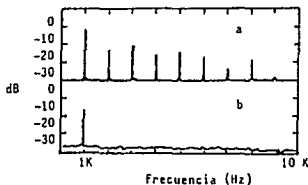


Fig. 5.6 Reducción de Distorsión Armónica en un DAC usando el "Dither"; a) Espectro de una señal de 1 kHz, b) Espectro de la señal después de haber sido agregado el "dither".



## 5.2 Conversión Digital-Analógica

La conversión Digital-Analógica se implementa con un sistema como el de la fig. 5.7. Este conversor genera un voltaje analógico de acuerdo a los caracteres del binario. Las fuentes más comunes de degradación en estos dispositivos son:

- Errores de ganancia, que restringen el rango de voltaje utilizado incrementando el tamaño relativo del error de cuantificación (fig. 5.7 a).
- Estática (offset DC), que incrementa el nivel de cuantificación de error (fig. 5.7 b).
- Errores de linealidad absoluta, donde los niveles de salida se desvían de una línea de base; estos errores causan distorsión armónica.
- Errores de no-uniformidad, en donde los niveles de cuantificación no son del mismo tamaño (fig. 5.7 c); estos errores distorsionan la onda en niveles bajos.

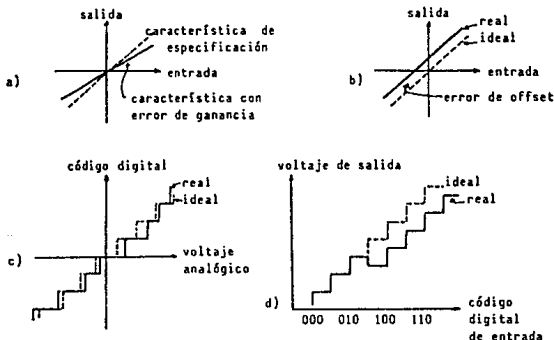


Fig. 5.7 Errores de Conversión; a) Error de Ganancia, b) Error de Offset, c) Error de no-uniformidad, d) Error de Linealidad Absoluta (en DACs).

Las especificaciones típicas de conversores A/D o D/A uniformes y de 16 bits no deben generar más de 0.003 de distorsión armónica (en un sistema de alta calidad de cinta analógica este es de 0.5 %).

#### - Sistema de Muestreo

El siguiente componente en un sistema de conversión D/A típico es un amplificador especial de muestreo que provee la apertura y cierre para la generación de la señal analógica. Esto se realiza manteniendo el previo voltaje a la salida por un tiempo  $t'$  mientras el nuevo voltaje se establece a la entrada. Este proceso introduce una característica de transferencia  $\text{sen } x/x$  en la respuesta del sistema (donde  $x=2\pi ft'$ ) y genera la llamada distorsión de apertura (fig. 5.8). Así, si  $t'=1/fs$  la atenuación será de aproximadamente 4 dB a  $fs/2$ . Esta es una forma lineal de distorsión que puede equalizarse fácilmente en la siguiente etapa.

Un problema de mayor dificultad se presenta si la limitante del Slew-Rate ocurre en transiciones sucesivas de voltaje. Esta limitante es un mecanismo no lineal que crea distorsión armónica mayor de  $fn$ ; esto genera distorsión audible. La solución más común a este problema es proveer una característica integral o exponencial que haga lineal la señal de error en relación a la señal de entrada. En el dominio de la frecuencia esto es equivalente a una etapa de filtrado, que se puede agregar a la etapa de filtro paso-bajas.

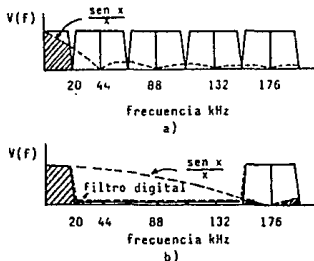


Fig. 5.8 Características de Transferencia de Convertidores D/A; a) Sistema DAC estándar con frecuencia de muestreo de 44 kHz, b) Sistema DAC con técnica de superposición, con frecuencia de muestreo de salida de 176 kHz.

#### ~ Filtro Paso-Bajas Anti-Imagen

La función de este filtro es variar la energía del espectro de la banda base, la cual, debido al proceso de muestreo existe en múltiplos de  $f_s$  (fig. 5.8). Esta energía debe reducirse ya que puede generar distorsión en el sistema analógico a la salida del sistema de conversión D/A.

