



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Desarrollo de Ayudas Audio-Visuales para la
Clase de Acústica**

T E S I S
Ingeniero Mecánico Electricista
(Sistemas Eléctricos y Electrónicos)
QUE PRESENTAN:
MIGUEL ANGEL LOPEZ GOMEZ
OCTAVIO ARMERIA LEMUS
J. SALVADOR JIMENEZ CASTILLO

MEXICO, D. F.

1979



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

INDICE

	Pág.
Prólogo	
Introducción	1
Problemas Educativos de la Facultad de Ingeniería	2
Aspecto Teórico del Problema Enseñanza - Aprendizaje	4
Ayudas Audiovisuales para la Instrucción	7
Conclusiones	18
Láminas	19
Capítulo I. Historia de la Acústica	20
Capítulo II. Movimientos Ondas y Vibraciones	44
Capítulo III. El Sonido	57
Capítulo IV. Ruido: Control y Medición	71
Capítulo V. Introducción al Funcionamiento de los Instrumentos Musicales	112
Capítulo VI. Audición	137
Capítulo VII. Micrófonos	155
Capítulo VIII. Altavoces	177
Capítulo IX. Baffles	195
Capítulo X. Grabación del Sonido	215
Capítulo XI. Sistemas para la Reproducción del Sonido	237
Capítulo XII. Acústica Arquitectónica	243

INTRODUCCION

Dada la situación actual de nuestra escuela, donde problemas tales como la gran población estudiantil, bajo índice de aprovechamiento y recursos limitados son evidentes, la búsqueda y aplicación de mejores medios de enseñanza, acordes a las características y posibilidades de la Facultad, se debe considerar una decisión necesaria y realista.

Lo anterior justifica, creemos, la posición adoptada por nosotros, alumnos de la Facultad, al intentar dar nuestra aportación (muy modesta por cierto) a la solución de un problema educativo que nos afecta directamente. Se trata del mejoramiento de la materia "Acústica" en todo lo posible. Lo que constituye actualmente una necesidad específica de la Facultad de Ingeniería.

No ignoramos que formamos parte de una gran comunidad universitaria donde existen, a diversos niveles, personas más capacitadas que nosotros para llevar a cabo importantes mejoramientos en programas de educación y planes de estudios. Pero también conocemos la realidad de nuestra Universidad y la gran variedad de problemas y deficiencias que la aquejan y que en ocasiones nos hacen pensar que es mejor actuar que esperar.

Nuestra intención al elaborar la presente tesis fue no esperar a que otros vinieran a hacer un trabajo que en gran parte corresponde a los propios alumnos de esta escuela, los que siempre se han mostrado decididos a dar su colaboración al respecto.

Se pretende, entonces, dar aquí algunos puntos de vista propios de los autores y otros complementados grandemente mediante la consulta de los principales interesados, esto es, los demás estudiantes de la materia.

Nuestro marco está limitado, en este trabajo, al aspecto de las ayudas audiovisuales como lo indica el título. Sin embargo, en la parte inicial nuestro estudio se amplía lo necesario en otros aspectos más generales de la educación a fin de situarnos y aclarar nuestro problema.

PROBLEMAS EDUCATIVOS DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

En la Facultad de Ingeniería, que forma parte de la U.N.A.M., llamada nuestra Máxima Casa de Estudios, podría suponerse que se encuentran - gran parte de los mejores maestros de ingeniería del país. Que aplican en sus cursos las técnicas de enseñanza más avanzadas y en donde se obtienen los resultados educativos más altos que puedan esperarse.

Cualquier persona puede desmentir las anteriores suposiciones e indicar nos que no es posible que sucedan las cosas así. Las condiciones reales de la Facultad no lo permiten. En esta escuela, como en todas, existen - múltiples problemas, educativos, administrativos, laborales, financieros, etc., y los organismos especiales que se dedican actualmente a su solución. Esporádicamente, algunos problemas han estallado y puesto en crisis la organización de la Facultad y han impedido el logro cien por ciento satisfactorio de sus objetivos.

En el plano académico, es importante señalar otras causas que impiden el cumplimiento, cualitativo y cuantitativo, de los programas y planes de estudios.

Sin considerar la posible incompetencia de algunos maestros, no se pueden imponer de manera oficial métodos de enseñanza especiales en todas las materias, aún cuando se pueda imponer un ritmo de avance como en las materias Departamentales. La legislación universitaria (Libertad de cátedra) libra a los maestros de la utilización de métodos o medios específicos para el cumplimiento de sus obligaciones. Por lo que, utilizarán, los que según su criterio y capacidad, crean adecuados.

El papel que los alumnos juegan en este asunto, también, es de suma importancia. Es bien conocido que algunos alumnos no poseen el mismo nivel de preparación que otros y que su rapidez de aprendizaje no es la misma, por lo que su rendimiento será desigual. Los factores que afectan la calidad de la educación van desde el excesivo número de alumnos por grupo, hasta las diferentes motivaciones que tienen los alumnos para asistir al curso.

En base a lo anteriormente señalado, se puede establecer que la utilización de diferentes medios en actividades de enseñanza no garantiza, por sí misma, el aprendizaje de los alumnos, ya que en el proceso educativo intervienen muchos factores más.

El presente trabajo se enfoca en forma particular en el curso de Acústica, pero trata de tomar en cuenta los problemas generales de la Facultad que se han mencionado antes.

Para Acústica se recomienda un mejoramiento de los medios de enseñanza con objeto de elevar la calidad del curso. Para esto se consideraron las siguientes hipótesis:

- Existe la necesidad, en general en todos los cursos de cualquier escuela, y en particular en el curso de Acústica de la Facultad de Ingeniería, de medios más eficaces en la exposición de la clase que la exposición oral.
- Es muy importante conocer medios de enseñanza y utilización de la tecnología de la enseñanza para alcanzar diversas metas educativas.
- Los recursos para el aprendizaje que emplean el maestro y sus alumnos afectan la eficacia del programa educativo.
- Como un resultado de usar creativamente diversos medios de enseñanza, aumentamos las probabilidades de que los estudiantes retengan mejor las cosas aprendidas y ejecuten mejor las habilidades que se deben formar en ellos.

ASPECTO TEORICO DEL PROBLEMA ENSEÑANZA - APRENDIZAJE

Debido a sus rasgos y capacidades únicos, el aprendizaje es mucho más importante para el hombre, que para ningún otro miembro del reino animal. Para adquirir la cultura de su grupo, los seres humanos permanecen largos períodos de dependencia respecto a los adultos.

En la mayoría de las situaciones de la vida, el aprendizaje no es ningún problema serio. A través de la historia humana, los padres enseñaron a los hijos y los maestros a los aprendices sintiendo poca necesidad de captar alguna teoría del aprendizaje. Se enseñaba diciendo y enseñando cómo se hacían las cosas, felicitando al que aprendía, si lo hacía bien, y regañando o castigando cuando alguien procedía mal. Tiempo después, la enseñanza dejó de ser sencilla y surgieron las escuelas como ambientes especiales para facilitar el aprendizaje. Desde entonces surgieron problemas aún palpables en nuestros días. Por ejemplo, el lograr ciertos niveles en materias escolares tales como Matemáticas, Historia o alguna otra. Este tipo de materias parecen a los que aprenden algo muy distinto de las clases de aprendizaje de las tareas normales de la vida cotidiana. A menudo su aplicación a los problemas diarios no parece clara. Tales materias sorprenden a quien estudia por ser tan diferentes a los trabajos manuales y conocimientos prácticos necesarios para continuar la vida social, económica o política en todos los días.

Los maestros se han dado cuenta desde hace mucho tiempo que este tipo de problemas determinan a menudo que el aprendizaje sea deficiente. Para mejorar esta situación se han analizado y criticado las prácticas escolares y han sido propuestas diversas soluciones. Pero se puede establecer que cuando los educadores construyen su plan de estudios, seleccionan sus materiales y eligen sus técnicas, la forma en que lo hacen depende en amplio grado de la manera como definen el 'aprendizaje'. Todos los que enseñan tienen una teoría del aprendizaje o de lo contrario su acción sería ciega y sin objeto. Pero no todos son capaces de describir su teoría en términos explícitos, en cuyo caso se puede deducir generalmente de sus acciones.

En la obra "Bases psicológicas de la educación", Bigge y Hunt analizan las diez más importantes teorías del aprendizaje que han surgido en el mundo occidental, desde la antigüedad hasta nuestros días, y que todavía prevalecen en las escuelas. Ahí se enumeran las teorías desarrolladas antes del siglo XX que son:

- La teoría de la disciplina mental testa, cuyas bases se tomaron de las enseñanzas de San Agustín. Teoría propagada por Johannes Calvin y - Edwards, entre otros, que señala la importancia del ejercicio de las facultades mentales.

- La disciplina mental humanista, de Platón y Aristóteles, que pretende el adiestramiento del poder mental intrínseco.
- La teoría del Desarrollo Natural, basada en el naturalismo romántico de J. J. Rousseau y F. Froebel.
- La teoría de la percepción o herbartismo, de J. F. Herbart, que nos señala que la importancia de la enseñanza consiste en la adición de nuevos estados mentales o ideas a un acervo de otros ya antiguos en el inconsciente.

Las teorías surgidas en el siglo XX se agrupan alrededor de dos grandes familias, la familia asociacionista E-R y la familia de campo Gestalt.

La familia asociacionista está formada por tres teorías.

- Teoría de la unión estímulo-respuesta (E-R) cuyo sistema psicológico se denomina conexionismo. Considera al hombre como un organismo neutro-pasivo o reactivo, con muchas conexiones E-R en potencia. La importancia de la enseñanza es que, según esta teoría, promueve la adquisición de conexiones E-R deseados. Fue fundada por E. L. Thorndike.
- Teoría del condicionamiento. Su sistema psicológico se denomina Conductismo. Concibe al hombre como un organismo neutro-pasivo o reactivo, con innatos impulsos reflexivos y emociones. Basa la transferencia de la enseñanza en respuestas o reflejos condicionados y considera que la función de ésta es la promoción y adhesión de respuestas deseadas a los estímulos apropiados.
- Teoría del Reforzamiento y Condicionamiento. En su concepción de la moral básica y de la naturaleza activa del hombre, nos dice que el hombre es un organismo neutro-pasivo, con reflejos y necesidades innatos con estímulos impulsivos. La enseñanza se logra cuando se obtienen respuestas condicionadas o reforzadas, mediante sucesivos cambios sistemáticos en el ambiente de los organismos, para aumentar la posibilidad de las respuestas deseadas. Hull y B. F. Skinner desarrollaron esta teoría que originó la aparición de la Enseñanza Programada y las máquinas de Enseñanza.
- La otra familia es conocida como familia de las teorías cognoscitivas de campo Gestalt. Está formada por las Teorías de la Comprensión, Comprensión del objetivo, y del Campo Cognoscitivo. Consideraremos sólo la teoría de la Comprensión por las dificultades de terminología que ofrecen las otras, y por ser semejantes entre sí. Su concepción del hombre es que éste es un ser neutro en cuanto a su moral básica, esto es, no nace ni bueno ni malo, y en cuanto a su naturaleza activa, el hombre es activo en sus relaciones con el ambiente y su actividad sigue las leyes psicológicas de organización. Dentro de esta teoría,

el aprendizaje es un proceso relativista por el cual, quien aprende, desarrolla nuevos conceptos o cambia los anteriores. El objetivo primordial de la educación es fomentar la solución inteligente de toda la clase de problemas con las que se presentan las personas. La enseñanza debe promover la comprensión de los problemas presentados para su solución. -- Cuando se logra ésto, ante un nuevo problema habrá una transposición de conocimientos hacia la nueva situación.

Podemos decir ahora, de gran cantidad de maestros, que no se puede observar en sus métodos educativos ningún propósito racional o algún plan de largo alcance, sino que usan una mezcolanza de métodos sin ninguna orientación teórica.

Se puede replicar diciendo que no hay respuestas finales a las preguntas referentes al aprendizaje, y no hay ninguna teoría que sea absolutamente superior a las demás. Sin embargo, un maestro puede desarrollar su propia teoría, y debido a su armonía interna y conveniencia educativa, puede sostenerla. Entonces, la cuestión no es si el maestro tiene una teoría, sino más bien cuán sostenible es ésta. Cada teoría o escuela de pensamiento contiene, explícita o implícitamente, una serie de prácticas docentes. De lo anterior afirmamos que el maestro que utiliza un sistemático cuerpo teórico tiene base para tomar decisiones que muy probablemente conducirán a resultados efectivos en las aulas.

AYUDAS AUDIO VISUALES PARA LA INSTRUCCION

Importancia de los medios audiovisuales.

El desarrollo de la llamada educación audiovisual ha sido de gran importancia en los últimos años. Un indicio de esto es el gran número y variedad de materiales para ayudas que han sido manufacturados y comercializados así como la aparición de asociaciones y profesionistas especializados en esta área, los cuales están dedicados a la investigación y aplicación de métodos audiovisuales mejorados. La publicación de libros y revistas sobre el tema es sumamente numerosa.

Recientemente, es posible comprobar la utilización de educación con las técnicas audiovisuales en la industria, el comercio y las profesiones para educar y preparar al personal correspondiente.

Fácilmente se observa el gran interés por estos medios en todos los de más tipos de educación formal pública y privada así como en actividades recreativas, sociales, religiosas y de muchas otras clases.

De lo anterior podrá deducirse que la moderna instrucción audiovisual no es algo que carece de importancia, sino uno de los más importantes desarrollos educativos actuales.

Su fuerza y utilidad han quedado plenamente demostradas. La parte que les corresponde jugar en la modificación de la cultura humana es indudablemente muy grande.

Naturaleza de las ayudas audio-visuales.

Las ayudas audiovisuales son parte de un método de enseñanza que se propone contribuir a la presentación de las materias (conocimientos, conceptos, ideas) de modo a que sean más fácil y claramente comprendidas, apreciadas y aplicadas. Las ayudas audiovisuales no existen independientemente, ni son, por sí mismas, instructivas. En realidad, solo son ayudas o auxilios para la instrucción. Las ayudas son presentadas no como expedientes separados y distintos alrededor de los cuales son elaboradas las lecciones, sino como parte claramente relacionada e integrada de las propias lecciones.

Debe aclararse que la instrucción audiovisual no es un sustituto de los procedimientos educativos, por lo que no es justificable el temor de ciertas personas a una "instrucción mecanizada" que lograría que los maestros y los libros sean reemplazados por la radio, los discos, las películas cinematográficas, carteles y otros mecanismos incluidos en el programa audiovisual.

Siempre se practicará el escuchar, el leer y el observar; pero esas actividades serán realizadas con más éxito y más fácilmente si se utilizan apropiadamente estas ayudas.

La educación audiovisual tampoco es un simple entretenimiento. Hay -- maestros para los que cualquier dispositivo o procedimiento que tenga -- por objeto disminuir las dificultades de la enseñanza o hacer el trabajo -- escolar más interesante, representa una "pedagogía blanda", entretenimiento pero no educación.

Estos maestros sólo se basan en su observación de la semejanza de algunas ayudas audiovisuales con las diversiones comercializadas. Pero las ayudas audiovisuales no tienen por misión divertir a los alumnos, sino -- incrementar su interés y su comprensión de los temas que deber ser estudiados mediante la presentación de los diferentes aspectos de los mismos, especialmente mediante sus dos sentidos más importantes; la vista y el oído.

La instrucción audiovisual no es nueva. En realidad, debido a su sencillez y naturalidad, seguramente es el método más viejo empleado para -- transmitir ideas. Las estatuas, los vidrios de color y las pinturas de -- las catedrales medievales tenían como propósito instruir. Cada una de -- estas representaciones contaba una leyenda cuando los libros eran escasos y poca gente sabía leer.

Hasta en una educación más formalizada, las ayudas audiovisuales han -- sido usadas durante siglos. La arena, así como los tableros y pizarras sobre los cuales se hacían marcas y se trazaban diagramas, fueron los -- precursores del moderno pizarrón. Objetos reales y modelos han sido -- siempre usados para ilustrar e instruir. Aunque antiguamente no se sabía nada acerca del mapa eléctrico, el proyector opaco, el cinematógrafo, las excursiones filmadas, la radio o el disco, se conocían, cuando -- menos, el valor de las formas originales y básicas de la ayuda audiovisual.

La expresión "ayudas audiovisuales para la instrucción" nos parece la -- más apropiada en vez de educación audiovisual o instrucción audiovisual, para designar a todos los materiales usados en la clase o en otras situaciones instructivas para facilitar la inteligencia de la palabra hablada o escrita.

Tipos de ayudas audiovisuales.

Los tipos de ayuda audiovisual usados más comúnmente son los que se citan a continuación. Pueden ser clasificados de muy diversas maneras pero aquí sólo se indicará la extensión de la zona correspondiente.

Pizarrón y tablón de anuncios.

Dramatización: pantomima, juguete, alegoría, guiñol, sombras animadas.

Dibujos planos: fotograffas, copias y tarjetas postales.

Mapas: planos, en relieve, proyecciones, eléctricos, globos.

Modelos, objetos y ejemplares.

Cinematógrafo: mudo y sonoro.

Fonógrafos, tocadiscos y reproducciones; discos y transcripciones.

Carteles, historietas, recortes.

Radio, dictáfonos y altavoces.

Estereoscopos: manuales y telebinoculares; estereógrafos.

Difujos fijos: fotograffas e impresiones lisas.

Proyecciones: opacas y luminosas, transparencias positivas.

Placas transparentes: cristal, celofán, pelícua, cerámica.

Circuitos de televisión.

Viajes, excursiones, jiras, visitas.

Selección de Materiales.

Es poco práctico tratar de usar todos los tipos anteriores a la vez, en un solo programa educativo. Habrá que hacer una selección cuidadosa de los más adecuados para los fines que se desean. Para adquirir un criterio sobre una buena selección, habremos de considerar los siguientes puntos: - Del estudio de la lista anterior, es indudable que cada aparato tiene su -- función peculiar y puede ser usado más ventajosamente en unos escena- -- rios que en otros.

Un conocimiento de los usos especiales de cada ayuda es esencial para el aprovechamiento más inteligente de la misma. Hay ciertas técnicas más o menos determinadas para el uso de dichas ayudas, del propio modo que que las hay para preparar lecciones, hacer preguntas, verificar exáme-- nes y promover discusiones, de modo que el maestro no sólo debe de es-

tar familiarizado con ellas, sino que además debe poseer la capacidad para usarlas de manera adecuada y en el momento oportuno.

La ayuda debe ser apropiada a la edad, inteligencia y experiencia de los discípulos. Una ayuda sólo lo es si realmente ayuda y en tanto ayuda. Debe adaptarse al desenvolvimiento psicológico, intelectual y social del grupo que va a aprovecharse de ella.

Otro punto de vista muy importante para la selección es que, deben ser económicas desde el punto de vista financiero. Entendiendo que la medida del valor de un programa audiovisual no debe verse en la cantidad de dinero empleada en él, sino tan sólo en el grado con que los objetos de la inversión son inteligentemente usados.

De acuerdo con nuestras estimaciones, el material mínimo necesario y las actividades a desarrollar para la realización de esta tesis son:

1. Apuntes sobre la materia.
2. Material gráfico.
3. Recopilar información sobre el material filmográfico de que se dispone en la Facultad.
4. Recopilar información sobre material bibliográfico relacionado con la Acústica, al que puedan tener acceso los estudiantes de la materia.

Los apuntes están constituidos por 12 capítulos que cubren un programa de un semestre. Se notará que algunos temas poseen más énfasis que otros. Esta configuración, en cuanto a contenido, se les dió pensando en una reestructuración del actual programa. La participación de los alumnos fue de gran importancia, ya que propusieron modificaciones, dieron opiniones, determinaron contenidos, etc., para ayudar a la elaboración de estos apuntes.

Los pasos que se siguieron es este proceso son los que se enuncian a continuación. Al inicio del semestre se consultó al grupo por medio del siguiente cuestionario:

CUESTIONARIO # 1.

1. ¿ Porqué se inscribió en la materia de Acústica ?
2. ¿ Que entiende por Acústica ?
3. ¿ Que comentarios ha escuchado acerca de la clase y del maestro ?

4. ¿ Le gustaría hacer visitas a lugares de interés para la Materia ?
En caso afirmativo, proponga lugares.
5. ¿ Que espera obtener de las materias optativas ?
6. ¿ Que piensa de los trabajos en equipo ?
7. ¿ Se informó de los antecedentes necesarios para cursar esta asignatura ?

Siendo éstas las respuestas obtenidas:

1. ¿ Porqué se inscribió en la materia de Acústica ?

20	%	Porque me pareció interesante al pensar que aprendería nuevas cosas.
21.7	%	Curiosidad y afición a temas musicales.
17.4	%	Pense que era la materia optativa que más se adaptaba a mi área.
13.9	%	Porque me dijeron que estaba buena la clase y tenía un buen maestro.
13	%	Porque no tenía más para escoger de acuerdo al horario.
8	%	Otras respuestas diferentes entre sí.

Nota: Se han agrupado las respuestas que son equivalentes textualmente, por lo que los alumnos no respondieron con las mismas palabras.

2. ¿ Que entiende por Acústica ?

43.47	%	Es el estudio del sonido y sus aplicaciones.
30.43	%	Es una ciencia que trata del análisis de instrumentos musicales y sonidos musicales.
17.39	%	Es el tratado del comportamiento del sonido, su grabación y amplificación. Tiene aplicación en el diseño de auditorios, cines y otros locales.
8.71	%	Otras respuestas.

3. ¿ Que comentarios ha escuchado acerca de la clase y el maestro ?
- 26.08 % La clase es interesante y se aprende algo.
 - 21.74 % Que no es difícil y se aprueba fácilmente.
 - 17.39 % Que la clase no es pesada por ser a nivel informativo.
 - 17.39 % El profesor trata la materia en forma amena y en ocasiones habla de temas de interés no incluidos en el programa.
 - 17.39 % No se informaron.
4. ¿ Le gustaría hacer visitas a lugares de interés para la Materia ?
- 43.47 % Sí. A grabadoras de discos, a salas de conciertos, a fábricas de micrófonos, bocinas, etc. donde se puedan presentar pruebas de los mismos.
 - 30.46 % Sí. Pero condicionan su asistencia a la importancia de la visita, a los beneficios que se esperan, a su obligatoriedad y al horario y duración.
 - 26.08 % No. Se niegan a asistir principalmente porque dicen no tener tiempo libre fuera de clase.
5. ¿ Que espera obtener de las materias optativas ?
- 30.43 % Esperan obtener una aplicación de sus conocimientos ya adquiridos en otras materias.
 - 30.43 % Variar su campo de estudio. Adquirir conocimientos nuevos.
 - 21.74 % Profundizar un poco más sobre un área determinada de la Ingeniería. Aprender más a fondo algo.
 - 17.4 % Cumplir con el plan de estudios. Completar el número de créditos obligatorios de la carrera.
6. ¿ Que piensa de los trabajos en equipo ?
- 52.17 % Son positivos porque es la única manera de hacer ciertos trabajos muy extensos para una sola per-

sona.

- 21.7 % Que tienen sus desventajas porque no se conoce a la gente que formará el equipo y surgen problemas en la distribución del trabajo, velocidad de ejecución del mismo.
- 14.3 % Prefieren efectuar trabajos individuales.
- 11.8 % No dieron opinión
7. ¿ Se informó de los antecedentes necesarios para cursar esta asignatura ?
- 13 % Si indagaron.
- 87 % No intentó informarse. Motivos: con lo estudiado hasta ese nivel de la carrera se puede continuar con cualquier materia dentro de la misma área. No hay facilidades para obtener esa información. (17.39 %)

El conocimiento de estas respuestas influyó notablemente en la elaboración de una primera versión de los apuntes, misma que fué dada a conocer a los alumnos para su análisis y crítica. Al finalizar el curso se aplico un segundo cuestionario con los resultados siguientes:

CUESTIONARIO # 2.