Naturalmente las especificaciones de atenuación de este filtro incrementan el costo y complejidad del sistema, además el uso de elementos pasivos requeridos para este filtro incrementan el ruido en el mismo filtro. Los diseños de estos filtros para el peor de los casos tiene una atenuación entre 50 y 75 dB.

### 5.3 Aplicación Profesional de la Tecnología de Audio Digital

Las grabadoras digitales de Audio (DATR's) han sido desarrolladas especialmente para los requerimientos operacionales de los estudios. Estos requerimientos son básicamente:

1. Alta calidad, utilizando estándares de 48 kHz. con frecuencia de muestreo y cuantificación uniforme de 16 bits.
2. Reproducción de al menos una hora en una cinta común (equivalente a 5.5 Gbits en 2400 pies ó 0.75 Mbits/pulg').
3. Resistencia a imperfecciones de cinta, polvo y huellas dactilares.

### 5.4 Grabadoras Digitales de Audio

Las grabadoras digitales PCM se dividen en dos categorías: De cabezas estacionarias y de cabezas rotatorias.

#### ~ Audio Digital de cabezas estacionarias

La sociedad de Ingeniería de Audio (AES) realizó estándares para los formatos digitales con el objeto de hacer compatibles los diseños de distintas compañías.

Los formatos para sistemas digitales de cabezas estacionarias son:

- DASH (Audio Digital de Cabezas Estacionarias)
- PD (Audio Digital Profesional o Pro-Digi)

Las grabadoras de Audio Digital de cabezas estacionarias son similares en operación a las Analógicas. Difieren en la configuración de las cabezas, la relación de canales en la cinta y en algunos casos en la velocidad.

### Formatos Pro-Digi

| Formato                                  | PD 2-canales<br>alta resolución | PD 2-canales<br>baja velocidad | PD 2-canales<br>alta velocidad | PD 16-canales | PD 32-canales |
|--|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Velocidad de cinta (pps)                 | 15                              | 7.5                            | 15                             | 30            | 30            |
| Ancho de cinta (pulgadas)                | $\frac{1}{2}$                   | $\frac{1}{2}$                  | $\frac{1}{2}$                  | $\frac{1}{2}$ | 1             |
| Frecuencia de muestreo (kHz)             | 96                              | 48 y 44.1                      | 48 y 44.1                      | 48 y 44.1     | 48 y 44.1     |
| Cuantificación (PCM lineal)              | 16 ó 20 bits                    | 16 ó 20 bits                   | 16 ó 20 bits                   | 16 bits       | 16 bits       |
| Número de Tracks                         | 12                              | 12                             | 12                             | 24            | 45            |
| Tracks/canal                             | 4                               | 4                              | 4                              | 1.25          | 1.25          |
| Densidad de bits (miles de bits/pulgada) | 40                              | 40                             | 20                             | 29.9          | 29.9          |

Fig. 5.9 Formatos DASH y PD

#### DASH

##### Velocidad de cinta y frecuencia de muestreo

| Frecuencia de muestreo | Velocidad de cinta |           |          |
|------------------------|--------------------|-----------|----------|
|                        | Alta               | Media     | Baja     |
| 48 kHz                 | 30 pps             | 15 pps    | 7.5 pps  |
| 44.1 kHz               | 27.56 pps          | 13.78 pps | 6.89 pps |

##### Número de canales

| Ancho de cinta             | $\frac{1}{2}$ " |       | $\frac{1}{4}$ " |       |
|----------------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|
|                            | Normal          | Doble | Normal          | Doble |
| Densidad de Track          |                 |       |                 |       |
| Tracks Digitales           | 8               | 16    | 24              | 48    |
| Tracks Analógicos          | 2               | 2     | 2               | 2     |
| Track de código de tiempo  | 1               | 1     | 1               | 1     |
| Track de referencia        | 1               | 1     | 1               | 1     |
| Canales Digitales de Audio | rápido          | 8     | 16              | 24    |
|                            | medio           | 4,2   | 8               | 12    |
|                            | lento           | 2     | 4               | 6     |

#### Audio Digital de Cabezas Rotatorias R-DAT

Es posible grabar y reproducir Audio Digital utilizando grabadoras de Video en combinación con un procesador PCM, el cual codifica las señales de Audio en formatos de Video permitiendo almacenar señales de Audio en cintas de Video.

Debido al considerable ancho de banda requerido para el Video se utilizan muy altas velocidades de las cabezas (1800 rpm), evitando altas velocidades longitudinales de cinta (y por tanto cantidad de cinta).

La grabación por cabezas rotatorias hace posible la producción del estereo digital a costos relativamente bajos (grabadoras portátiles de Video) y esto ha generado dos nuevos formatos para pequeñas cintas: Videocassette de 8 mm., utilizado para Audio Digital además de Video, y Grabadoras Digitales de Audio de cabezas rotatorias R-DAT.

La velocidad de cinta en grabadoras R-DAT es de solo  $\frac{1}{4}$  de pulg./seg. pero las cabezas giran a velocidades de hasta 2000 rpm. Las cabezas codifican dos canales (estereo) de Audio Digital y dos canales opcionales que pueden utilizarse para control y código de tiempo.

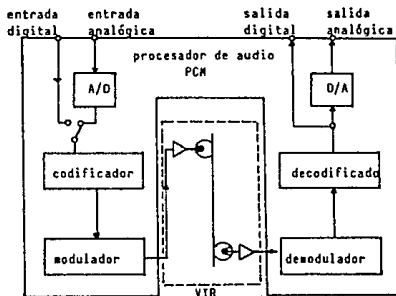


Fig. 5.10 Diagrama básico de un sistema PCM

## 5.5 Equipo

En la tecnología digital de audio los Equipos más utilizados comúnmente son los conversores analógico-digitales (ADC) que normalmente caen en una de las tres categorías siguientes:

1. Aproximaciones sucesivas (registro de aproximaciones sucesivas, SAR)
2. Integración (Integradores ADC)
3. Flash (ADC Flash)

También los convertidores digital-analógico (CMOS DAC), circuitos de muestreo (S/H) y circuitos de reverberación son ampliamente utilizados en los sistemas de Audio.

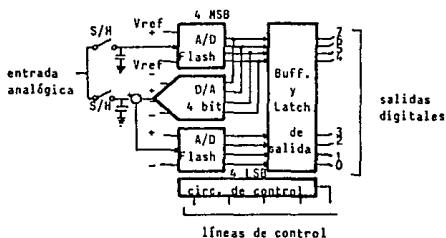
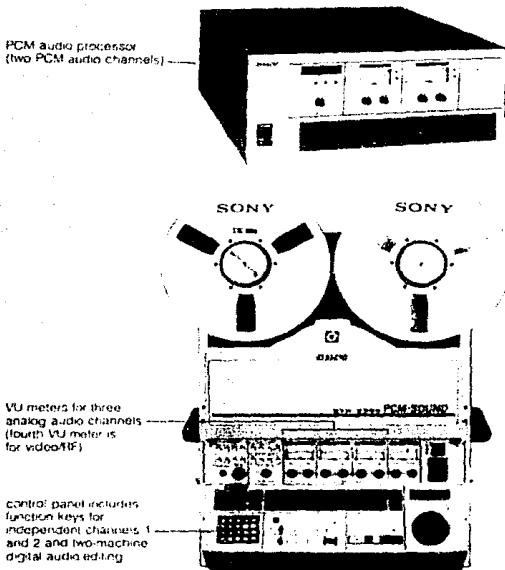


Fig. 5.11 Circuito ADC Flash. Este convertidor de 8 bits utiliza 32 comparadores, un convertidor AD Flash para los 4 bits más significantes y otro similar para los 4 menos significantes. La señal de entrada es muestreada y mandada a un par de estados de Buffers. Este circuito puede utilizarse en cascada para mejores resoluciones.



*Fig. 5.12 Sistema Digital de Grabación en cinta de video de 1 pulgada*

**POSTPRODUCCION : EDICION, MEZCLA Y REGRABACIONES**

**6.1 Edición**

**6.2 Mezcla y Regrabación**



## 6.1 Edición

La Postproducción es la última etapa del proceso de producción, una vez que todo el material ha sido grabado y está listo para editarse y mezclarse. Aquí toma su forma final el sonido.