1. ¿ Resultó ser la clase lo que esperaba cuando se inscribió ?
- ¿ Si ?, ¿ No ? ¿ Porqué ?
- 60.86 % De las respuestas fueron afirmativas.
- 39.14 % De las respuestas fueron negativas. Faltó profundidad en algunos temas (13 %). Esperaba más cosas prácticas (13 %). No la esperaba tan extensa (8.69 %). La materia se impartió en forma muy dispersa (4.35 %).
2. ¿ Tuvo los antecedentes necesarios para llevar el curso ?
- ¿ Que materias considera como antecedentes ?
- 66.6 % De las respuestas fueron positivas.

25.6 % De las respuestas fueron negativas.

8.3 % De las respuestas no son definidas, por ejemplo "No se tiene frescos los conceptos necesarios"

Las materias mencionadas como antecedentes son: Mecánica II, Matemáticas IV, Electricidad y magnetismo, Teoría Electro--magnética, Circuitos E. M. II, Electrónica I y Electrónica III.

3. ¿ Que temas vistos le agradaron más ?

33 % Micrófonos.

33 % Altavoces

25 % Anatomía del oído

16.6 % Baffles

16.6 % Reproducción del sonido

16.6 % Electroacústica en general

8.3 % Tdos los temas.

Nota: Cada alumno mencionó uno o varios temas que le agradaron, por lo tanto la suma de los porcentajes será diferente de 100 %.

4. ¿ Que temas no le gustaron ?

8.3 % No le agradó el tema Micrófonos. Causas: debe ser más práctica la enseñanza de éste y otros temas.

8.3 % No le agradó el tema Historia de la acústica. Causas: Debe ser menos extenso el tema. Errores en los apuntes.

8.3 % No le agradó el tema Vibraciones. Causas: Errores en los apuntes, poca claridad en el empleo de ecuaciones diferenciales.

20.75 % No le agradó el tema de Anatomía del Oído. Causas: Fallas de claridad en el material audiovisual. No consideran de mucha importancia el conocimiento de la anatomía del Oído ni la fisiología.

12.45 % Mencionaron temas dispersos, diferentes a los ya anotados.

5. ¿ Qué temas piensa que se deben ampliar ?

16.66 % Baffles

16.66 % Micrófonos

16.66 % Sonorización de salas

12.49 % Acústica musical

8.33 % Contaminación por ruido

8.33 % Amplificación del sonido

8.33 % Sistema nervioso en el oído

8.33 % Todos los temas.

Nota: Uno o más temas mencionados por alumno.

6. ¿ Que tema no visto en clase, le gustaría que se impartiese ?

35 % Estudios de grabación del sonido

16.66 % Selección de amplificadores de sonido

4.16 % Aplicaciones de la acústica en Geología

4.16 % Sonar

4.16 % Analogías mecánico-acústicas

12.49 % Temas mencionados por una sola persona.

16.66 % No les parece que haga falta aumentar el número de temas.

7. ¿ Como calificaría la clase y qué opinión tiene del profesor ?

Sobre el conocimiento de la materia que el profesor mostró

25 % Excelente

71.7 % Bueno

8.3 % Regular

Sobre la forma de exponer la clase.

- | | |
|---------|---|
| 41.7 % | Opinaron que era clara. |
| 25 % | Opinaron que era amena. |
| 8.33 % | Opinaron que era confusa, desordenada. |
| 8.33 % | Opinaron que era aburrida, haciendo falta mayor participación de los alumnos. |
| 16.66 % | Otras opiniones, no representativas. |
8. ¿ Qué problemas tuvo para la realización de su trabajo en equipo ?
- | | |
|--------|--|
| 50 % | Dificultades para adquirir bibliografía. Bibliografía cara y difícil de encontrar en Bibliotecas. Poca bibliografía. |
| 16.6 % | Poca colaboración de Instituciones oficiales que pudieron proporcionar información sobre el trabajo. |
| 16.6 % | Dificultades para la realización física. |
| 8.33 % | Poca colaboración de industrias relacionadas con el tema. |
| 8.33 % | Ninguna dificultad. |

La presentación de los apuntes se complementa con el uso de otras ayudas distintas de las impresas. Fueron elegidas las transparencias a colores para proyección, principalmente por su facilidad de transporte y aplicación y costo razonable. Se elaboraron un total de 118 transparencias de 35 mm. Su contenido incluye dibujos, tablas y fotografías que apoyan los diferentes temas del programa de Acústica propuesto en los apuntes. Las transparencias han sido proyectadas en clase y se han oído críticas y sugerencias que motivaron la modificación y mejoramiento de algunas y la elaboración de otras nuevas.

No contamos con los medios para filmar películas, pero se pueden aprovechar las ya realizadas por instituciones nacionales y las que pueden facilitarnos Embajadas de diversos países. El centro de Estudios de la Facultad de Ingeniería, con sólo llenar una solicitud, realiza los trámites para obtener las películas en préstamo.

Después de los apuntes se anexa una lista de películas que ya hemos visto y recomendamos su inclusión en el programa de Acústica, aclarando que existen muchas más que, a criterio del maestro, pueden ser utilizadas luego de analizarlas.

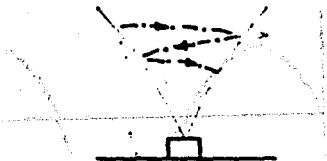
Finalmente, se dan relaciones de los libros sobre Acústica y su número de colocación en las bibliotecas Central, del edificio principal y del - - DESFI. Las fuentes de información sobre el material filmográfico y bibliográfico, se determinaron pensando en que la consulta de estos materiales debe ser práctica y de realmente fácil acceso a los estudiantes.

CONCLUSIONES

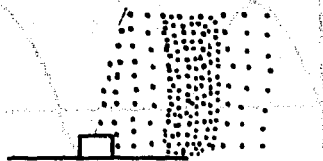
Acústica es una asignatura optativa del área de Ingeniería de Sistemas - Eléctricos y Electrónicos. Generalmente los alumnos inscritos en ella cursan los últimos semestres de la carrera y en su gran mayoría han elegido sus materias optativas dentro de la subárea de Electrónica. Lo anterior ha motivado la siguiente situación. Aún cuando la Acústica es una ciencia muy extensa, los alumnos muestran su mayor interés por temas específicos de la Electroacústica, seguramente impulsados por su formación en el área electrónica. Por lo tanto, recomendamos mayor énfasis en la enseñanza de dicho tema.

En semestres anteriores, se asignaba a los estudiantes, como la parte práctica del curso, la realización con sus propios medios de dispositivos acústicos y mediciones. Nosotros creemos que una mejor enseñanza de la acústica presupone una mayor actividad práctica que la actualmente realizada. Por lo que se recomienda la creación de un laboratorio de Acústica que servirá para todos los temas de la asignatura. En él se lograría una mejor comprensión de los fenómenos acústicos y se harían mediciones e investigaciones útiles a la materia.

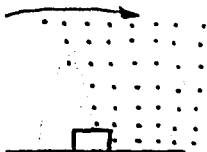
LAMINAS



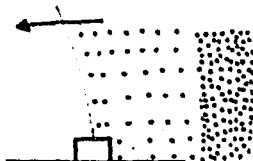
LAMINA DE ACERO, UNO DE CUYOS EXTREMOS ESTA FIJO Y EL OTRO SE SEPARA DE SU POSICION DE EQUILIBRIO.



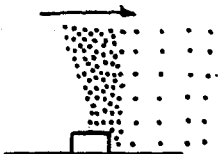
EL AUMENTO DE PRESION CON RELACION A LA PRESION ATMOSFERICA SE PROPAGA A LA DERECHA.



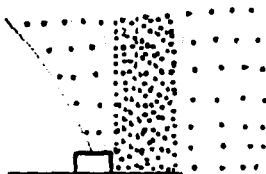
ANTES DE SOLTAR LA LAMINA, EL AIRE A SU DERECHA ESTA SOMETIDO A LA PRESION ATMOSFERICA.



LA LAMINA VUELVE A LA IZQUIERDA Y EL AIRE ADYACENTE SE ENRARECE. AIRE EN EXPANSION.



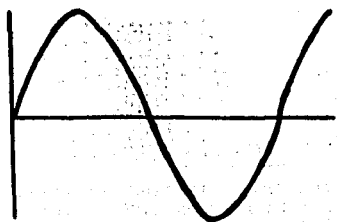
EN SU MOVIMIENTO A LA DERECHA, LA LAMINA ARRASTRA EL AIRE QUE ESTA EN CONTACTO CON ELLA. AIRE COMPRIMIDO.



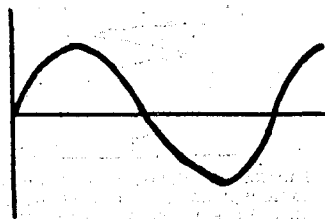
EL AIRE EN EXPANSION SIGUE AL DESPLAZAMIENTO HACIA LA DERECHA.

FORMACION DE LAS ONDAS DE COMPRESION Y EXPANSION.

I N T E N S I D A D

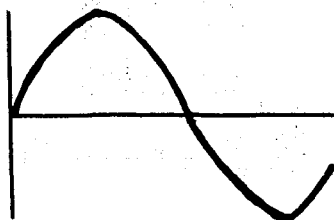


SONIDO FUERTE

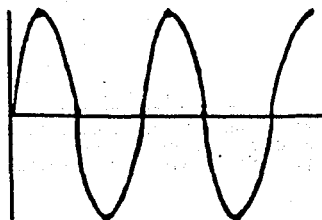


SONIDO DEBIL

T O N O

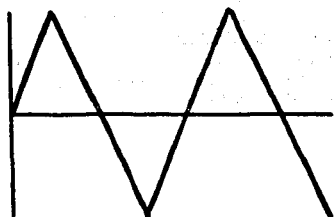


SONIDO GRAVE

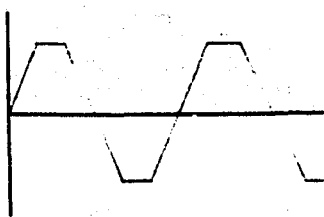


SONIDO AGUDO

T I M B R E



SONIDO A



SONIDO B

C A R A C T E R I S T I C A S D E L S O N I D O

DESCRIPCION DEL SONIDO	NIVEL DE INTENSIDAD
Jet supersónico	130 db
Umbral de la sensación desagradable	120 db
Banda de rock	110 db
Máquina remachadora	95 db
Tren elevado	90 db
Calle de mucho tráfico	75 db
Conversación ordinaria	65 db
Automóvil en marcha moderada	50 db
Radio funcionando moderadamente	40 db
Conversación en voz baja	20 db
Murmullo de las hojas de árbol	10 db
Umbral de la sensación sonora	0 db

NIVELES DE INTENSIDAD EN db,
DE ALGUNOS SONIDOS O RUIDOS
DE ORIGEN DIVERSO.

	Presión Sonora p (u _{har})	(N/m ²)	Intensidad I (W/m ²)	Velocidad de la par- tícula v (m/s)	Nivel de pre- sión so- nora L (dB)
Arriba del umbral del dolor	2000	200	100	5X10 ⁻¹	140
	200	20	1	5X10 ⁻²	120
	20	2	10 ⁻²	5X10 ⁻³	100
	2	2X10 ⁻¹	10 ⁻⁴	5X10 ⁻⁴	80
	2X10 ⁻¹	2X10 ⁻²	10 ⁻⁶	5X10 ⁻⁵	60
	2X10 ⁻²	2X10 ⁻³	10 ⁻⁸	5X10 ⁻⁶	40
	2X10 ⁻³	2X10 ⁻⁴	10 ⁻¹⁰	5X10 ⁻⁷	20
Punto de referen- cia (aproximada-- mente el umbral - de la audición).	2X10 ⁻⁴	2X10 ⁻⁵	10 ⁻¹²	5X10 ⁻⁸	0

VALORES TÍPICOS DE LA INTENSIDAD DEL SONIDO
EN EL AIRE.

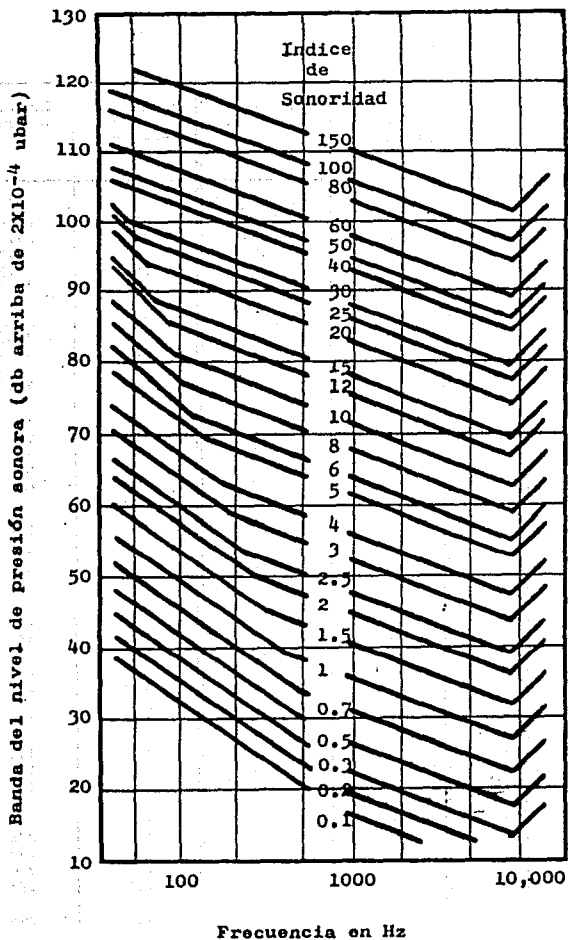
A PARTIR DE

ESTA PAGINA

**FALLA
DE
ORIGEN**

Banda del nivel de presión dB	Indice de sonoridad	Banda del nivel de presión dB	Indice de sonoridad	Banda del nivel de presión dB	Indice de sonoridad
15		50	2.68	85	25.0
16		51	2.84	86	24.7
17		52	3.0	87	26.5
18	0.10	53	3.2	88	28.5
19	0.14	54	3.4	89	30.5
20	0.18	55	3.6	90	33.0
21	0.22	56	3.8	91	35.3
22	0.26	57	4.1	92	38.0
23	0.30	58	4.3	93	41.0
24	0.35	59	4.6	94	44.0
25	0.40	60	4.9	95	48
26	0.45	61	5.2	96	52
27	0.50	62	5.5	97	56
28	0.55	63	5.8	98	61
29	0.61	64	6.2	99	66
30	0.67	65	6.6	100	71
31	0.73	66	7.0	101	77
32	0.80	67	7.4	102	83
33	0.87	68	7.8	103	90
34	0.94	69	8.3	104	97
35	1.02	70	8.8	105	105
36	1.10	71	9.3	106	113
37	1.18	72	9.9	107	121
38	1.27	73	10.5	108	130
39	1.35	74	11.1	109	139
40	1.44	75	11.8	110	149
41	1.54	76	12.6	111	160
42	1.64	77	13.5	112	171
43	1.75	78	14.4	113	184
44	1.87	79	15.3	114	197
45	1.99	80	16.4	115	211
46	2.11	81	17.5	116	226
47	2.24	82	18.7	117	242
48	2.38	83	20.0	118	260
49	2.53	84	21.4	119	278
				120	298

TABLA PARA DERIVAR LA FAMILIA DE CURVAS DE SONORIDAD A 1 KHz.

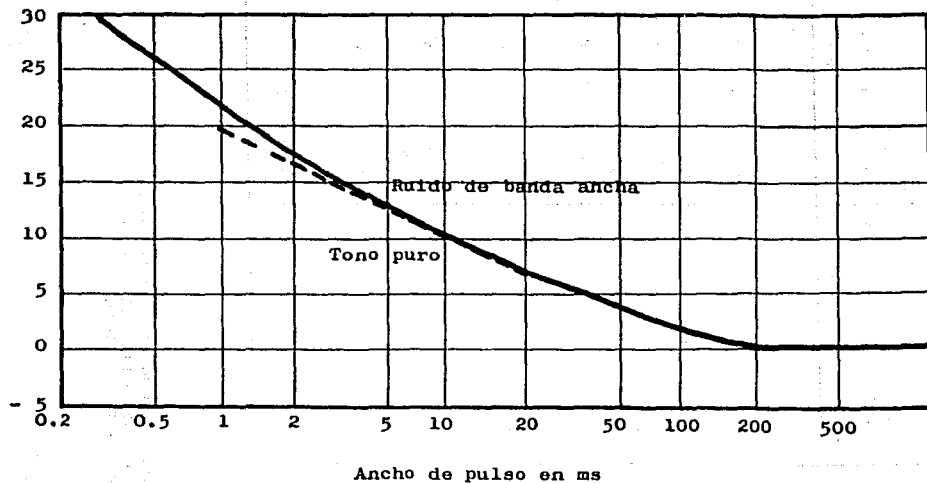


CURVAS PARA DETERMINAR LOS INDICES DE SONORIDAD USANDO EL METODO STEVENS' MEDIDAS EN BANDAS DE FRECUENCIA PARA UNA OCTAVA, 1/2 OCTAVA Y 1/3 OCTAVA.

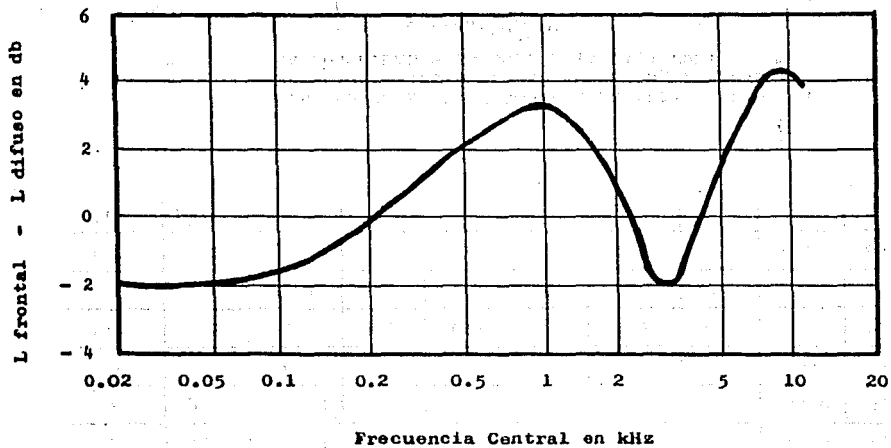
Frecuen- cia pre- ferida	1	1/2	1/3	Frecuen- cia pre- ferida	1	1/2	1/3	Frecuen- cia pre- ferida	1	1/2	1/3
	octava				octava				octava		
16	X	X	X	160			X	1600			X
18				180		X		1800			
20			X	200			X	2000	X	X	X
22.4		X		224				2240			
25			X	250	X	X	X	2500			X
28				280				2800		X	
31.5	X	X	X	315			X	3150			X
35.5				355		X		3550			
40			X	400			X	4000	X	X	X
45		X		450				4500			
50			X	500	X	X	X	5000			X
56				560				5600		X	
63	X	X	X	630			X	6300			X
71				710		X		7100			
80			X	800			X	8000	X	X	X
90		X		900				9000			
100			X	1000	X	X	X	10000			X
112				1120				11200		X	
125	X	X	X	1250			X	12500			X
140				1400		X		14000			
160			X	1600			X	16000	X	X	X

MEDIDAS DE FRECUENCIAS PREFERIDAS EN
ACUSTICA PARA FILTROS DE 1 OCTAVA, -
1/2 OCTAVA Y 1/3 OCTAVA.

Nivel del cambio requerido para la
misma sonoridad en db.



DURACION DEL DECREMENTO DE UN SONIDO; SU NIVEL DE PRESION SONORA DEBE INCREMENTARSE PARA MANTENER LA MISMA SONORIDAD.



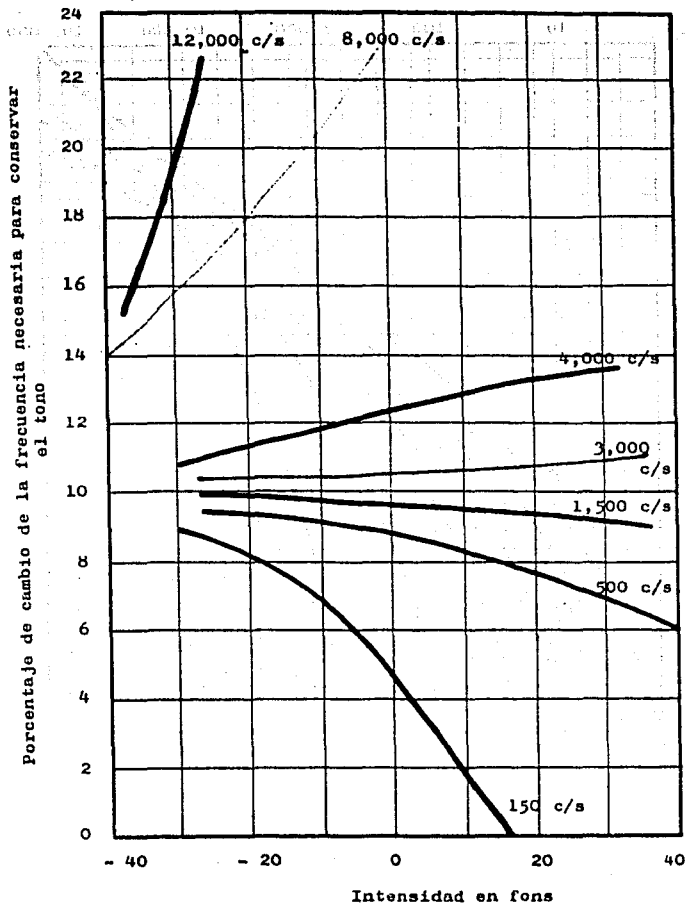
DIFERENCIA ENTRE CONTORNOS DE IGUAL NIVEL SONORO EN
CAMPOS DE SONIDO FRONTAL Y DIFUSO.

S o n s .

Fons.	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
40	1	1.07	1.15	1.23	1.32	1.41	1.51	1.62	1.74	1.87
50	2	2.14	2.30	2.46	2.64	2.83	3.03	3.25	3.48	3.73
60	4	4.29	4.59	4.92	5.28	5.66	6.06	6.50	6.96	7.46
70	8	8.57	9.20	9.85	10.6	11.3	12.1	13.0	13.9	14.9
80	16	17.1	18.4	19.7	21.1	22.6	24.3	26.0	27.9	29.9
90	32	34.3	36.8	39.4	42.2	45.3	48.5	52.0	57.7	59.7
100	64	68.6	73.5	78.8	84.4	90.5	97.0	104	111	119
110	128	137	147	158	169	181	194	208	223	239
120	256	274	294	315	338	368	388	416	446	478
130	512	549	588	630	676	724	776	832	891	955
140	1024									

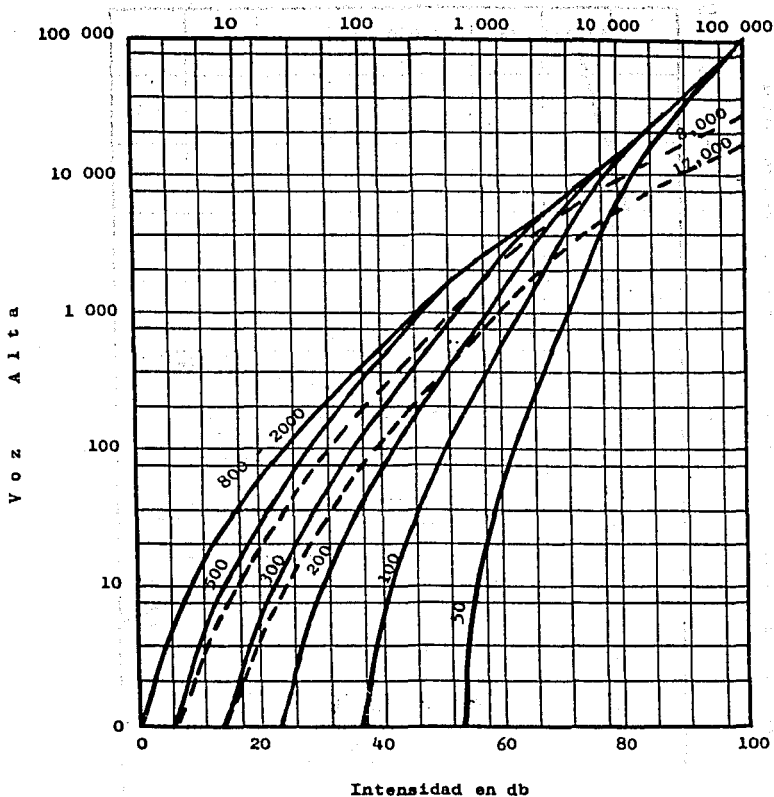
CONVERSION DE LA SONORIDAD DE FONOS A SONS. LA RELACION ENTRE EL NIVEL SONORO N_s EN FONOS Y LA SONORIDAD S EN SONS ESTA DADA POR:

$$S = 2^{(N_s - 40)/10}$$

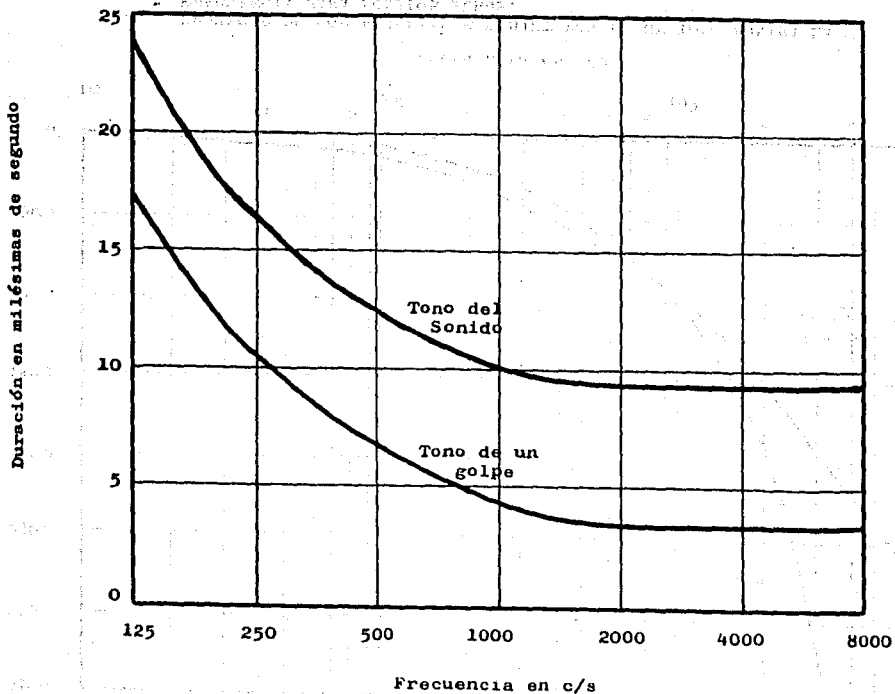


CURVAS QUE MUESTRAN QUE EL TONO NO ES INDEPENDIENTE DE LA INTENSIDAD. CUANDO LA INTENSIDAD DE UN SONIDO PURO AUMENTA, EL TONO PERCIBIDO PUEDE AUMENTAR O DISMINUIR, - DEPENDIENDO DE SU FRECUENCIA ORIGINAL.

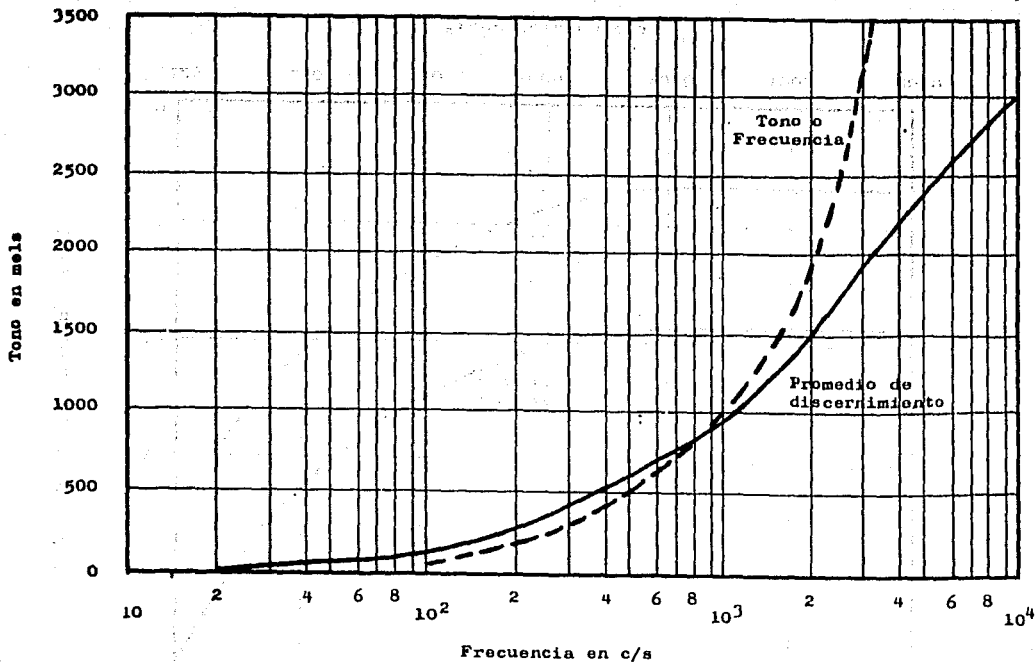
Presión Relativa



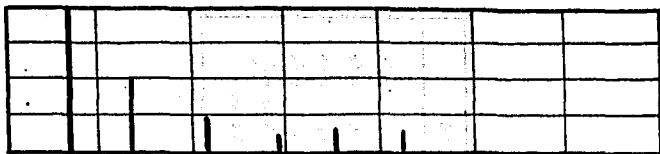
RELACION ENTRE LA INTENSIDAD Y LA VOZ ALTA DE UN TONO PURO A VARIAS FRECUENCIAS.



DURACION MINIMA PARA EL TONO DEL SONIDO Y DE UN GOLPE.

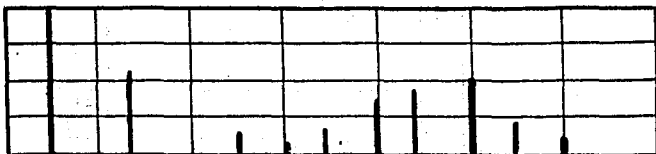


PROMEDIO DE LOS RESULTADOS SUBJETIVOS DE UN TONO CONTRA LA FRECUENCIA PARA SONIDOS Puros.



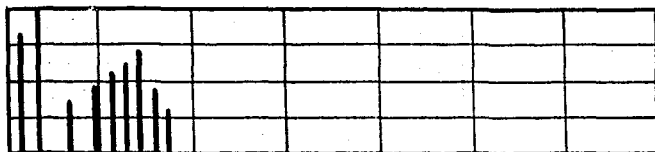
V I O L I N

R e l a t i v a

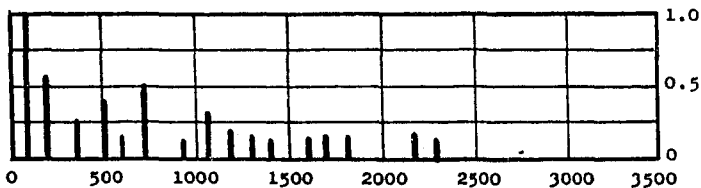


C L A R I N E T E

A m p l i t u d



T R O M B O N



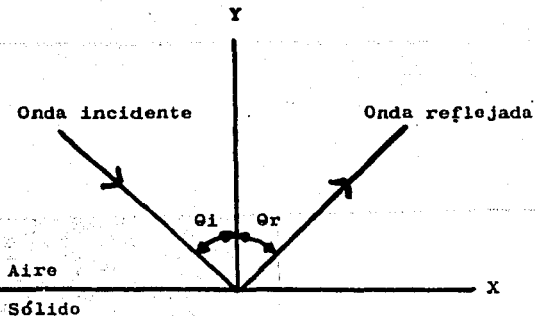
Frecuencia en c/s.

P I A N O

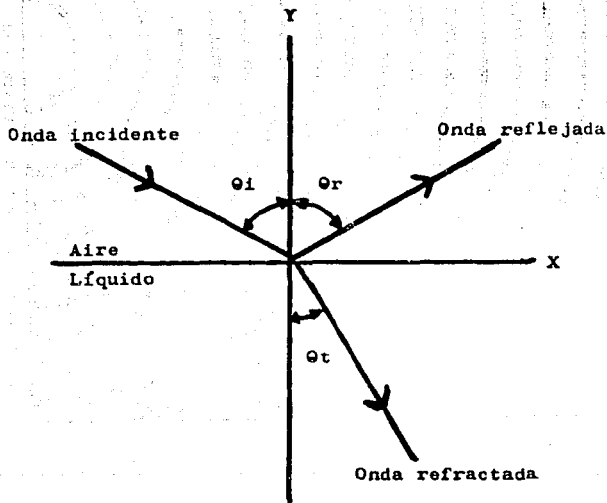
ESPECTRO DE LOS SONIDOS DE ALGUNOS INSTRUMENTOS MUSICALES.

SOLIDOS a 0°C		LIQUIDOS a 0°C		GASES a 0°C	
Granito	6000 m/s	Agua dulce	1493.2 m/s	Aire	331.5 m/s
Hierro	5130 m/s	Agua de mar	1532.8 m/s	Hidrógeno	1269 m/s
Cobre	3750 m/s	(Salinidad de 3.6%)		Oxígeno	317 m/s
Aluminio	5100 m/s	Kerosen	1315 m/s	Nitrógeno	339 m/s
Plomo	1230 m/s	Mercurio	1450 m/s	Vapor a 100°C	404 m/s
Lucite	1840 m/s			Agua a 20°C	344 m/s

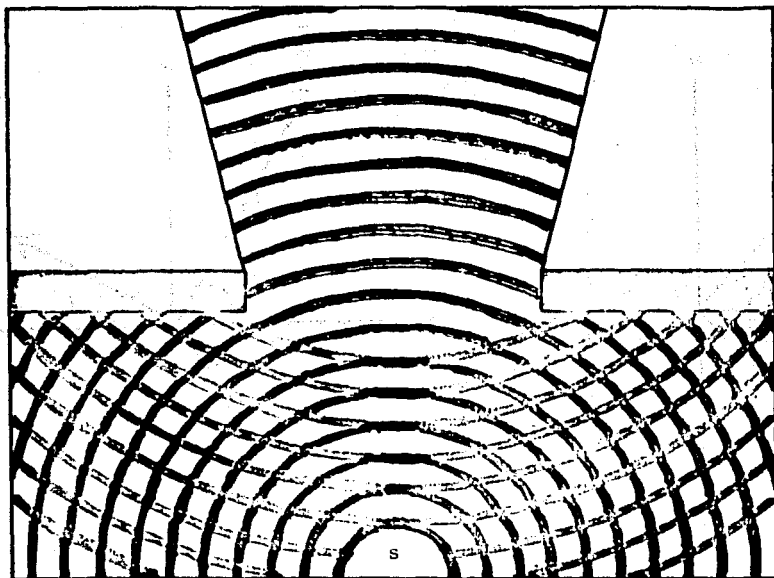
VELOCIDAD DE PROPAGACION DEL SONIDO PARA
 DIFERENTES MEDIOS EN QUE SE MUESTRA QUE
 EL SONIDO ES INDEPENDIENTE DE LA FRECUEN
 CIA Y DEPENDIENTE DE LA TEMPERATURA Y LA
 PRESION.



REFLEXION DEL SONIDO

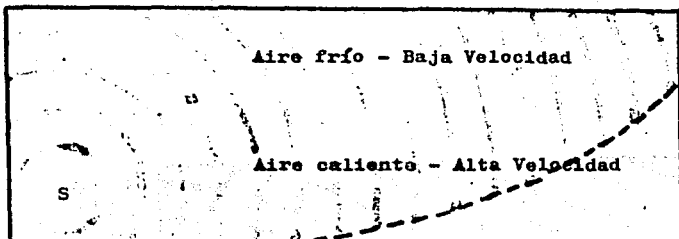


REFRACCION DEL SONIDO

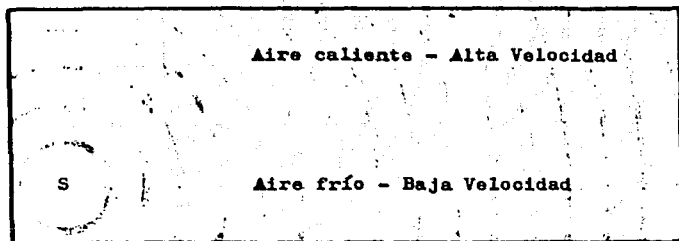


EL SONIDO EMITIDO POR UNA FUENTE S CHOCA SOBRE LA PARED REFLECTORA Y SOBRE LA ABERTURA GRANDE. LAS DIMENSIONES DE LA ABERTURA SON GRANDES COMPARADAS CON LA LONGITUD DE ONDA DEL SONIDO. BAJO ESTAS CONDICIONES, EL SONIDO SE TRANSMITE POR EL AREA DEFINIDA POR LA ABERTURA SIN PERDIDA DE INTENSIDAD. ADEMAS, EL RAYO TRANSMITIDO QUEDA GEOMETRICAMENTE DEFINIDO POR LA ABERTURA.

R E F L E X I O N

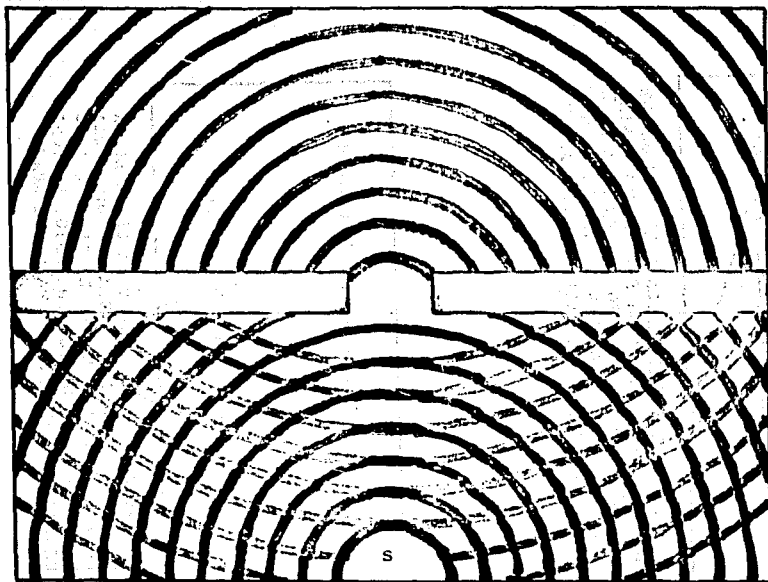


S = FUENTE DEL SONIDO. EL AIRE CALIENTE ESTA CERCA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA Y EL AIRE FRIO A UNA DISTANCIA DE LA TIERRA. LA VELOCIDAD DEL SONIDO EN EL AIRE CALIENTE ES MAYOR QUE EN EL FRIO. POR LO TANTO, EL SONIDO DOBLARA DE DIRECCION O SE REFRACTARA HACIA ARRIBA.



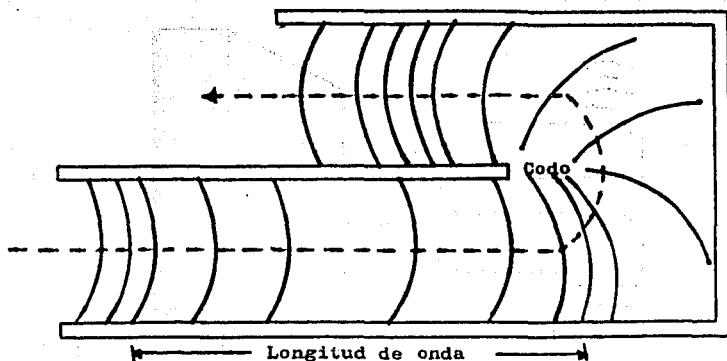
S = FUENTE DEL SONIDO. EL AIRE FRIO ESTA CERCA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA Y EL CALIENTE A UNA DISTANCIA DE LA TIERRA. LA VELOCIDAD DEL SONIDO EN EL AIRE CALIENTE ES MAYOR QUE EN EL FRIO. POR LO TANTO, EL SONIDO DOBLARA DE DIRECCION O SE REFRACTARA HACIA ABAJO.

REFRACCION EN LA ATMOSFERA

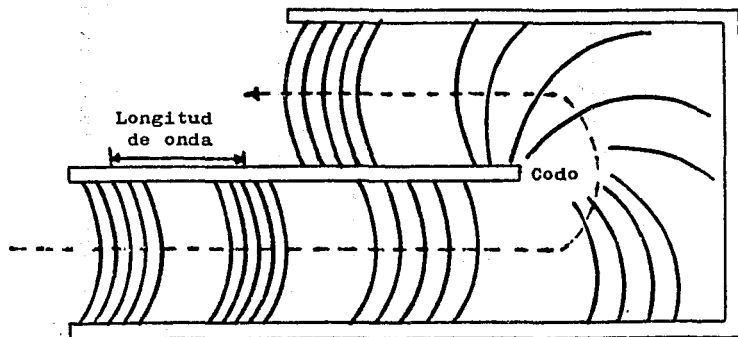


LAS ONDAS EMITIDAS POR LA FUENTE S CHOCAN CONTRA LA PARED REFLECTORA Y LA PEQUENA ABERTURA. A MAYOR PORCION DEL SONIDO INCIDENTE LAS ONDAS SE REFLEJAN. A MENOR PORCION DEL SONIDO INCIDENTE LA ONDA ES TRANSMITIDA POR LA ABERTURA. LAS ONDAS QUE PASAN POR LA ABERTURA SON RADIADAS EN TODAS DIRECCIONES.

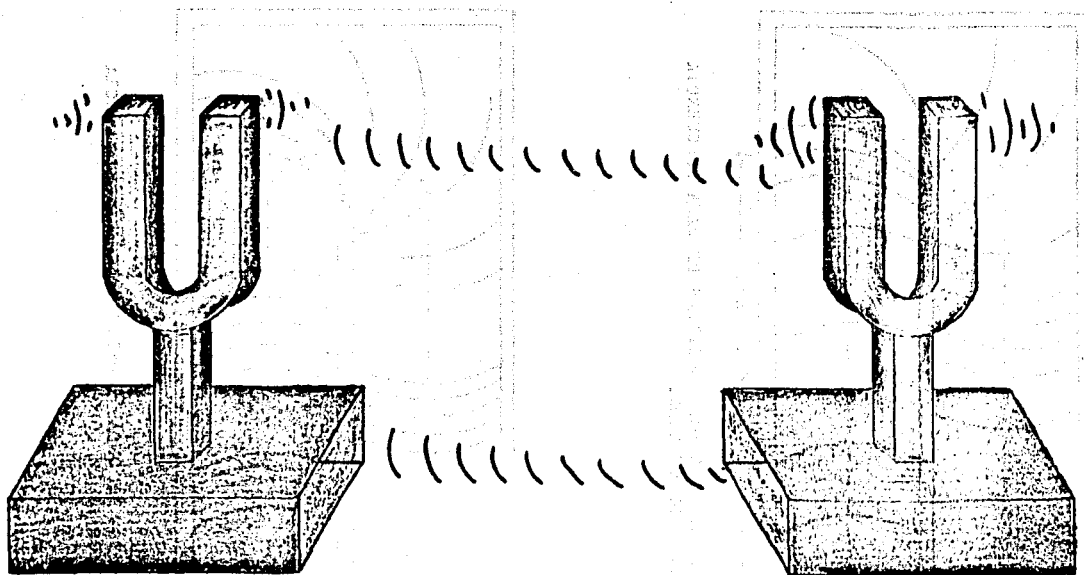
D I F R A C C I O N














DIFRACCION DE ONDAS ACUSTICAS DE BAJA FRECUENCIA ALREDEDOR DE UN CODO.



DIFRACCION DE ONDAS ACUSTICAS DE ALTA FRECUENCIA ALREDEDOR DE UN CODO.



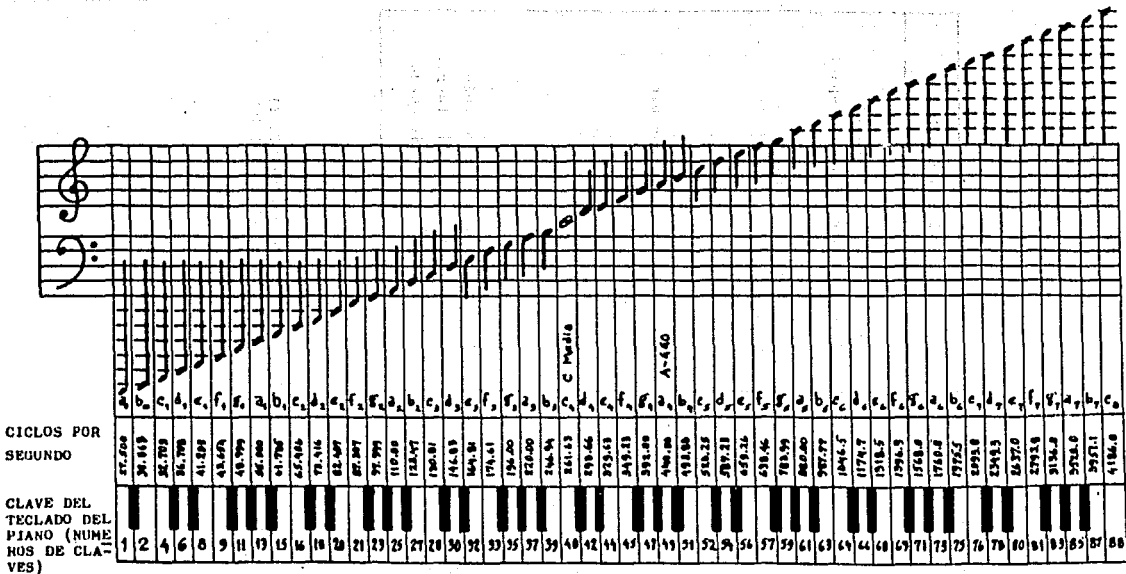
RESONANCIA INDUCIDA EN DIAPASONES IDENTICOS. -

FIGURA	NOMBRE	OBSERVACION
	Llave o Clave de Sol	Se coloca en el 2º renglón del pentagrama.
	Llave o Clave de Fa	Se coloca en el 4º renglón del pentagrama.
	Sostenido	Aumenta 1/2 tono a la nota que lo lleva.
	Bemol	Disminuye 1/2 tono a la nota que lo lleva.
	Calderón	Dura 1/2 tiempo más la nota o silencio que lo lleva encima.
	Ligadura	Se coloca entre notas del mismo nombre para evitar la repetición.
	Barra de Compás	Divide un compás de otro.
	Barra Punteada	El trozo anterior se repite.
	Barra Final	El trozo termina.
	Compás de dos por cuatro	Numerador indica el número de notas que entran en cada compás y el Denominador la figura de esas notas.
	Punto Adicional	El punto para cualquier nota o silencio aumenta su duración 1/2 tiempo más.