La edición de cintas permite el reordenamiento, reducción o eliminación de los distintos elementos de la producción y generalmente se realiza por dos métodos:

### 1. Corte y unión

En este método se utilizan velocidades de por lo menos 15 pulg./seg. (a mayor velocidad, mejor calidad del sonido), se eligen los puntos de edición marcándolos con cintas especiales, uniendo después los tramos de cinta previamente elegidos.

### 2. Electrónicamente

En este método se utilizan dos grabadoras de cinta, una para grabar y la otra para reproducir y grabar; una cinta maestra que contiene el material que se va a editar, una cinta limpia para grabar el material durante la edición, un sincronizador y una consola. Esta edición puede realizarse manualmente o automáticamente, programando las grabadoras para iniciar o detenerse en puntos específicos por medio de la asistencia de una computadora.

En Audio Digital la edición Electrónica utiliza un track para estabilizar la imagen en los puntos de edición, tanto en las cintas reproductoras como en la cinta maestra, creando ediciones más estables. Dos métodos comúnmente usados en la edición de videotape son: Track de control con código de tiempo longitudinal (LTC) y Track de control con código de tiempo de intervalo vertical (VITC). Ambos métodos utilizan para Track de control pulsos codificados durante la grabación.

El código de tiempo longitudinal (también conocido como SMPTE) es una señal de altas frecuencias que consiste en un tren de pulsos producidos por un generador con código de tiempos. Estos pulsos se codifican en las cintas permitiéndoles intercambiarse entre sistemas con código de tiempos.

El sistema VITC lleva la misma información que el sistema LTC, pero se codifica verticalmente con la señal de video, fuera del área visible de pantalla.

El sistema de sincronización se utiliza para regular las velocidades de todo el equipo de cinta utilizado, de acuerdo a la velocidad del equipo maestro. Esto se lleva acabo mediante códigos de tiempo.

Equipos Maestros

Equipos esclavos

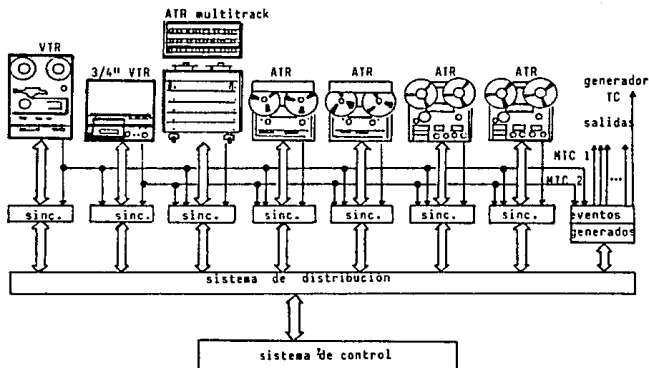


Fig. 6.1 Sincronía con Sistema de Control, 2 VTRs maestras y 5 ATRs

## 6.2 Mezcla y Regrabación

Durante esta etapa de la postproducción todos los elementos por separado que han sido grabados se combinan en un resultado integral: la producción final.

Para la mezcla es necesario saber que tipo de sistema se utilizará en la reproducción del sonido ya que cada uno tiene requerimientos y características especiales (Radio, cintas, discos, televisión). Deben también balancearse en forma adecuada los niveles de ecualización, reverberación, surround u otros efectos requeridos.

La evaluación del producto final se puede realizar de acuerdo a los siguientes parámetros:

- \* Inteligibilidad.- Claridad de cada sonido en color, tono e intensidad.
- \* Balance de Tono.- Presencia de frecuencias bajas, medios rangos o altas perfectamente balanceadas.
- \* Balance espacial y perspectiva.- Se debe distinguir de donde viene cada sonido, localización y posición relativa.
- \* Definición.- Cada elemento debe ser claramente definido e identificado en el espectro total de frecuencias.
- \* Rango Dinámico.- Los sonidos suaves deben ser perfectamente audibles y los sonidos de frecuencias bajas no deben provocar distorsiones.
- \* Ausencia de Ruido.- Debe eliminarse cualquier ruido o distorsión como el "Hum", "Hiss", Reverberación en exceso armónicas o Intermodulación.