CUADRO QUE MUESTRA LOS SIMBOLOS EMPLEADOS EN LA MUSICA Y SU SIGNIFICADO.

FIGURA	NOMBRE	DURACION O TIEMPO (seg)
	Negra o Cuarto	1
	Blanca o Mitad	2
	Redonda o Unidad	4
	Corchea u Octava	8
	Doble Corchea	16
	Triple Corchea	32
	Cuadruple Corchea	64
	Silencio de Negra	1
	Silencio de Blanca	2
	Silencio de Redonda	4
	Silencio de Octava	8
	Silencio de Dieciseisava	16
	Silencio de Treintaidosava	32
	Silencio de Sesentaicuatroava	64

CUADRO QUE MUESTRA LAS NOTAS Y SILENCIOS CON SU DURACION EN SEGUNDOS.



FRECUENCIA DE CADA NOTA MUSICAL
 CON LA NOTACION DE C. G. Conn -
 Ltd. DE ACUERDO A LAS TECLAS DE
 UN PIANO.

MOVIMIENTO Y VOZ	SIGNIFICADO
<p>Largo Andante Moderato Allegro Vivo Presto</p>	<p>Muy lento o muy despacio Moderadamente lento o despacio A Velocidad media. Moderadamente rápido Rápido Muy rápido</p>
<p>Pianisissimo (ppp) Pianissimo (pp) Piano (p) Mezzo piano (mp) Mezzo forte (mf) Forte (f) Fortissimo (ff) Fortisissimo (fff) < ></p>	<p>Tan quedo como sea posible Muy quedo Quedo Medio quedo Medio fuerte Fuerte Muy fuerte Tan fuerte como sea posible Cantar poco a poco más fuerte Cantar poco a poco más quedo</p>

CUADRO QUE INDICA EL SIGNIFICADO DEL MOVIMIENTO DE UNA PIEZA MUSICAL Y LA FUERZA CON LA CUAL SE DEBE CANTAR.

Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
c ₄	d ₄	e ₄	f ₄	g ₄	a ₄	b ₄	c ₅
261	293	329	349	392	440	493	523

Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
c ₃	d ₃	e ₃	f ₃	g ₃	a ₃	b ₃	c ₄
130	146	164	174	196	220	246	261

NOMBRE DE CADA NOTA DE ACUERDO A LA POSICION EN EL PENTAGRAMA, ASI COMO SU CLAVE Y FRECUENCIA, CUYA PARTITURA CORRESPONDE A UN PIANO.

NOTA	I N T E R V A L O	RAZON	COCIENTE	DECIMAL
C - D	Tono Entero Mayor	$9/8:1$	$9/8$	1.125
D - E	Tono Entero Menor	$5/4:9/8$	$10/9$	1.111
E - F	Semitono Mayor	$4/3:5/4$	$16/15$	1.067
F - G	Tono Entero Mayor	$3/2:4/3$	$9/8$	1.125
G - A	Tono Entero Menor	$5/3:3/2$	$10/9$	1.111
A - B	Tono Entero Mayor	$15/8:5/3$	$9/8$	1.125
B - C	Semitono Mayor	$2:15/8$	$16/15$	1.067

NOTAS DE LA ESCALA JUSTA EN C MAYOR.

NOTA	C MAYOR	D MAYOR	E MAYOR
c ₄	264		
D	297	297	
E	330	334	330
F	352	371	372
G	396	396	413
A	440	445	440
B	495	495	495
c ₅	528	557	550
d ₅	594	594	618
e ₅	658	668	658

COMPARACION DE LAS FRECUENCIAS DE VIBRACION DE 3 ESCALAS EXACTAS MAYORES, UTILIZANDO C = 264 Hz.

NOTACION	C MAYOR	C MENOR	INTERVALOS MULTIPLICADORES PARA C MAYOR
c ₄	264	264 X 1.125 (9/8)	1.125 (9/8)
D	297	297 X 1.067 (16/15)	1.111 (10/9)
E	330	317 X 1.111 (10/9)	1.067 (16/15)
F	352	352 X 1.125 (9/8)	1.125 (9/8)
G	396	396 X 1.067 (16/15)	1.111 (10/9)
A	440	422 X 1.125 (9/8)	1.125 (9/8)
B	495	475 X 1.111 (10/8)	1.067 (16/15)
c ₅	528	528	

INCREMENTOS DE C MAYOR CON RESPECTO A LA ESCALA
DE C MENOR. DE LA ESCALA DIATONICA.

NOTACION	FRECUENCIA JUSTA	INTERVALO DE UNA NOTA JUSTA	INTERVALO JUSTO TOTAL	INTERVALO TEMPERADO TOTAL	FRECUENCIA TEMPERADA
c	264	1,000		1,000	262
C#, D ^b				1,059	277
D	297	1,125	1,125	1,122	294
D#, E ^b				1,189	311
E	330	1,111	1,250	1,260	330
F	352	1,067	1,333	1,335	349
F#, G ^b				1,414	370
G	396	1,125	1,500	1,498	392
G#, A ^b				1,587	415
A	440	1,111	1,667	1,682	440
A#, B ^b				1,782	466
B	495	1,125	1,875	1,888	494
C	528	1,067	2,000	2,000	528

COMPARACION DEL INTERVALO Y LA FRECUENCIA DE LA ESCALA JUSTA CON LA TEMPERADA O TEMPERADA.

TIPOS DE INSTRUMENTOS MUSICALES

A) INSTRUMENTOS DE CUERDA

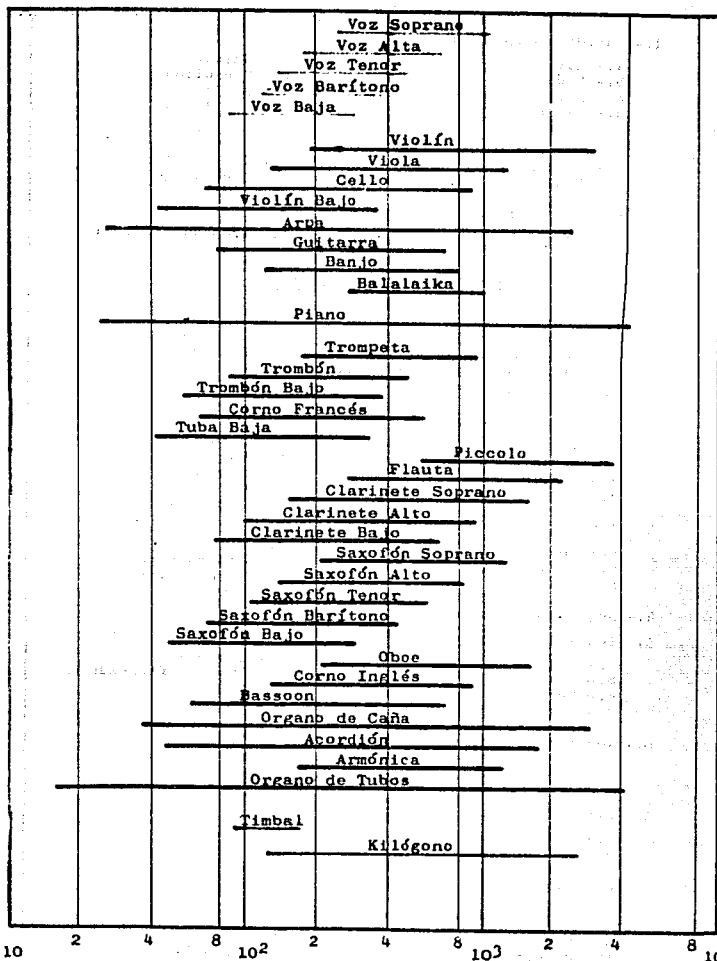
- 1.- Cuerdas punteadas:
 - a.- Lira
 - b.- Laúd
 - c.- Arpa
 - d.- Cítara
 - e.- Guitarra
 - f.- Mandolina
 - g.- Banjo
 - h.- Bolalaika
- 2.- Cuerdas frotadas o arqueadas:
 - a.- Violín
 - b.- Viola
 - c.- Violoncello
 - d.- Contrabajo
- 3.- Cuerdas golpeadas o percutidas:
 - a.- Piano
 - b.- Tímpano o Cémbolo

B) INSTRUMENTOS DE VIENTO

- 1.- Tubos abiertos:
 - a.- Silbato
 - b.- Tubos de órgano
 - c.- Flageolet o flauta de caña
 - d.- Recorder
 - e.- Ocarina
 - f.- Flauta
 - g.- Piccolo
 - h.- Fife
- 2.- Tubos abiertos de caña simple:
 - a.- Acordión
 - b.- Armónica
 - c.- Clarinete
 - d.- Clarinete Bajo
 - e.- Saxofón
 - f.- Gaita
 - g.- Flauta de Pan
 - h.- Corno de Bassot
- 3.- Tubos abiertos de caña doble:
 - a.- Oboe
 - b.- Corno Inglés
 - c.- Bassoon
 - d.- Fagot
 - e.- Contrafagot
 - f.- Sarrosófano
- 4.- Órgano (combinación de estos tubos)
- 5.- Tubos de embocadura:
 - a.- Bugle
 - b.- Trompeta
 - c.- Corno Francés
 - d.- Corneta
 - e.- Trombón
 - f.- Tuba u oficleide
 - g.- Clarón
 - h.- Cornetín
- 6.- Voz humana (cuerda vocal)

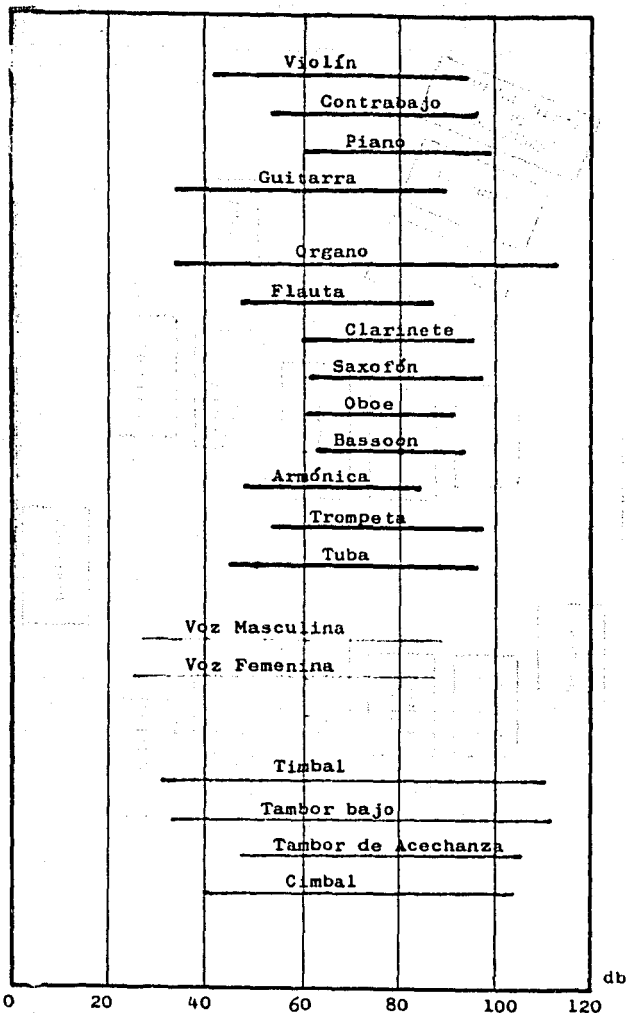
C) INSTRUMENTOS DE PERCUSION

- 1.- Barras metálicas y de madera:
 - a.- Diapasón
 - b.- Kildgono
 - c.- Marimba
 - d.- Glockenspiel
 - e.- Triángulo
 - f.- Tímbre
 - g.- Celesta
- 2.- De placas metálicas y de madera:
 - a.- Campana
 - b.- Carrilón
 - c.- Kettedrums
 - d.- Platillos
 - e.- Címbalos
 - f.- Castañuelas o crótalos
- 3.- De membranas apergamizadas y templadas:
 - a.- Tímboles
 - b.- Tamborín
 - c.- Tambor Militar
 - d.- Pndero
 - e.- Bombo
 - f.- Gongó o tam - tam



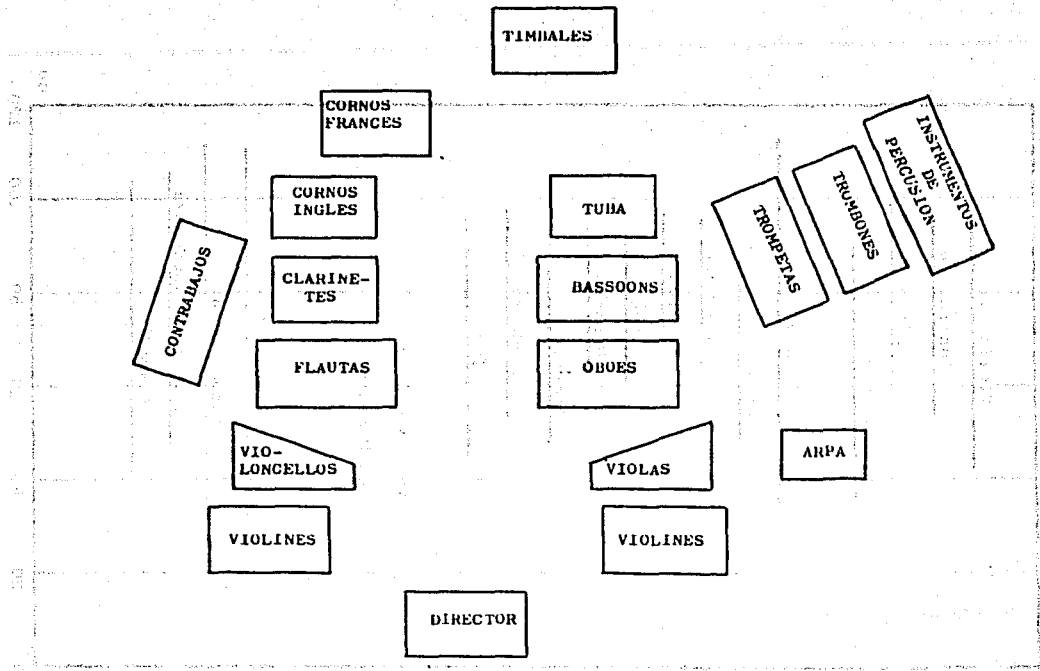
c/s

RANGOS DE FRECUENCIA DE LAS VOCES Y DE VARIOS INSTRUMENTOS MUSICALES.



RANGOS DE INTENSIDAD DE VARIOS INSTRUMENTOS MUSICALES A UNA DISTANCIA DE 3.5 m.

INSTRUMENTOS Y SU DISTRIBUCION EN LA ORQUESTRA SINFONICA

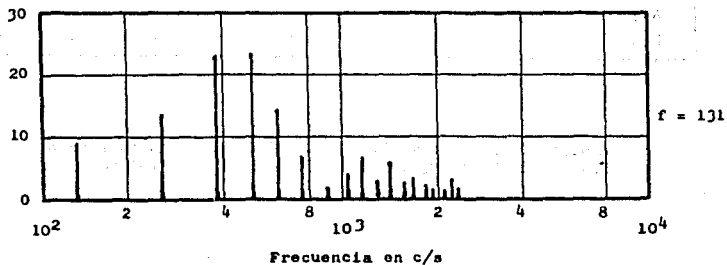
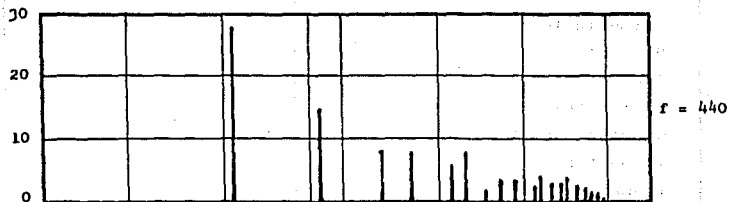
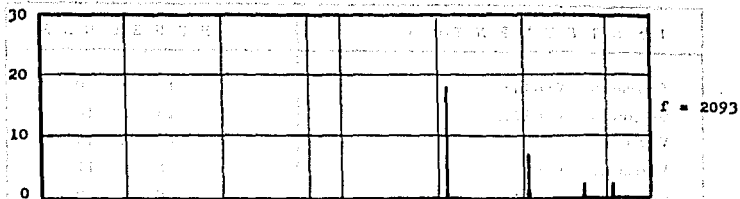


COLOCACION DE LOS INSTRUMENTOS EN UNA ORQUESTRA SINFONICA.

I N S T R U M E N T O S	P E R S O N A S
Primeros Violines	16 a 20
Segundos Violines	14 a 18
Violas	10 a 14
Violoncellos	8 a 12
Contrabajos	8 a 10
Flautas	2 a 3
Piccolos	1 a 2
Oboes	3
Corno Inglés	1
Bassoon	3
Contrabassoon	1
Clarinetes	3
Clarinete Bajo	1
Trompetas	4
Trombones	4
Corno francés	4 a 12
Tuba	1
Tímpano	1
Arpa	1
Percusión	1 a 5

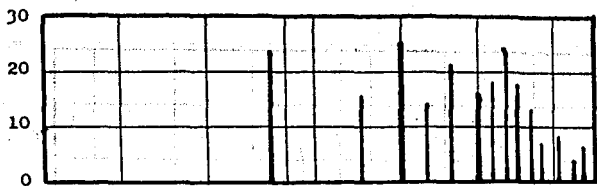
NUMERO DE PERSONAS QUE INTERVIENEN EN UNA ORQUESTA SINFONICA EN LA QUE PUEDE INCLUIRSE EL PIANO.

Respuesta en db

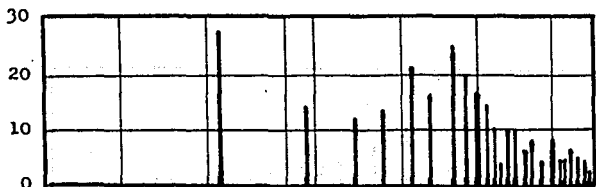


ESPECTRO ACUSTICO DE TRES TONOS DE UN PLANO.

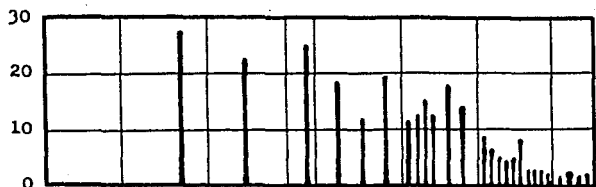
Resposta en db



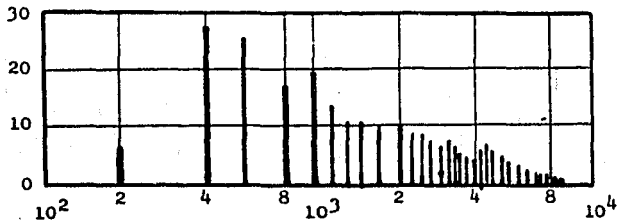
f = 659



f = 440



f = 294

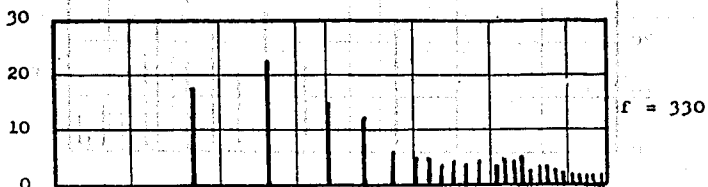


f = 196

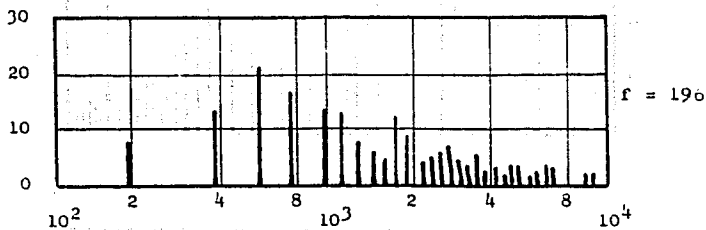
Frecuencia en c/s

ESPECTRO ACUSTICO DE LAS CUATRO CUERDAS
DE UN VIOLIN.

Respuesta en db



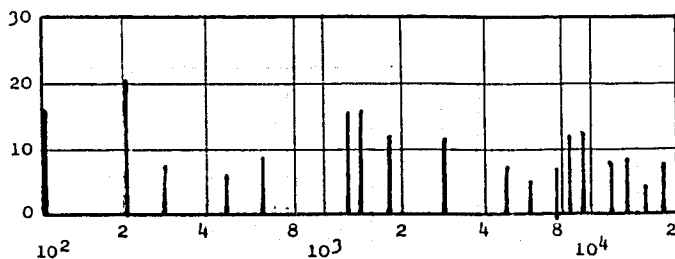
$f = 330$



$f = 190$

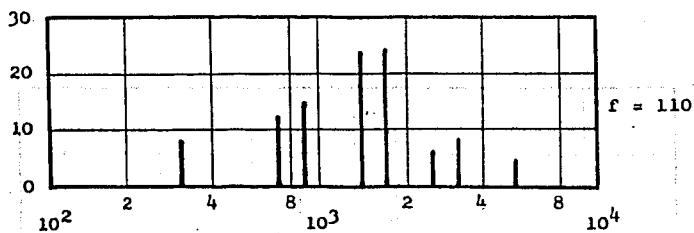
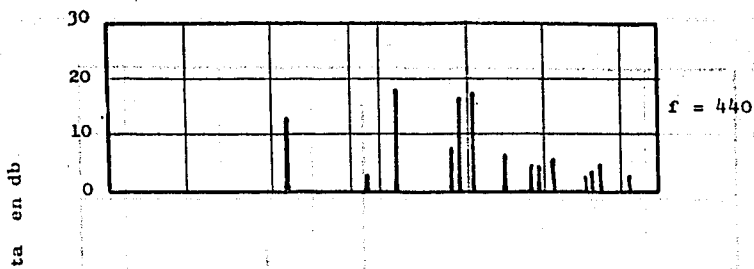
ESPECTRO ACUSTICO DE DOS TONOS DE UNA GUITARRA.

Respuesta en db

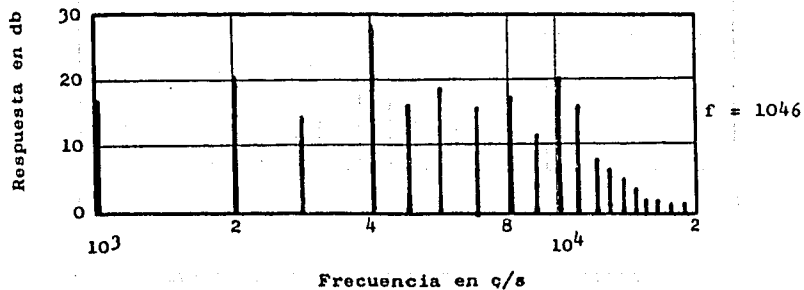


Frecuencia en c/s

ESPECTRO ACUSTICO DE UN CIMBALO DE 30.5 cm. DE DIAMETRO.

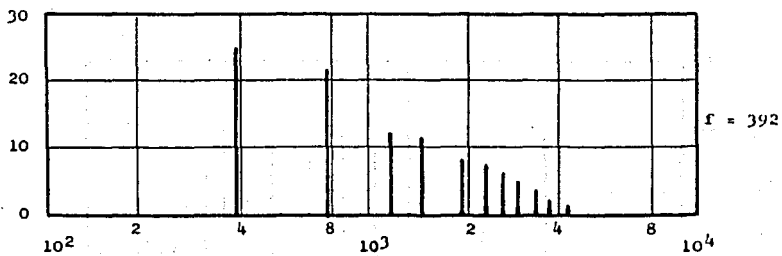
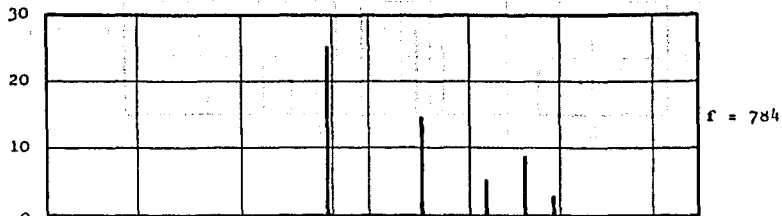
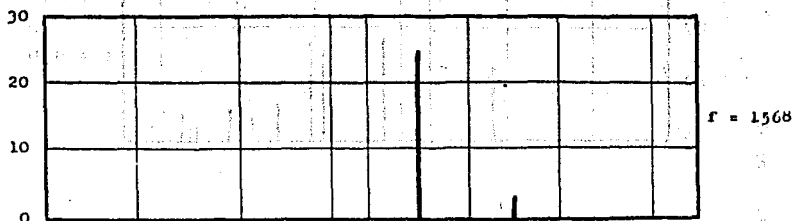


ESPECTRO ACUSTICO DE DOS CAMPANAS DI
FERENTES.



ESPECTRO ACUSTICO DE UN TONO DE UNA ARMONICA.

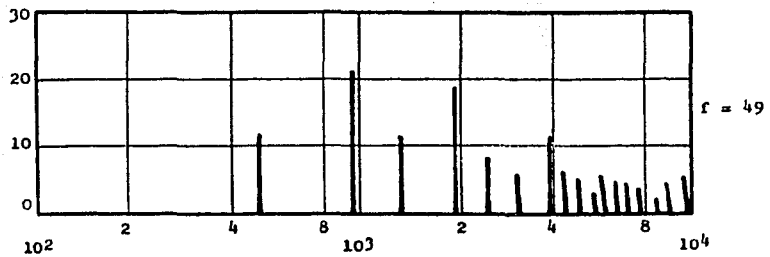
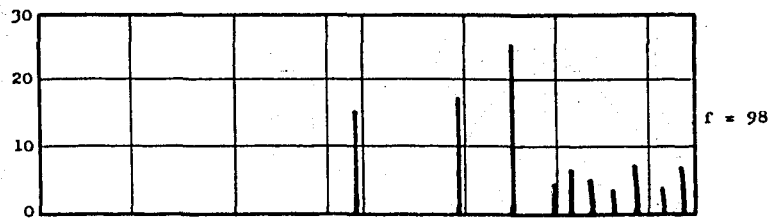
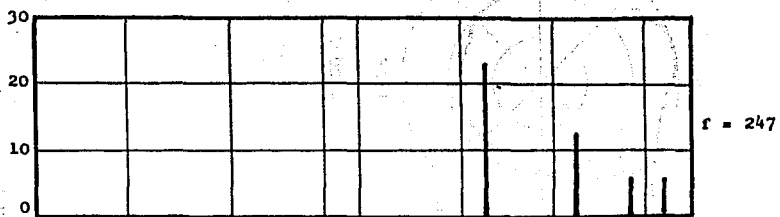
Respuesta en db



Frecuencia en c/s

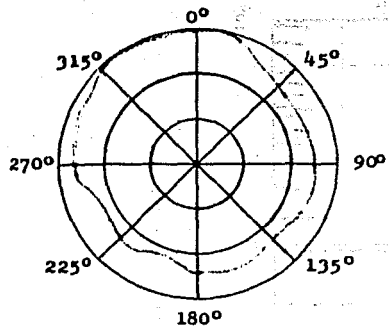
SPECTRO ACUSTICO DE TRES TONOS DE UNA FLAUTA.

Respuesta en db

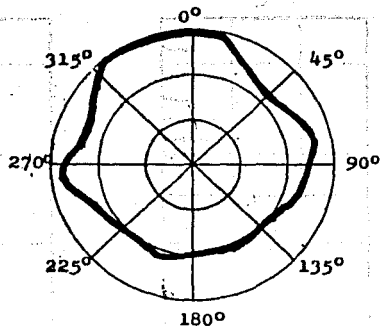


Frecuencia en c/s

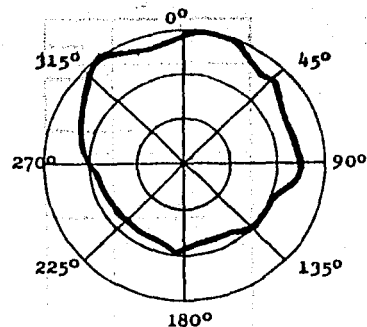
ESPECTRO ACUSTICO DE TRES TONOS DE UNA TUBA.



$f = 400$



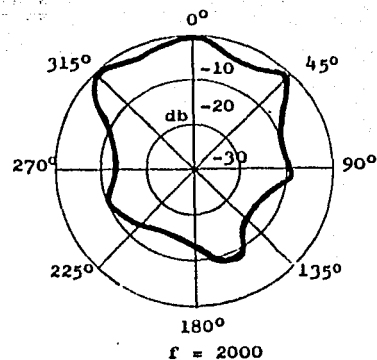
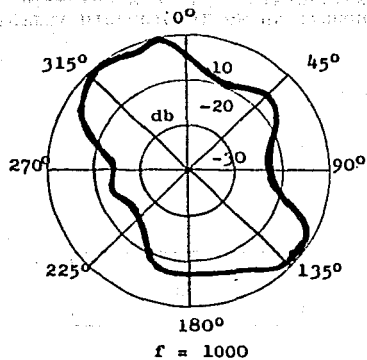
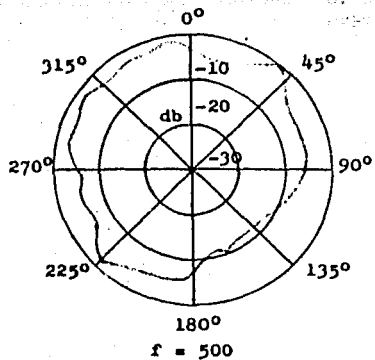
$f = 1000$



$f = 2000$

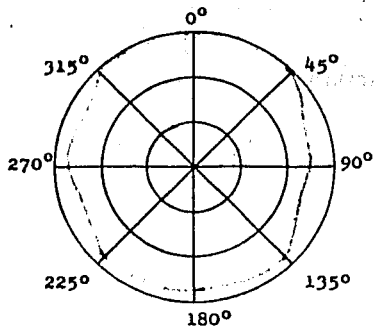
PIANO DE COLA

CARACTERISTICA DIRECCIONAL DE UN GRAN PIANO PARA TRES
DIFERENTES FRECUENCIAS.

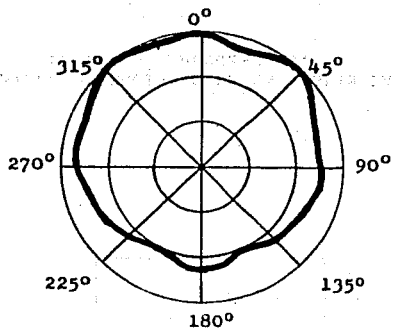


V I O L I N

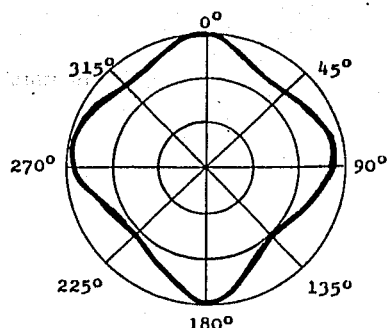
CARACTERISTICA DIRECCIONAL DE UN VIOLIN PARA TRES DI-
FERENTES FRECUENCIAS.



$f = 60$



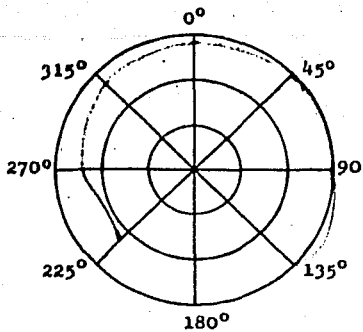
$f = 120$



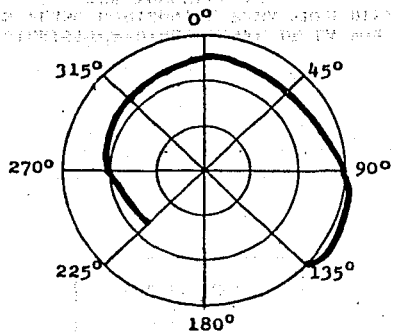
$f = 400$

TAMBOR BAJO

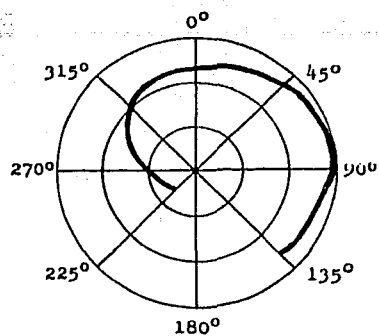
CARACTERISTICA DIRECCIONAL DE UN TAMBOR BAJO DE 66 cm. DE DIAMETRO PARA TRES DIFERENTES FRECUENCIAS.



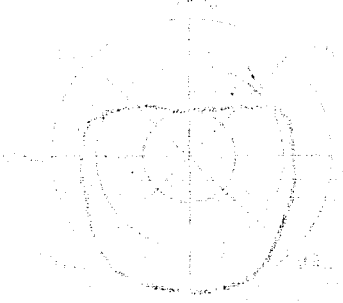
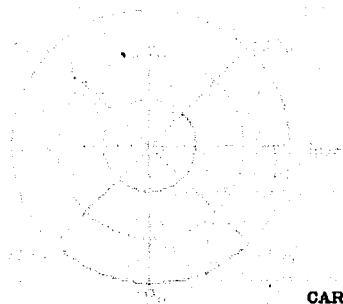
$f = 400$



$f = 1000$

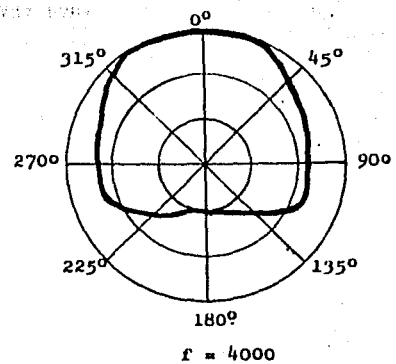
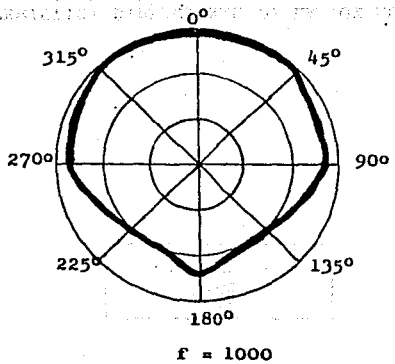
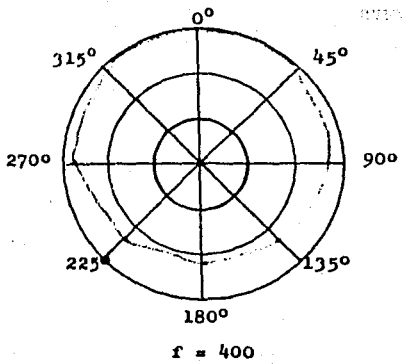


$f = 4000$

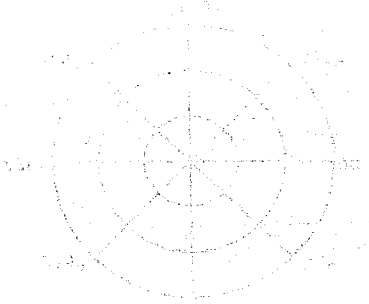


CARACTERISTICA DIRECCIONAL DE LA VOZ HUMANA PARA
TRES DIFERENTES FRECUENCIAS
EN PLANO VERTICAL.

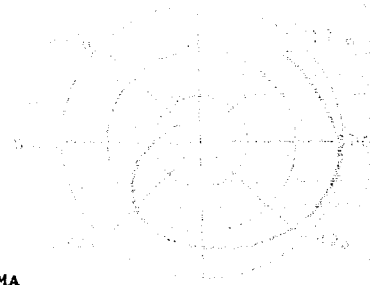
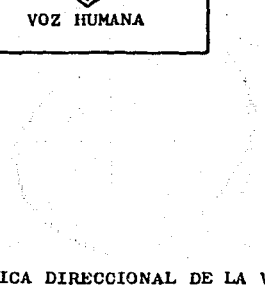
LA VOZ HUMANA
EN EL PLANO HORIZONTAL
PARA TRES FRECUENCIAS DIFERENTES

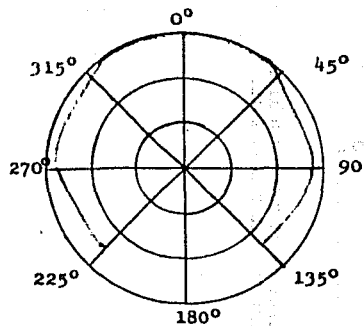


↑↑↑
VOZ HUMANA

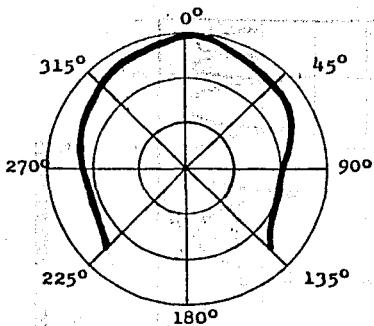


CARACTERISTICA DIRECCIONAL DE LA VOZ HUMANA EN PLANO HORIZONTAL PARA TRES DIFERENTES FRECUENCIAS.

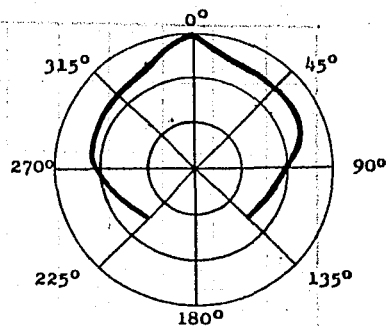




$f = 480$



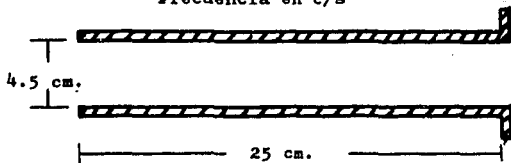
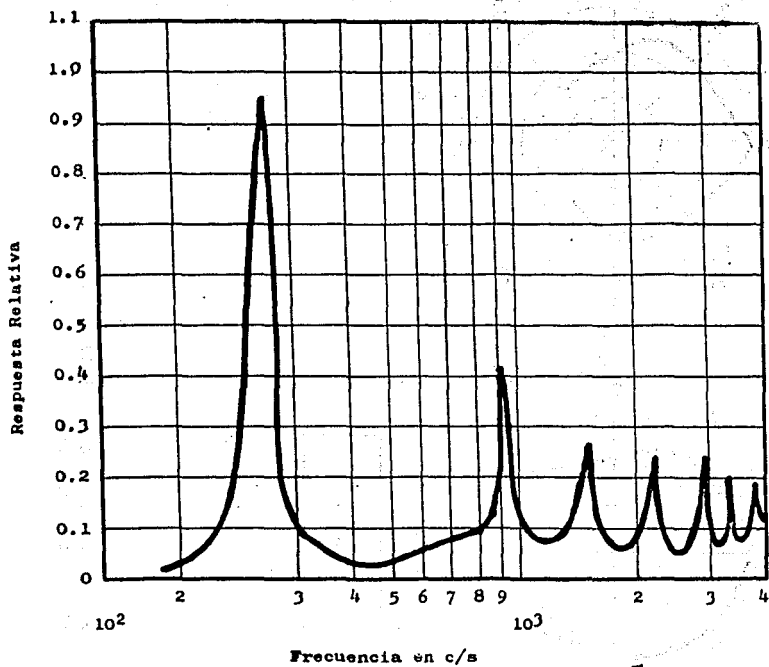
$f = 920$



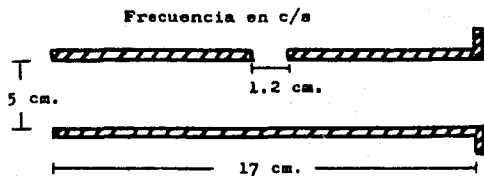
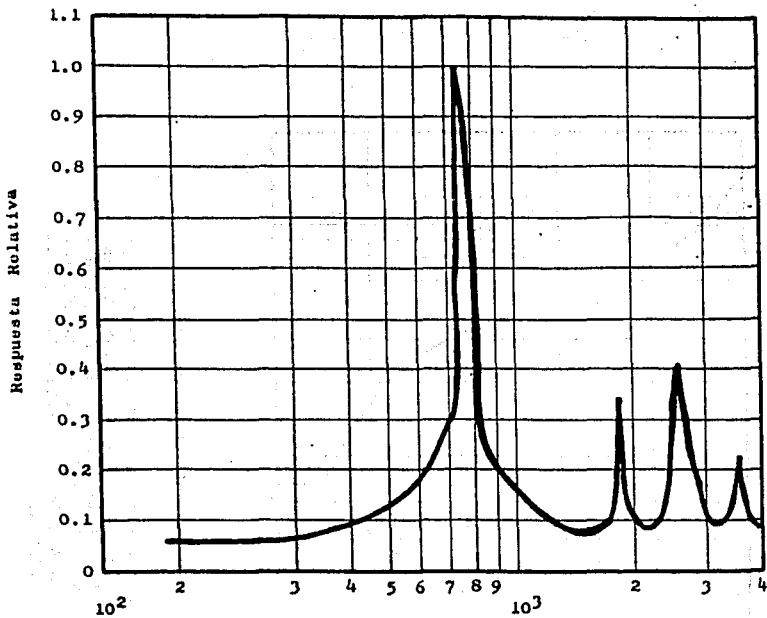
$f = 1840$

TROMPETA

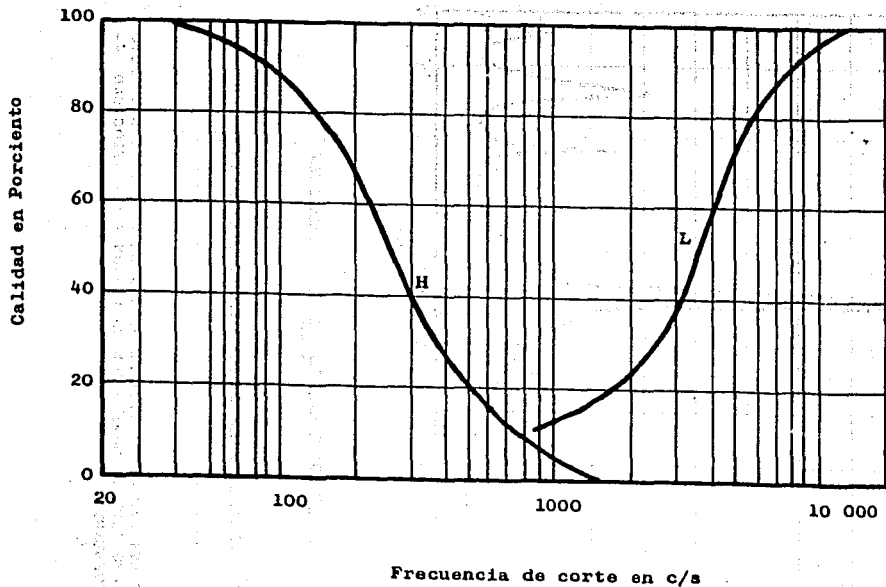
CARACTERISTICA DIRECCIONAL DE UNA TROMPETA PARA
TRES DIFERENTES FRECUENCIAS.



CURVA CARACTERISTICA DE SALIDA DE UN TUBO CUYO AIRE ES MOVIDO CON UN PISTON A UNA VELOCIDAD CONSTANTE.

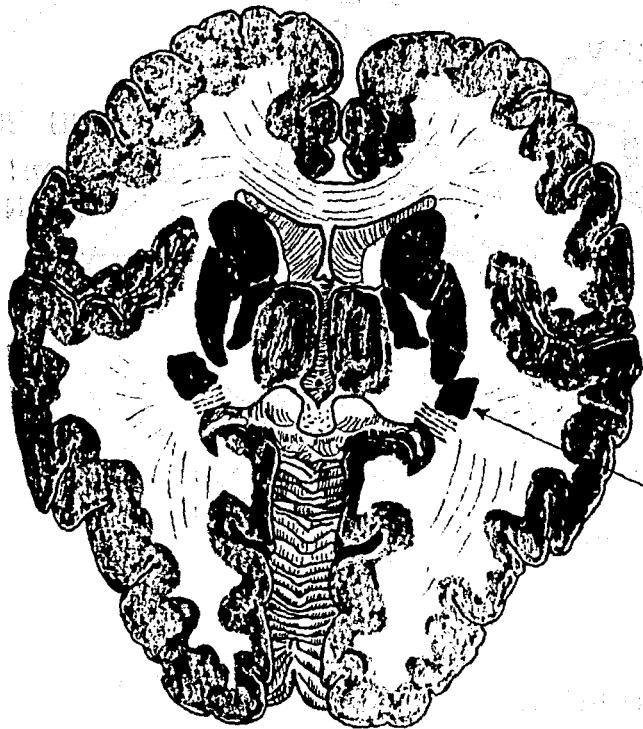


CURVA CARACTERISTICA DE SALIDA DE UN TUBO CON UN HOYO CUYO AIRE ES MOVIDO CON UN PISTON A UNA VELOCIDAD -- CONSTANTE.