TBC= corrección en base de tiempo (time base correction)

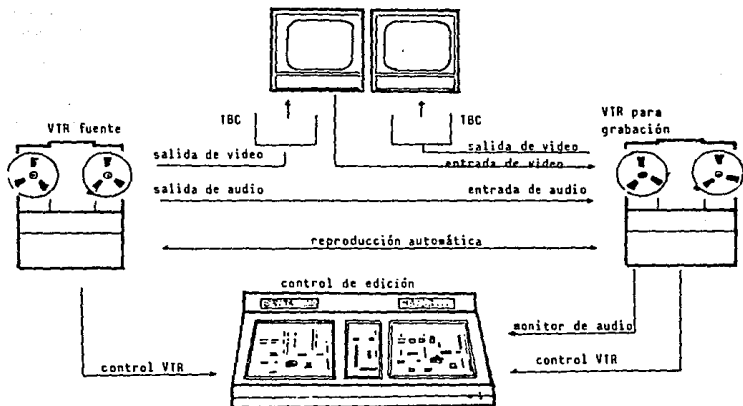
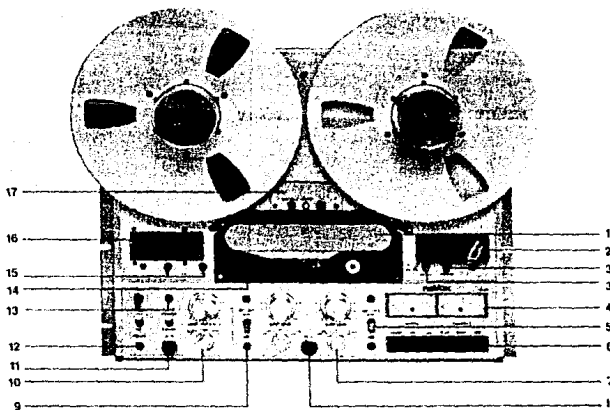


Fig. 6.2 Típico flujo en un Sistema de Edición con Control de Tracks



- 1 Sound heads mounted above flat faceplate for easy editing
- 2 Tape cutter and splicing block
- 3 TAPE DUMP button for waste basket mode (right take-up motor off)
- 3A Tension (REEL SIZE) control
- 4 VU meters with LED peak indicators
- 5 READY/SAFE switch protects against accidental erasures. Status indicator readily visible
- 6 Transport controls
- 7 Selector switch for high- and low-impedance microphone, line input, off (input short), and track transfer. Multiple production possibilities when used in conjunction with Self-Sync feature (15)
- 8 Calibrated input levels. In the calibrated mode inputs are set to an internally adjustable level. In the uncalibrated mode an extra 10 dB of gain is available through the front panel control
- 9 Microphone inputs, switchable for high or low impedance
- 10 Output selector for switching output to mono, stereo, reverse, channel 1, or channel 2
- 11 Calibrated output levels. In the calibrated mode line output is internally adjustable in reference to operating level. In uncalibrated mode an additional 10 dB of gain may be added with front panel control
- 12 Adjustable headphone output
- 13 Tape speed options
- 14 Edit mode switch defeats tape lifters and latch function of fast wind buttons. Permits quick location of audio cues
- 15 Two-way self sync allows sync monitoring off re-head while recording on other channel
- 16 Real-time counter with resolution to the exact second. Zero Locate, Address Locate, and Re-loop functions
- 17 Variable speed control with  $\pm 7$  half-tone range

Fig. 6.3 Funciones en una Grabadora Profesional de Audio

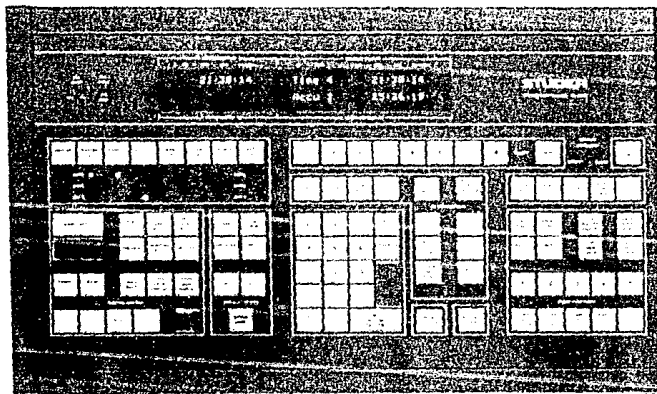


Fig. 6.4 Sistema de Control para Edición

## 7

### DISEÑO

**7.1 Ecuaciones de Reverberación**

**7.2 Distancia Crítica**

**7.3 Factores Importantes**

**7.4 Diseño**

**7.5 Cálculos**

En este capítulo se presentan aspectos fundamentales para el diseño de un estudio y se propone uno en particular.