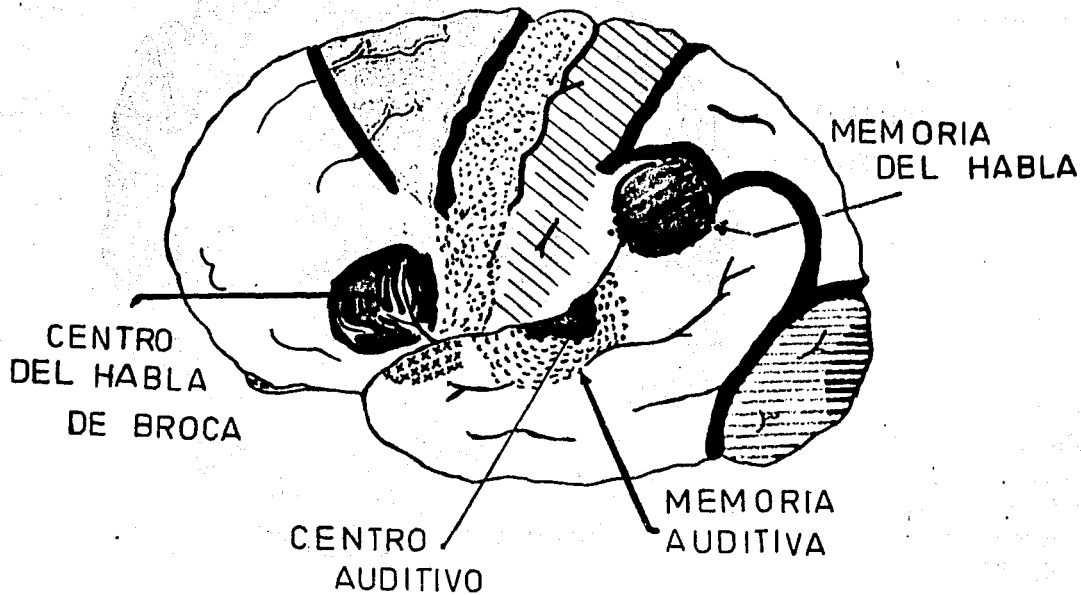
EFFECTO DEL RANGO DE FRECUENCIA SOBRE LA CALIDAD DE LA ORQUESTA MUSICAL. H = FILTRO PASO ALTAS; TODAS LAS FRECUENCIAS ARRIBA DE LA FRECUENCIA DADA POR LA ABCISA SE ELIMINAN. L = FILTRO PASO BAJAS; TODAS LAS FRECUENCIAS ABAJO DE LA FRECUENCIA DADA -- POR LA ABCISA SE ELIMINAN.

CORTE HORIZONTAL, A TRAVES DEL
CEREBELO

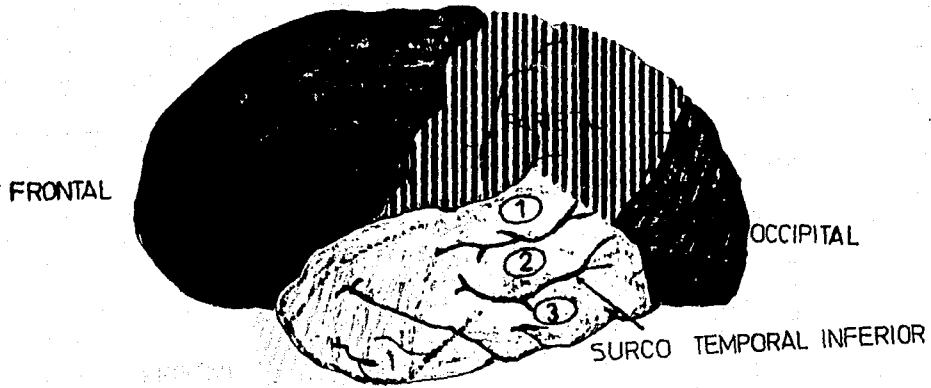


CAUDA ACUSTICA

VISTA LATERAL DEL CEREBRO

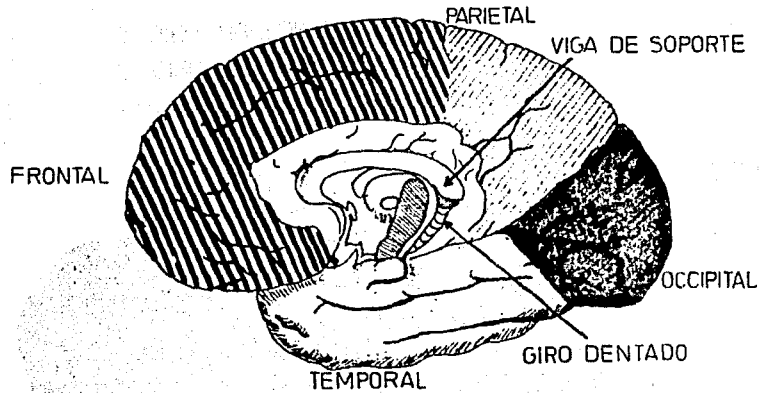


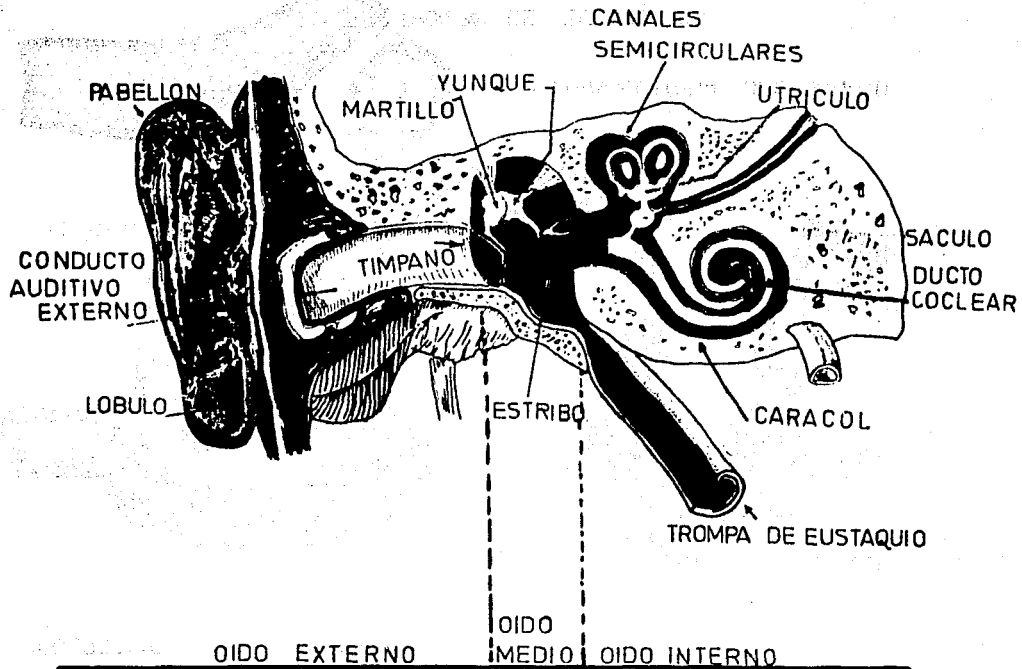
VISTA EXTERNA DEL HEMISFERIO CEREBRAL IZQUIERDO



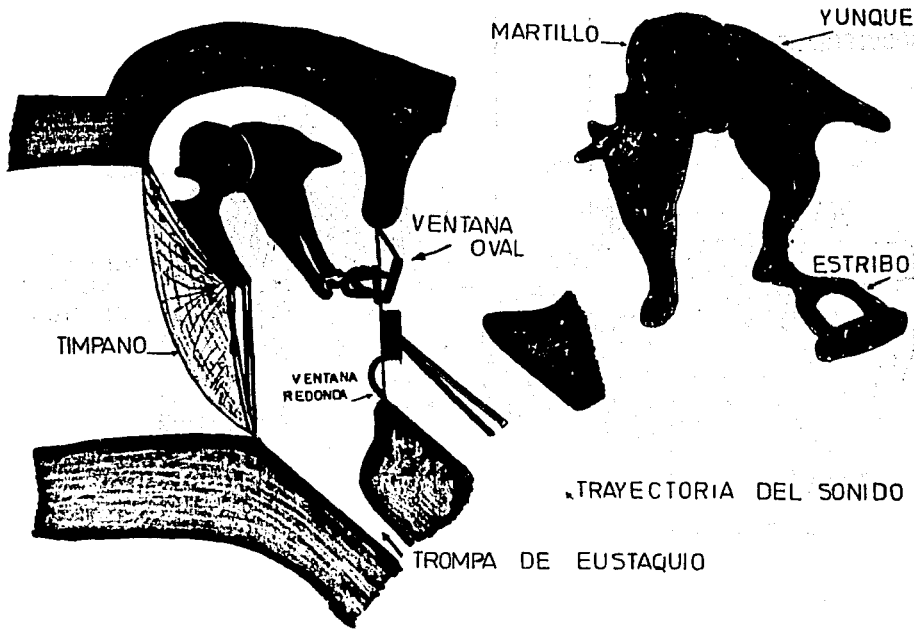
- 1._GIRO TEMPORAL SUPERIOR
- 2._GIRO TEMPORAL MEDIO
- 3._GIRO TEMPORAL INFERIOR

VISTA INTERIOR DEL HEMISFERIO CEREBRAL DERECHO





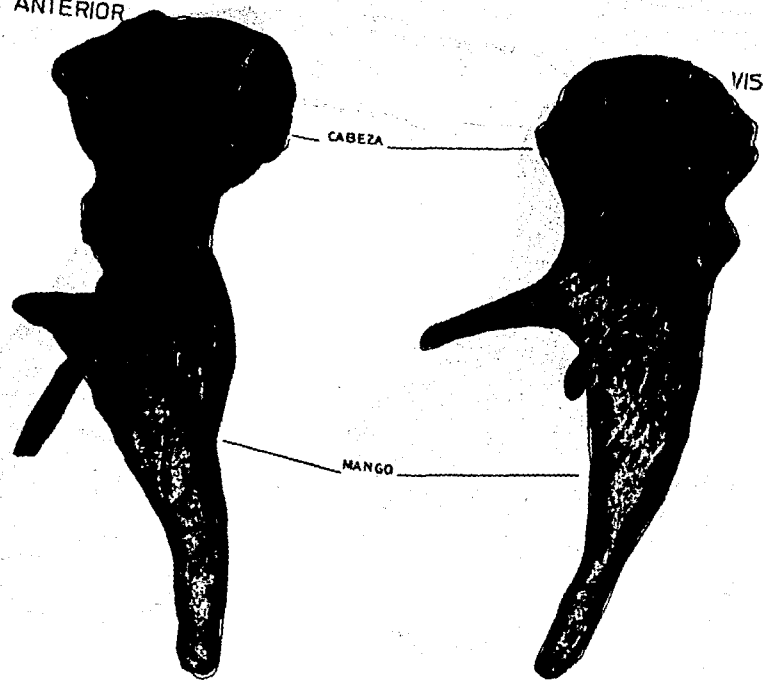
COLOCACION Y MOVIMIENTO DE LOS HUESECILLOS DEL OIDO MEDIO



EL MARTILLO

VISTA ANTERIOR

VISTA POSTERIOR



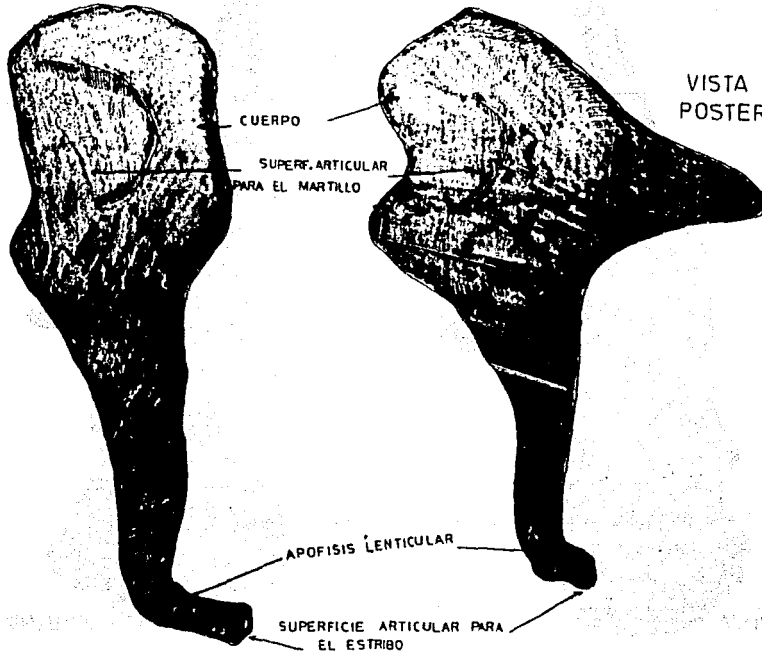
CABEZA

MANGO

EL YUNQUE

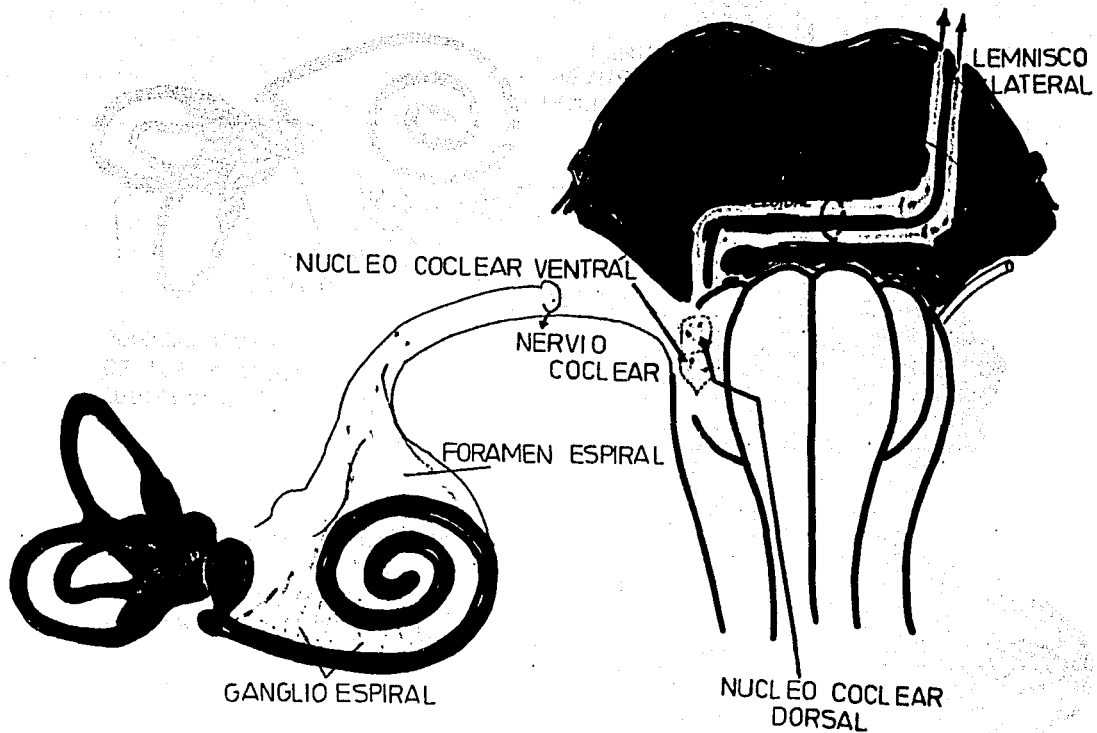
VISTA ANTERIOR

VISTA POSTERIOR



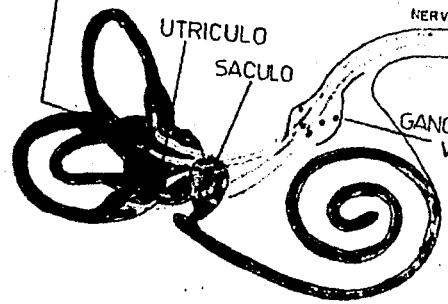
ANATOMIA DEL OIDO

ANATOMIA DEL OIDO



- 13. - NUCLEO COCLEAR SUPERIOR
- 14. - NUCLEO COCLEAR MEDIAL
- 15. - NUCLEO COCLEAR LATERAL
- 16. - NUCLEO COCLEAR INFERIOR

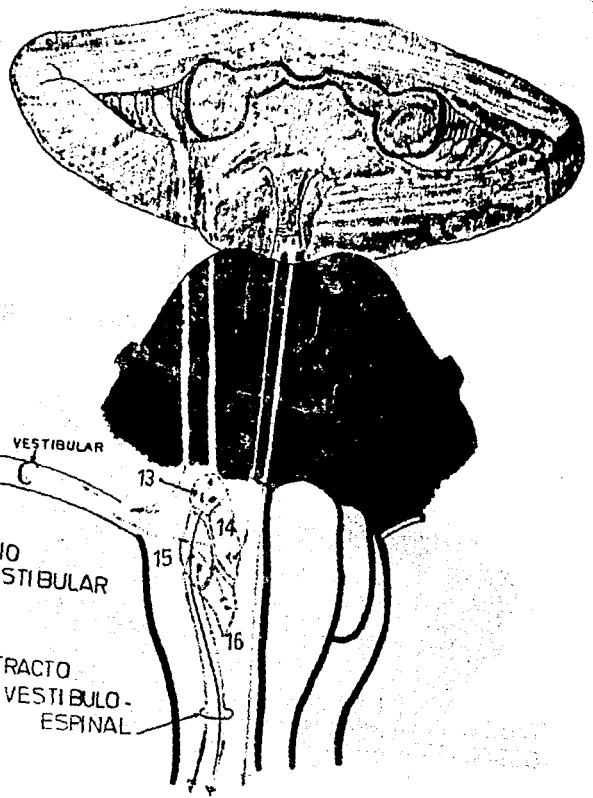
TERMINACIONES NERVIOSAS
DE LOS CANALES
SEMICIRCULARES



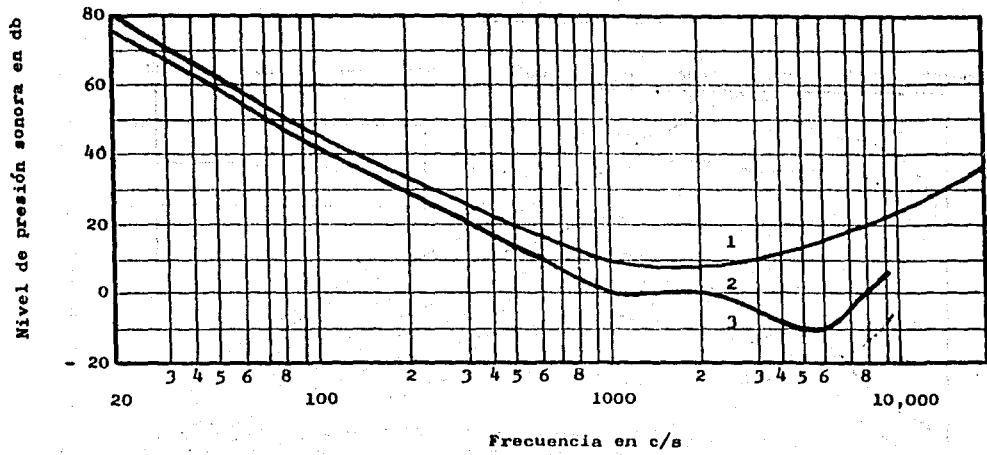
NERVIO VESTIBULAR

GANGLIO VESTIBULAR

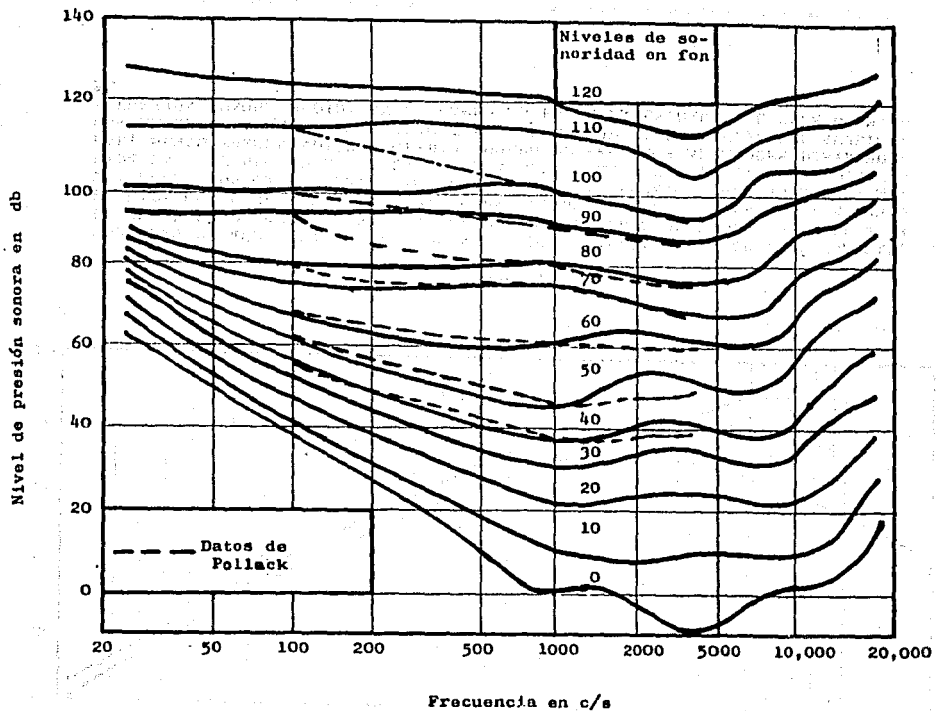
TRACTO VESTIBULO-ESPINAL



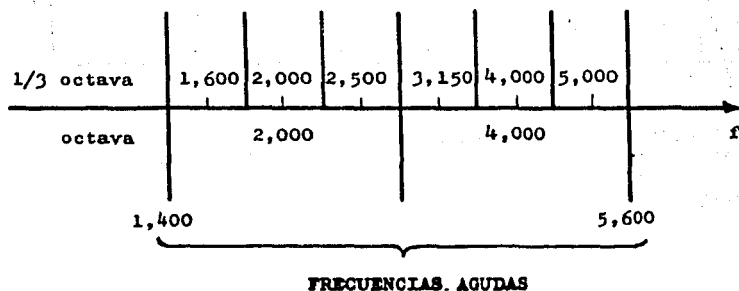
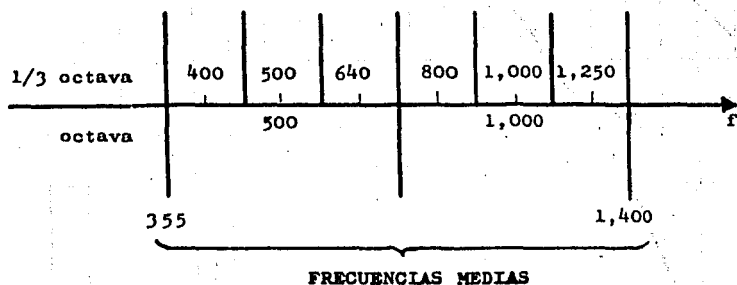
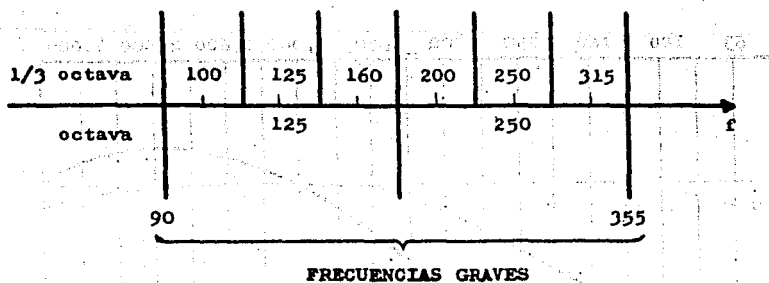
Nota: Este gráfico muestra los umbrales de audibilidad para frecuencias entre 20 y 10,000 c/s. La presión sonora se mide en db.