## 7.1 Ecuaciones de Reverberación

Las ecuaciones de Sabine para la reverberación son las siguientes:

$$RT_{60} = \frac{0.049 V}{S\bar{a}} \text{ (US)}$$

$$RT_{60} = \frac{0.161 V}{S\bar{a}} \text{ (SI)}$$

$$RT_{60} = \frac{55.26 V}{S\bar{a}c} \text{ (adimensional)}$$

$$S\bar{a} = \frac{55.26 V}{RT c} \text{ (adimensional)}$$

En donde:

$RT_{60}$  es el tiempo de reverberación para un decaimiento de 60 dB.

$c$  es la velocidad del sonido.

$S$  es el área total interna.

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

$V$  es el volumen interno en pies o en mts .

$$\bar{a} = \frac{s_1 a_1 + s_2 a_2 + s_3 a_3 + \dots + s_n a_n}{S}$$

$s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$  son las superficies individuales en pies .

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  son los coeficientes de absorción individuales.

$S$  es el área total en pies .

## 7.2 Distancia Crítica

Uno de los conceptos de mayor importancia dentro de un espacio acústico es la consideración del parámetro  $D_c$ . Se asume que  $D_c$  es la máxima separación acústica entre un micrófono y una bocina dentro de un recinto. Si el micrófono se encuentra dentro de un espacio altamente reverberante, se pueden generar retroalimentaciones y saturaciones. Debemos hacer uso de  $D_c$  para determinar ciertos límites en el diseño de nuestro sistema de sonido.



- La bocina y el micrófono deben estar separados como máximo a una distancia  $D_c$ .

$D_1 \leq D_c < 45$  pies  
 en donde  $D_1$  es la distancia entre la bocina y el micrófono.

- En recintos con tiempos de reverberación que exceden a 1.6 seg. el factor  $D_c$  debe multiplicarse por 3.16 .

$$D_c = 0.03121 \sqrt{\frac{QV}{RT_{60}}} \quad (\text{US})$$

$$D_c = 0.057 \sqrt{\frac{QV}{RT_{60}}} \quad (\text{SI})$$

$$D_c = 0.141 \sqrt{QS\bar{a}}$$

### 7.3 Factores Importantes

Los siguientes factores pueden crear serios problemas en un sistema de sonido si no son controlados adecuadamente:

1. Superficies curvas y especialmente superficies cóncavas.
2. Paredes absolutamente paralelas, que pueden crear "Flutter" (ecos).
3. Demasiada absorción en techos.
4. Fuentes de Ruido potenciales (sistemas de aire, maquinaria cercana).
5. Demasiada audiencia.

### 7.4 Diseño

De acuerdo a los parámetros fundamentales del Audio, el Estudio está diseñado para realizar cualquier tipo de grabación de voz o música sin pérdida de rangos de frecuencia dentro del espectro audible.

Las dimensiones del Estudio permiten el buen manejo de bajas frecuencias sin llegar a tiempos excesivos de reverberación.

La forma es irregular con el fin de evitar ondas estacionarias o ecos y se utilizan además absorbedores de poliuretano (plásticos), útiles en altas frecuencias; absorbedores diafragmáticos (bajas frecuencias) y páneles móviles.

El Estudio se conforma de una sección de oficinas en la entrada, una sala de control para un pequeño Estudio independiente del Estudio principal (grabaciones de solistas), una sala de control principal para el respectivo Estudio mayor, en el cual se pueden realizar inclusive grabaciones de orquestas o sinfónicas . El Estudio principal contiene también una sección aislada para grabación de batería o algún instrumento en forma independiente.