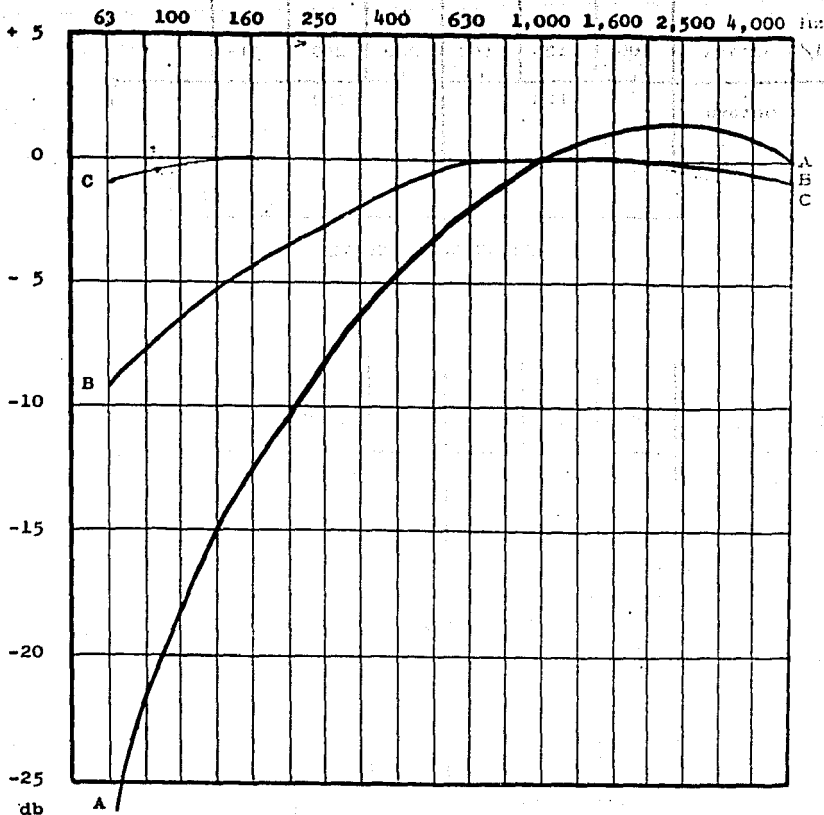
UMBRALES DE AUDIBILIDAD, DETERMINADOS DE 3 MANERAS: 1.- CURVA MONOAURAL; LA SEÑAL ES PRESENTADA POR UN AURICULAR Y LA PRESION SONORA SE MIDE A LA ENTRADA DEL CANAL AUDITIVO. 2.- CURVA BINAURAL; PRESION PRESENTADA POR UNA FUENTE UNICA A CIERTA DISTANCIA FRENTE AL SUJETO; PRESION SONORA MEDIDA EN EL CAMPO ANTES DE LA ENTRADA DEL SUJETO EN EL. 3.- CURVA BINAURAL; SEÑAL PRESENTADA POR CIERTO NUMERO DE PEQUEÑOS ALTAVOCES DISTRIBUIDOS AL AZAR EN UN PLANO HORIZONTAL Y ALREDEDOR DE LA CABEZA DEL SUJETO Y PRESION SONORA MEDIDA EN EL CAMPO ANTES DE LA ENTRADA DEL SUJETO EN EL.



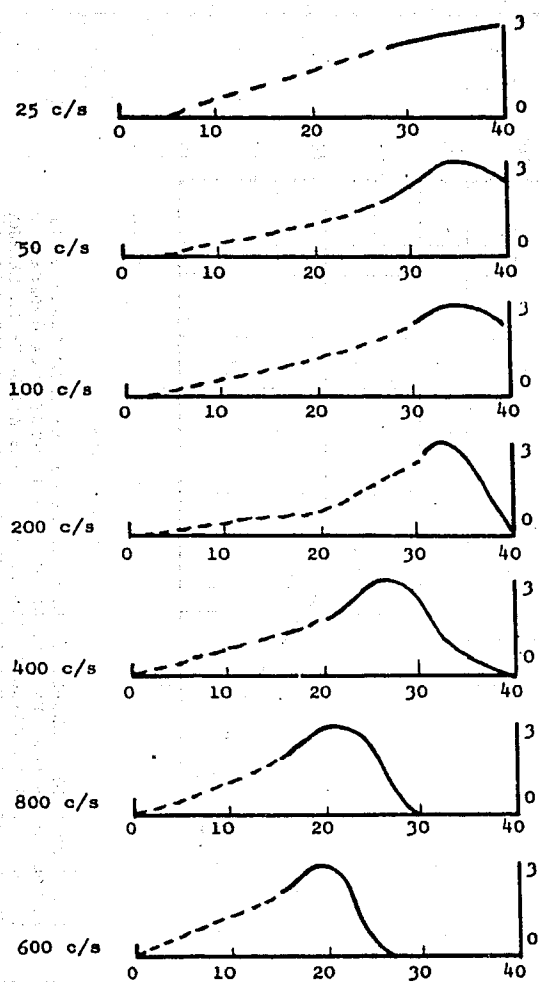
CONTORNOS DE IGUAL SONORIDAD PARA TONOS PUROS SEGUN FLETCHER Y MANSON.
 LAS LINEAS CORTADAS SON CONTORNOS DE IGUAL SONORIDAD PARA BANDAS DE -
 RUIDO DE 250 mel DE ANCHO.



Frecuencias graves, medias y agudas por bandas de octava y tercios de octava.

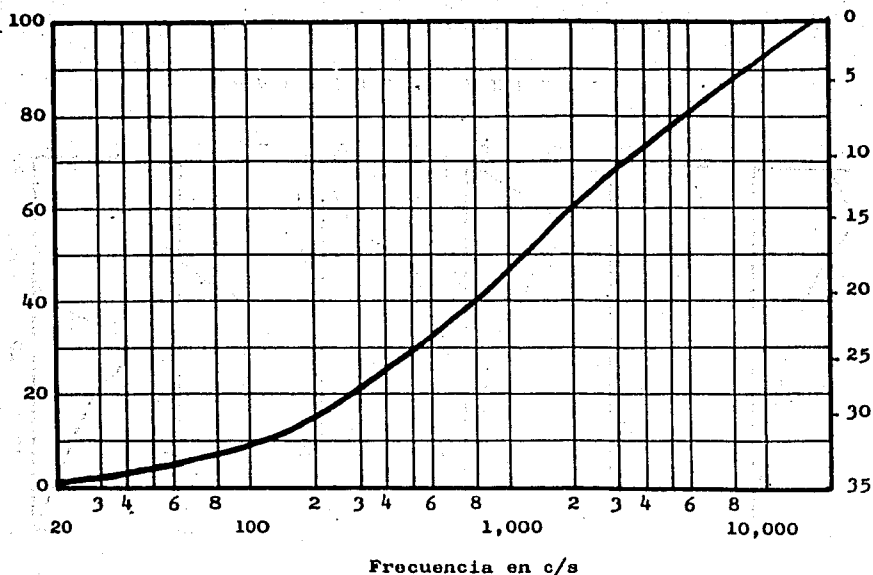


COMPORTAMIENTO DEL OIDO PARA LOS NIVELES BAJOS, MEDIOS Y ALTOS EN FUNCION DE LA FRECUENCIA. FILTRO A, ENTRE - 0 Y 55 db; FILTRO B, ENTRE 55 Y 85 db; FILTRO C, POR - ENCIMA DE 85 db.

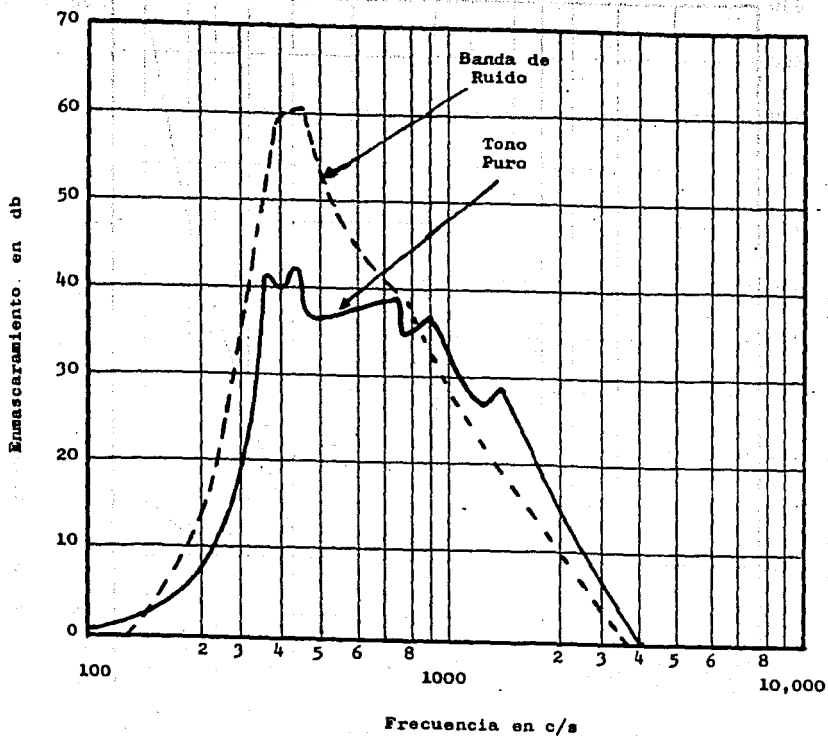


AMPLITUD RELATIVA

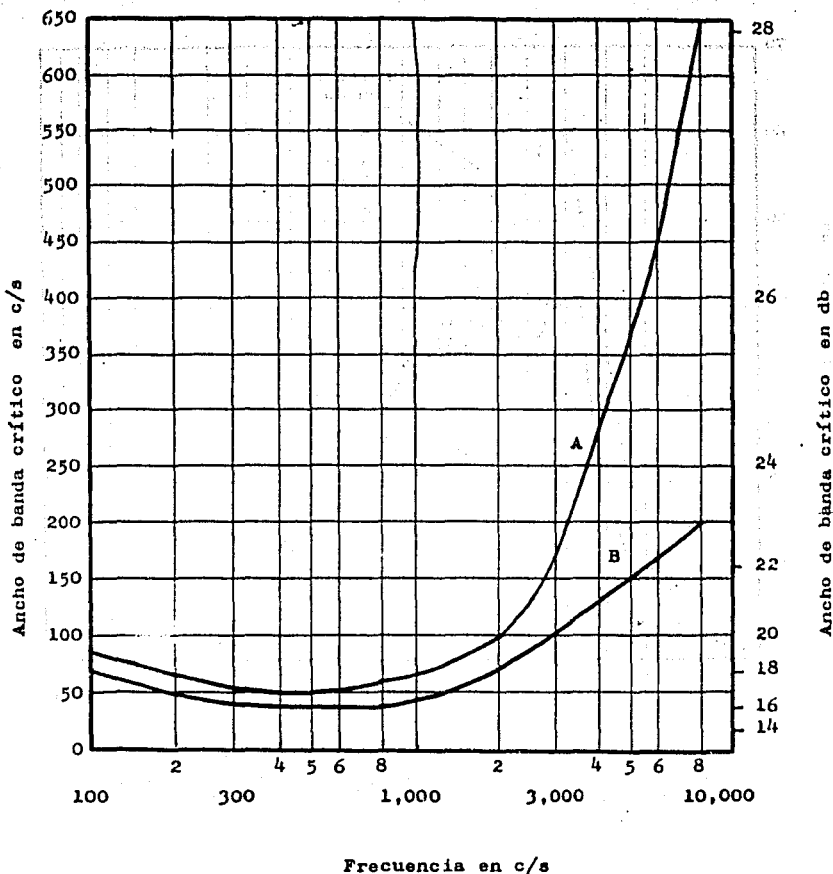
AMPLITUDES RELATIVAS DE VIBRACION DE LA MEMBRANA BASILAR PARA VARIAS FRECUENCIAS.



POSICION X DE 2 GRUPOS DE NERVIOS AUDITIVOS A LO LARGO DE LA MEMBRANA BASILAR, EN FUNCION DE LA FRECUENCIA. LA ORDENADA 0 DE LA IZQUIERDA COINCIDE CON LA PARTE MAS ANCHA DE LA MEMBRANA BASILAR Y LA ORDENADA 100 CON EL ESTRIBO. LA DISTANCIA MEDIDA DESDE EL ESTRIBO DE LA POSICION DE MAXIMA VIBRACION ESTA DADA POR LA ORDENADA DE LA DERECHA.

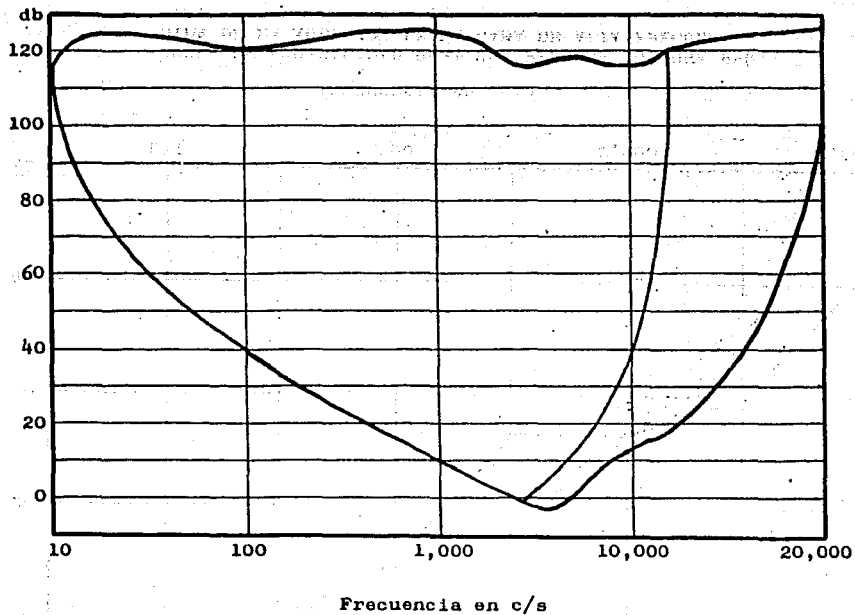


ENMASCARAMIENTO DE UN TONO PURO DE FRECUENCIA f PRODUCIDO -
 POR UNA BANDA ESTRECHA DE RUIDO O POR UN TONO DE 400 c/s --
 CON UN NIVEL DE PRESION SONORA EFICAZ DE 80 db.

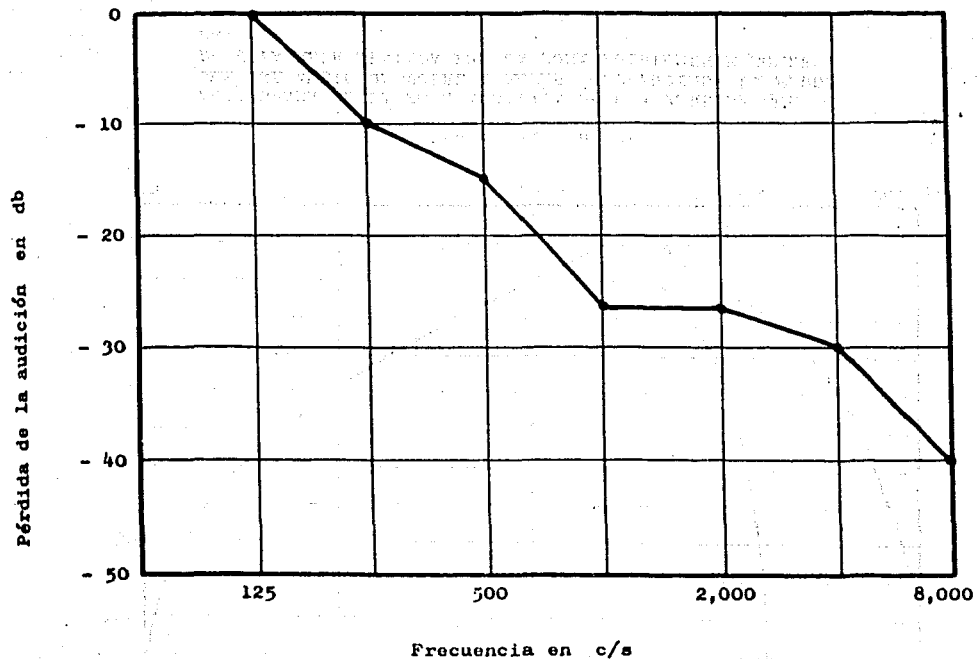


ANCHOS DE BANDA CRITICOS PARA LA AUDICION DETERMINADOS POR EL RECONOCIMIENTO DE TONOS PUROS EN PRESENCIA DE RUIDO BLANCO ALEATORIO. LA ORDENADA DE LA IZQUIERDA ES f_c EN c/s Y LA DE LA DERECHA $\log_{10} f_c$ EN db.

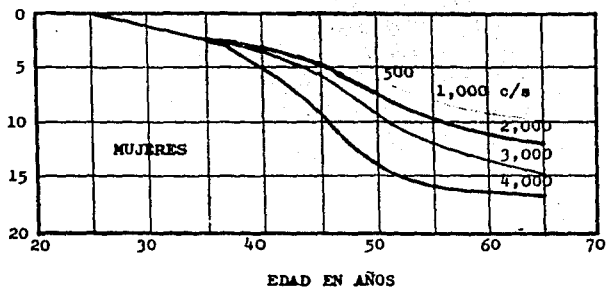
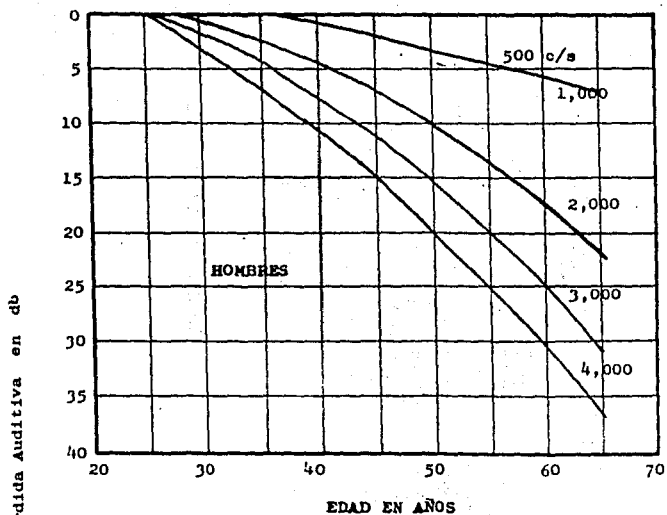
A = Audición monoaural
 B = Audición binaural



AUDIOGRAMA DE LA ZONA AUDITIVA DE UNA PERSONA QUE POSEE UNA AUDICION POBRE A ALTAS FRECUENCIAS; LA PERDIDA ESTA REPRESENTADA POR LA ZONA FUERTEMENTE SOMBREADA.

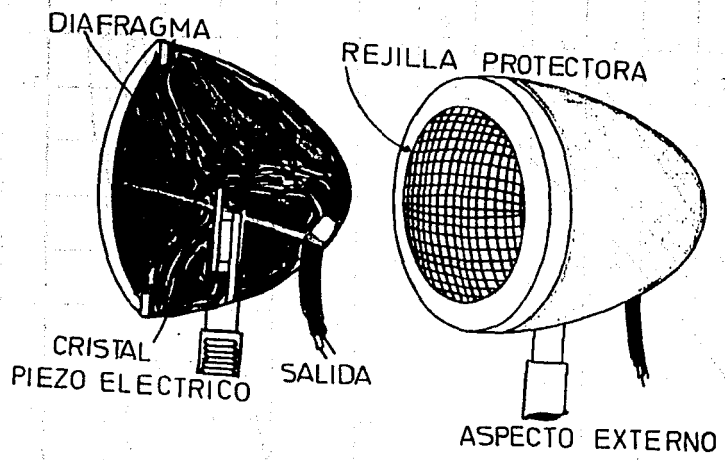


CURVA DE AUDIBILIDAD PARA UNA PERSONA CON UNA PERDIDA DE LA AUDICION EN LA GAMA DE ALTA FRECUENCIA.



DESPLAZAMIENTO DEL UMBRAL MEDIO DE AUDIBILIDAD CON LA EDAD, EN FUNCION DE LA FRECUENCIA, PARA HOMBRES Y MUJERES.

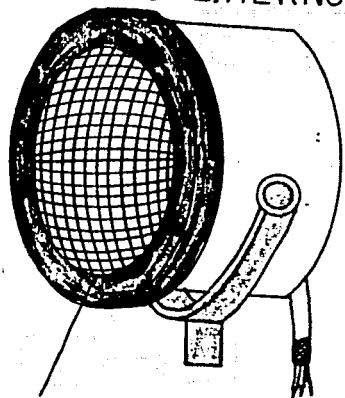
MICROFONO DE CRISTAL



REJILLA PROTECTORA
DIAFRAGMA
CRISTAL PIEZO ELECTRICO
SALIDA
ASPECTO EXTERNO

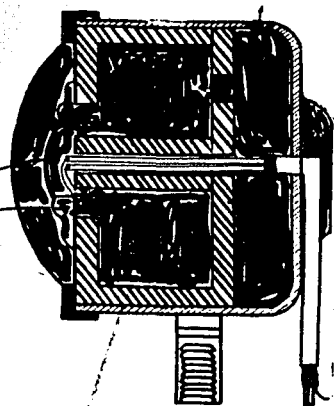
MICROFONO DINAMICO

ASPECTO EXTERNO



REJILLA PROTECTORA

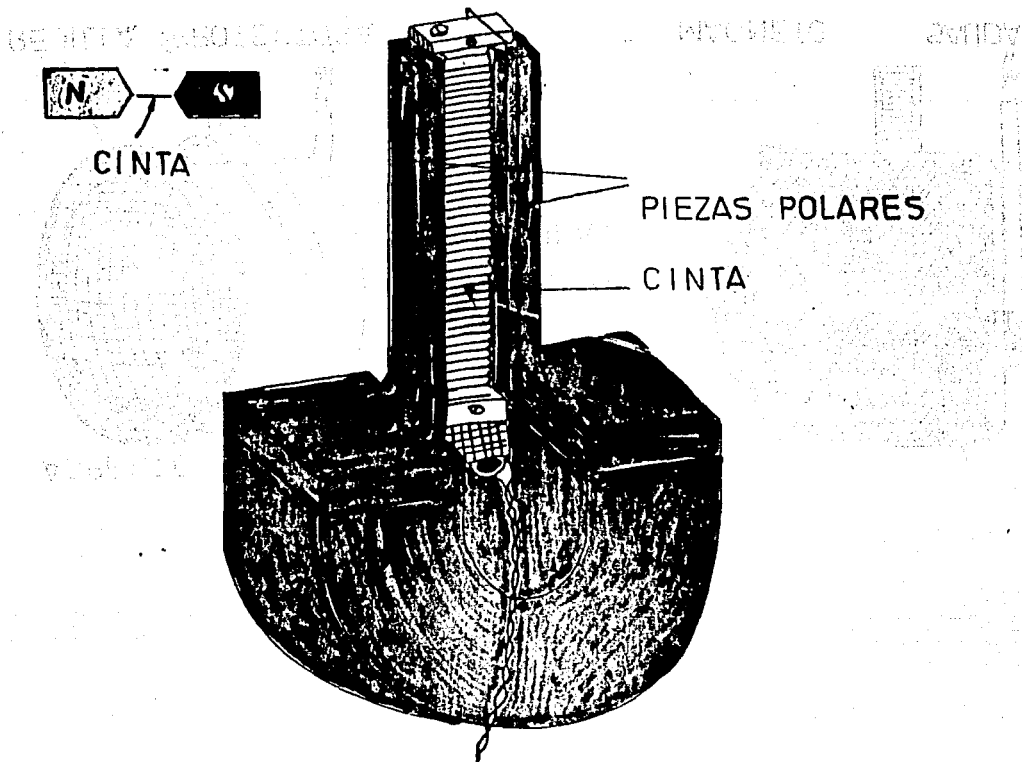
DIAFRAGMA
BOBINA



MAGNETO

SAIDA

ESQUEMA DE LA CINTA Y LA ESTRUCTURA MAGNETICA DE UN MICROFONO DE VELOCIDAD



RESISTENCIA INTERNA DE LOS PRINCIPALES
TIPOS DE MICROFONOS Y LONGITUDES ADMISIBLES DE SU LINEA

Microfono	Resistencia interna aproximada	Valor de orientación para longitudes admisibles de línea
Microfono telefónico	50 ... 500 Ω	varios kilómetros
Microfono de Reisz de carbón de gran calidad	100 Ω	hasta unos 200 m
Microfono de carbón de gran calidad de - tras de transformador de relación 1:20	50 K Ω	2 m
Cápsula microfónica - de condensador	160 pF = 1 M Ω en 1000 c/s	pocos cm
Microfono de condensador con salida de amplificador de elevado valor de resistencia	20 K Ω	10 m
Microfono de condensador con salida de amplificador de bajo valor de resistencia	200 Ω	hasta unos 200 m
Microfono de cristal	1600 pF = 100 K Ω en 1000 c/s	hasta 20 m, con cable especial hasta 150 m
Microfono de bobina	5 ... 2 Ω , según modelo	hasta 200 m
Microfono de cinta con transformador de línea incorporado	200 Ω	hasta 200 m
Microfono magnético	200 Ω	hasta 20 m