Los materiales propuestos para el diseño y sus coeficientes de absorción respectivos son:

|             |                            |      |
|-------------|----------------------------|------|
| * Techo -   | Fibras de Vidrio acústicas | 0.64 |
| * Paredes - | Yeso Acústico (Zonolite)   | 0.6  |
| * Piso -    | Espumas de caucho (Sonex)  | 0.8  |

## 7.5 Cálculos

### Estudio Principal

|              |                          |
|--------------|--------------------------|
| A = 492 mts  | Area del piso            |
| V = 1968 mts | Volumen interno          |
| S = 1332 mts | Superficie interna total |

$$\bar{a} = \frac{S_1 a_1 + S_2 a_2 + S_3 a_3 + \dots + S_n a_n}{S}$$

$$\bar{a} = \frac{(0.64)(492) + (0.8)(492) + (0.6)(348)}{1332}$$

$$\bar{a} = 0.6886 \quad \text{Coeficiente de absorción promedio}$$

$$RT_{\mu} = \frac{0.161 V}{S \bar{a}}$$

$$RT_{\mu} = \frac{(0.161)(1968)}{(1332)(0.6886)}$$

$$RT_{\mu} = 0.3454 \text{ seg.} \quad \text{Tiempo de Reverberación}$$

$$D_c = 0.057 \sqrt{\frac{QV}{RT}}$$

$$D_c = 0.057 \sqrt{\frac{(2)(1968)}{0.3454}}$$

$$D_c = 6 \text{ mts.}$$

### Estudio No. 2

|                |                          |
|----------------|--------------------------|
| A = 52 mts     | Area del piso            |
| V = 208 mts    | Volumen interno          |
| S = 229.28 mts | Superficie interna total |

$$\bar{a} = \frac{(0.64)(52) + (0.8)(52) + (0.6)(125.28)}{229.28}$$

$$\hat{a} = 0.6544$$

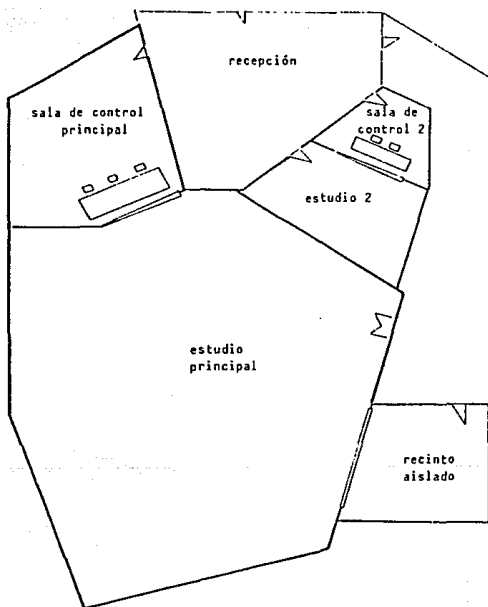
$$RT_{\mu} = \frac{(0.161)(208)}{(229.28)(0.6544)}$$

$$RT_{\mu} = 0.2231 \text{ seg.}$$

$$Dc = 0.057 \sqrt{\frac{(2)(208)}{0.2231}}$$

$$Dc = 2.4 \text{ mts.}$$

Nota: Q es un factor de Directividad y comúnmente se utiliza como constante (2).



*Fig. 7.1 Configuración del Estudio*

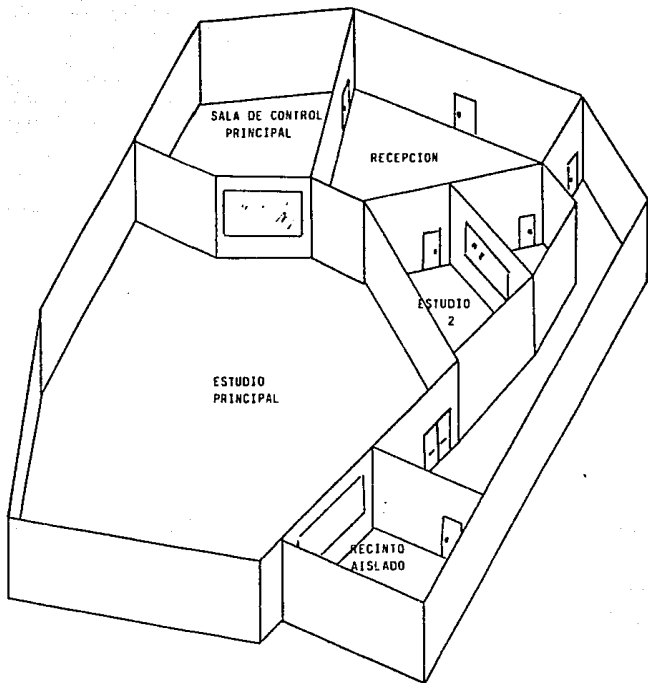


Fig. 7.1 Configuración del Estudio

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## CONCLUSIONES:

• En el diseño de cualquier sistema de Audio se deben considerar los siguientes factores:

1 El conocimiento de los principios de Audio, Acústica y Psicoacústica, bases en el análisis y estudio del sonido.

2 Análisis acústico del sistema: Ruido, Dimensiones, Aislamiento, Coeficientes de Absorción, Pérdida de transmisión, Resonancia, Reverberación y Eco.

3 Conocimiento de los equipos de Audio, sus funciones e interrelaciones entre ellos.

4 Análisis de los distintos procesadores utilizados en Audio (procesadores de espectro, de tiempo, de amplitud y de ruido) para la alteración de las componentes de la señal a procesar.

5 Conocimiento del Audio Digital, su aplicación y sus ventajas sobre los sistemas de Audio Analógicos.

\* La unión de todos los factores mencionados nos permiten en la actualidad diseñar Sistemas de Audio con gran fidelidad, excelente respuesta en frecuencia, altos rangos dinámicos y la reducción del Ruido a niveles casi indetectables.

## Glosario

- dB , decibeles
- dB-SPL , nivel de presión sonora en dB (sound pressure level)
- ADSR , Acceso decaimiento permanencia y escape (Acces, decay, sustain, release)
- NC , criterio de ruido (noise criteria)
- TL , pérdida de transmisión (transmission loss)
- STC , clase de transmisión de sonido (sound transmission class)
- MIDI , interfase digital de instrumentos digitales (musical instrument digital interfase)
- S/N , relación señal ruido (signal - noise)
- VU , control de volumen (Volumen unity)
- I/O , sistema entrada - salida (input - output)
- VCA , amplificador de voltaje controlado (voltage control amplifier)
- CRT , tubo de rayos catódicos (cathode ray tube)
- HUM , ruido de bajas frecuencias (zumbido)
- pps , pulgadas por segundo (ips)
- IM , distorsión por intermodulación
- slew-rate , velocidad de respuesta de un sistema o equipo
- CA , corriente alterna
- Hiss , Ruido de altas frecuencias
- DNR , reducción dinámica de ruido (dynamic noise reduction)
- Compandor , Compresión y expansión para eliminar Ruidos
- PCM , modulación por código de pulsos (pulse code modulation)
- A/D , conversión analógica-digital (ADC)
- D/A , conversión digital-analógica (DAC)
- fs , frecuencia de muestreo (sample frequency)
- fn , frecuencia máxima en un sistema de Audio
- Dither , Ruido de bajo nivel (utilizado para eliminar ruidos mayores)
- LSB , bit menos significativo (less significant bit)
- MSB , bit mas significativo (more significant bit)
- TBC , corrección en base de tiempo (time base correction)
- DATR , grabadoras digitales de Audio (Digital Audio tape recorders)
- AES , Sociedad de Ingeniería de Audio (audio engineering society)
- DASH , Audio digital de cabezas estacionarias (digital audio stationary head)
- PD , audio profesional digital (professional digital , pro-digi)
- R-DAT , audio digital de cabezas rotatorias (rotatory digital audio technology)
- SAR , registro de aproximaciones sucesivas
- LTC , código de tiempo longitudinal (SNPTE)
- VITC , código de tiempo de intervalo vertical
- BW , ancho de banda (Bandwidth)

## BIBLIOGRAFIA

- **BENSON, BLAIR.** Audio Engineering Handbook  
Estados Unidos de Norteamérica  
McGraw-Hill Book Company 1988
  
- **DAVIS, DON.** Sound System Engineering  
Estados Unidos de Norteamérica  
Howard W. Sams & Co. 1989
  
- **EVEREST, ALTON.** How to build a small budget recording studio  
Estados Unidos de Norteamérica  
Tab Books 1988
  
- **POHLMANN, KEN.** Principles of Digital Audio  
Estados Unidos de Norteamérica  
Howard W. Sams & Co. 1990
  
- **STANLEY, ALTEN.** Audio in Media  
Estados Unidos de Norteamérica  
Wadsworth Publishing Company 1990