MICROFONOS PARA RETRANSMISIONES, INTERFONOS Y ESTUDIOS

Marca y tipo	Mo- no	Es- tá- reo	Princi- pio 1)	Carac- terís- tica 2)	Resis- tencia inter- rior Ω	Sensi- bili- dad mV/ μ bar	Margen de fre- cuencia		Cone- xión 3)	Cone- xión de Clavi- ja	Fija- ción trí- pode	Particularidades
							c/s	+dB				
AKG												
C 28 C	•		Ko (BF) V	N	200	1,3	30...18 000		S			Se suministra también -- con cápsula esférica Con cápsula esférica o - reniforme Voz-música e interruptor Commutador voz-música Graves amortiguables Graves amortiguables Voz-música e interruptor Voz-música e interrup- tor, sistema dúplex para frecuencias elevadas y - bajas, transformador pro- pio
C 60	•		Ko (BF) V	Ku/N	600 200	1 1,3	30...18 000		S			
D 14 A	•		T	N	200	0,22	50...15 000		KaS	1+3		
D 19 C	•		T	N	200	0,18	40...16 000		S	1+3		
D 20	•		T	N	200	0,16	30...18 000		S	1+2		
D 24 B	•		T	N	200	0,18	30...16 000		S	1+3		
D 119 CS	•		T	N	200	0,18	40...16 000		S	1+3		
D 202 CS	•		T	N	200	0,18	20...20 000		S	1+3		
D 505	•		T	N	200	0,2	50...15 000		KaS	1+3		
DX 11	•		TV	N	250 10K	0,2 2	50...15 000		KaS	2+3 1+2		
BEYER												
M 57	•		T	Ku	200	0,2	300... 4 000		Ka		Micrófono de mano El mismo, con preamplifi- cador Micrófono Lavalier Voz-música e interruptor Para voz en ambiente res- onante	
M 57 V	•		TV	Ku			300... 4 000		Ka			
M 110	•		T	Ku	200	0,1	60...12 000	2,5	Ka			
M 610	•		T	N	200	0,2	50...15 000	3	S	1+3		
M 410	•		T	N	200	0,25	300...12 000	3	S	1+3		

MICROFONOS PARA RETRANSMISIONES, INTERFONOS Y ESTUDIOS

Marca y tipo	Mo no	Es-tá-reo	Princi-pio 1)	Carac-terís-tica 2)	Resis-tencia inter-iór - Ω	Sensi-bili-dad mV/ubar	Margen de fre-cuencia		Gene-xión 3)	Gene-xión de Clavi-ja	Fija-ción trí-podo	Particularidades
							c/s	+dB				
DEUTSCHE PHILIPS GmbH												
EL 3782	•		T	N	500	0,2	100...10 000		KaS	1+2	•	Conmutador voz-música. Conmutador voz-música.
NG 1219	•		T	N	200	0,18	40...16 000		KaS	1+2	•	
DYNACORD												
DD 65/R	•		T	N	200	0,3	30...16 000	2,5	Ka	1+3		Con dos reguladores para volumen y reverberación.
GRUNDIG												
GHS 329	•		TV	Ku	2000	150	200... 9 000	4	KaS	3+2		Micrófono Babysitter Micrófono de dictado con tecla de parada. Devanadora de cable in-corporada. Con transformadores de -cordón.
GDM 14	•		T	Ku	200	0,1	200... 8 000	3	KaS	3+2	•	
GDM 301	•		T	Ku	50 K	1,5	150...12 000	4	KaS	1+2	•	
GDSH 200	•		TT	NN	2X200	0,2	100...16 000	2	KaS	3+2	•	Adaptador de presencia -enchufable.
GDM 321	•		T	Ku	200	0,1	50...15 000	2	KaS	3+2	•	
					70 K	1,5				1+2		
PEIKER												
FF 3/200/III	•		T	N	200	0,25	80...13 000		KaS	3+2	•	Ajustador voz-música.
					80 K	4,5				1+2		

MICROFONOS PARA RETRANSMISIONES, INTERFONOS Y ESTUDIOS

Marca y tipo	Mo no	Es-té-reo	Princi-pio 1)	Carac-terís-tica 2)	Resis-tencia in-te-rior Ω	Sensi-bili-dad mV/ μ bar	Margen de fre-cuencia		Cone-xión de 3)	Cone-xión de Clavi-ja	Fija-ción trípode	Particularidades
							c/s	+dB				
SENNHEISER ELECTRONIC												
MD 321 M	•		T	Ku	200	0,04	50...15 000	3	S	1+2	•	Micrófono de Medida. Micrófono para hablar de cerca, sin reacción. Micrófono de mano, sin reacción. Micrófono de estudio. Micrófono Lavalier. Con cuello de cisne y -- conmutador. Con ajustador de graves. Micrófono de estudio con ajustador de tonos graves. Amplificador a transistores. Amplificador a transistores. Lóbulo direccional extra ordinariamente agudo.
MD 4	•		T	B	200		50...10 000	3	S	1+2		
MD 42	•		T	N	200		200...10 000	3	S	1+2		
MD 214	•		T	Ku	200	0,1	60...15 000		Kas	1+3		
MD 403	•		T	N	200	0,15	70...12 000	3	Ka			
MD 408	•		T	N	200	0,15	100...15 000	3	S	1+3		
MD 421	•		T	N	200	0,2	30...17 000		S	1+3		
MD 421 HN	•		T	N	200 24 K	0,2 2	30...17 000	3	S	2+3 1+2		
MKH 104	•		Ko (Hf) V	Ku	100	2	20...20 000	2,5	S			
MKH 404	•		Ko (Hf) V	N	100	2	40...20 000	2,5	S			
MKH 804	•		Ko (Hf) V	Kl	100	4	50...20 000	2,5	S			

• = APROPIADO PARA ...

1).- B = CINTA

2).- Kl = LOBULO

3).- Ka = CABLE

Ko = CONDENSADOR

V = PREAMPLIFICADOR

INCORPORADO

T = BOBINA

Kc = CERAMICO

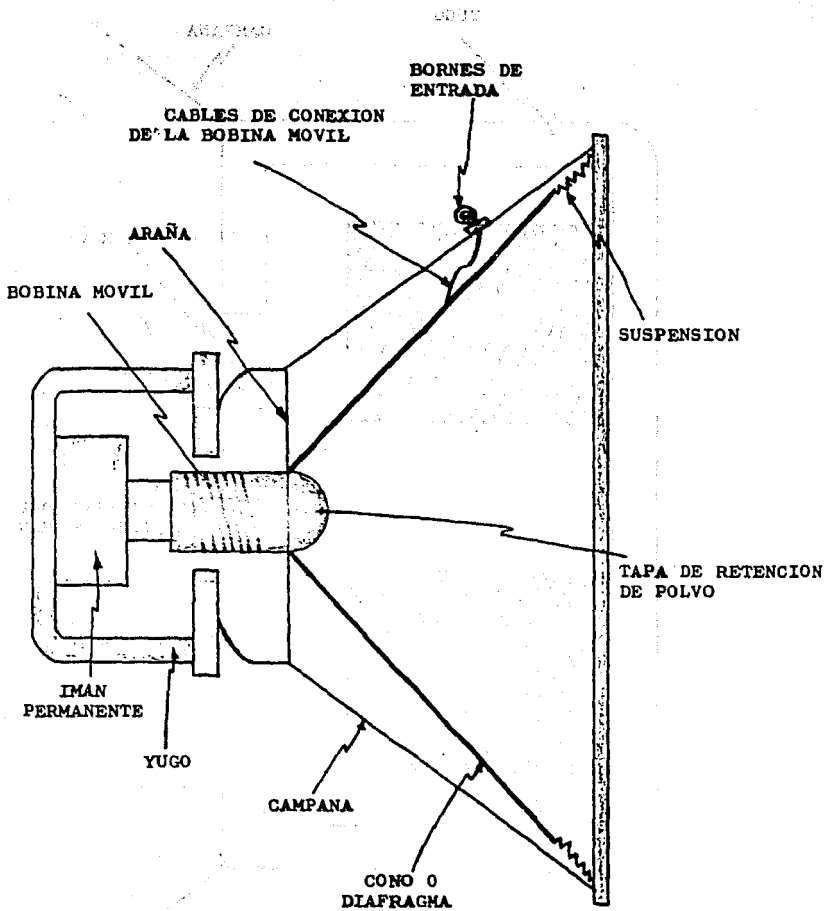
Kr = CRISTAL

N = RINÓN, RENIFORME

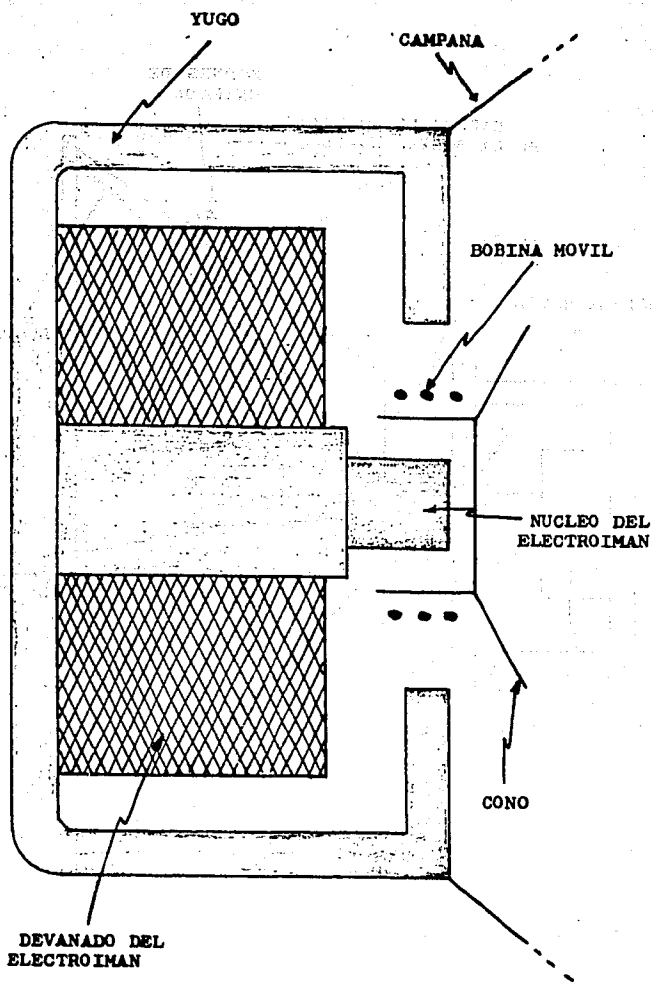
Ku = ESFERA

S = OCHO

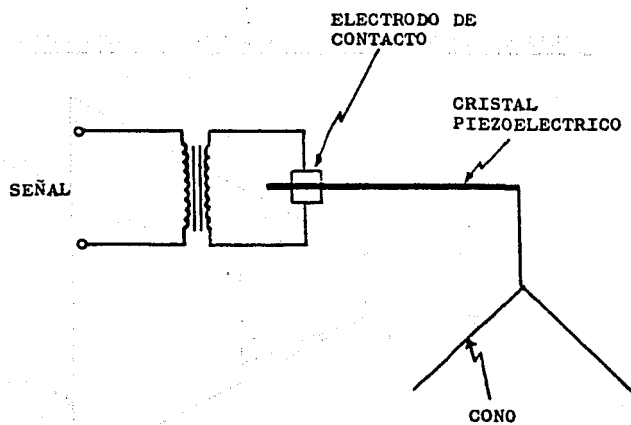
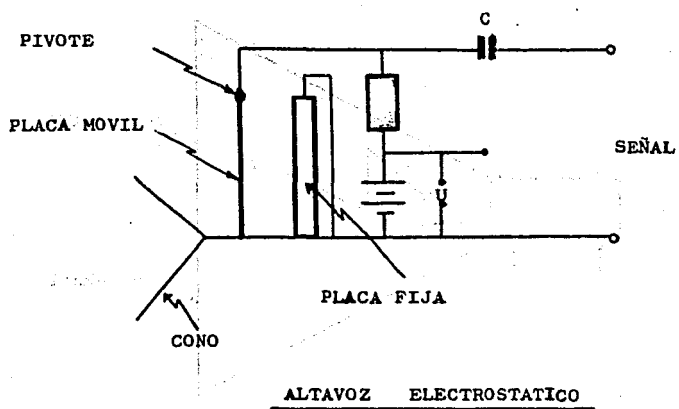
S = CLAVIJA

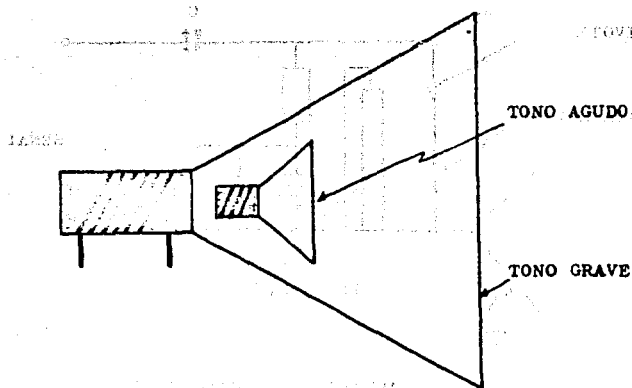


ALTAVOZ DINAMICO

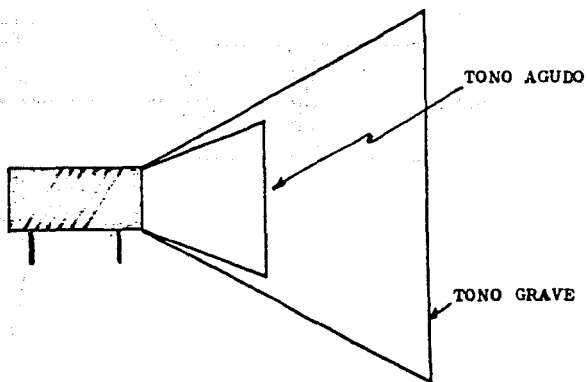


ALTAVOZ ELECTRODINAMICO

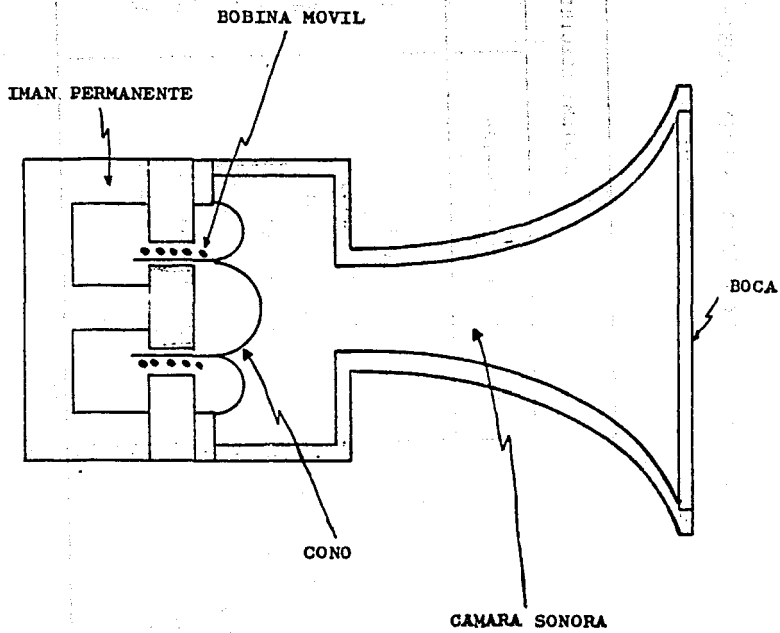




ALTAVOZ COAXIAL CON BOBINAS MOVIL INDEPENDIENTES



ALTAVOZ COAXIAL CON BOBINA MOVIL COMUN

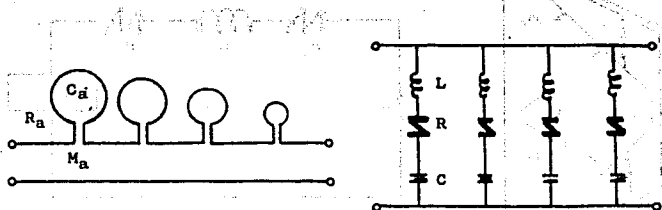


ALTAVOZ TIPO TROMPETA

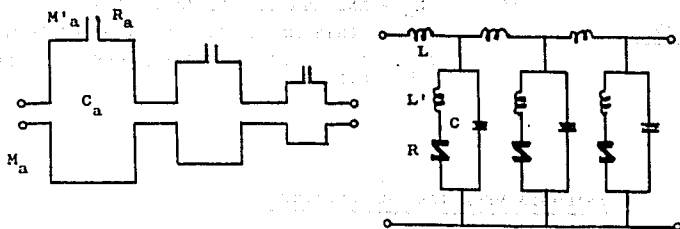
ANALOGIAS ELECTRICAS PARA SISTEMAS ACUSTICOS

SISTEMA ACUSTICO	SISTEMA ELECTRICO	
	Analogía Voltaje-Presión	Analogía Corriente-Presión
<p>P Presión (nt/m²)</p> <p>M_a Inductancia (Kg/m⁴)</p> <p>X Desplazamiento Volumétrico (m³)</p> <p>X Velocidad Volumétrica (m³/seg)</p> <p>R_a Resistencia (nt-seg/m⁵)</p> <p>C_a Capacitación (m⁵/nt)</p> <p>Z Impedancia (Ω)</p>	<p>v Voltaje (V)</p> <p>L Inductancia (h)</p> <p>q Carga (Culomb)</p> <p>i Corriente (A)</p> <p>R Resistencia (Ω)</p> <p>C Capacitancia (f)</p> <p>Z Impedancia (Ω)</p>	<p>i Corriente (A)</p> <p>C Capacitancia (f)</p> <p>∫vdt Impulso (v-seg)</p> <p>v Voltaje (V)</p> <p>1/R Conductancia (Ω⁻¹)</p> <p>L Inductancia (h)</p> <p>1/Z Admitancia (Ω⁻¹)</p>

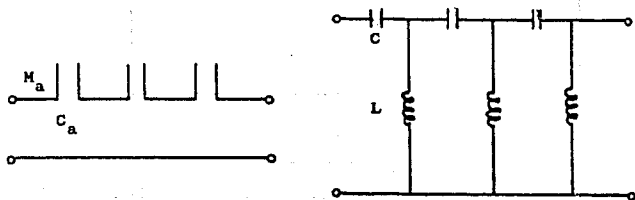
ANALOGIA CON ANTIHEDERA EN UNIDAD
RESONADORES DE HELMHOLTZ POR MEDIO DE ANALOGIA CORRIENTE-PRESION.



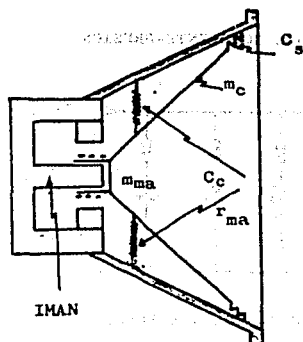
FILTRO ACUSTICO PASO BAJAS POR MEDIO DE ANALOGIA VOLTAJE-PRESION.



FILTRO ACUSTICO PASO ALTAS POR MEDIO DE ANALOGIA CORRIENTE-PRESION.

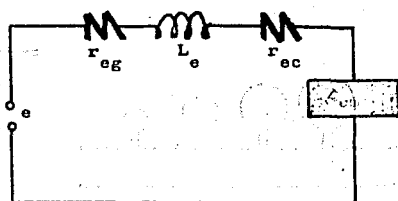


EJEMPLOS DE ANALOGIA ELECTROACUSTICA



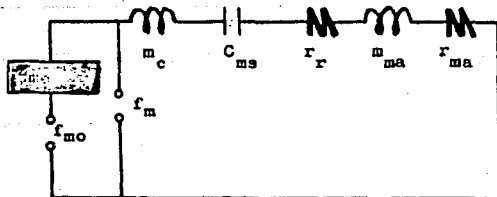
ALTAVOZ

ANALOGIA ELECTRICA DEL ALTAVOZ

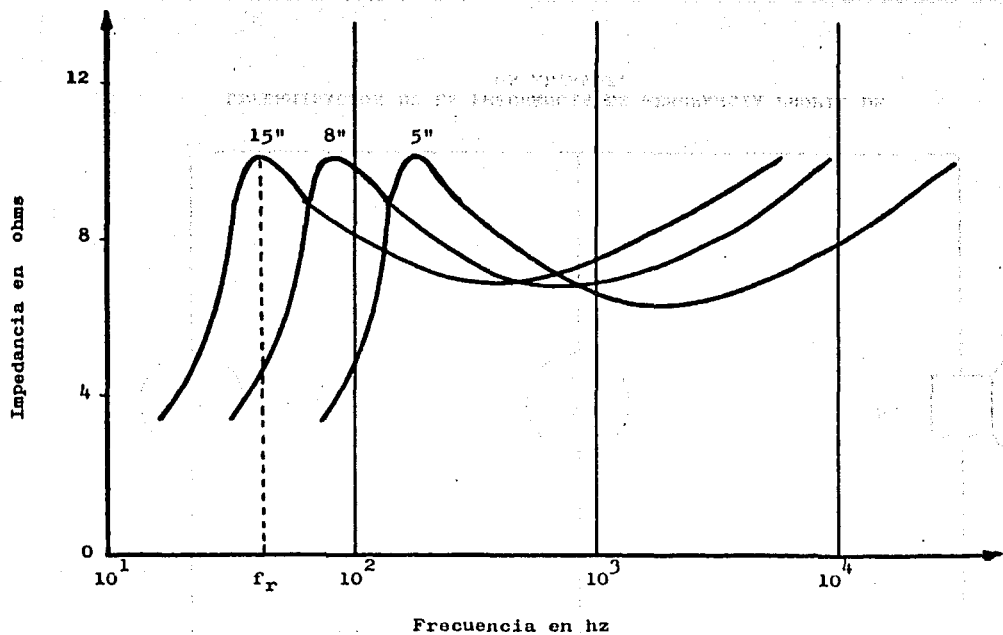


- e = TENSION DEL GENERADOR
- r_{eg} = RESISTENCIA INTERNA DEL GENERADOR
- L_e = INDUCTANCIA DE LA BOBINA
- r_{ec} = RESISTENCIA ELECTRICA DE LA BOBINA
- Z_{em} = IMPEDANCIA ELECTRICA DEBIDA AL MOVIMIENTO

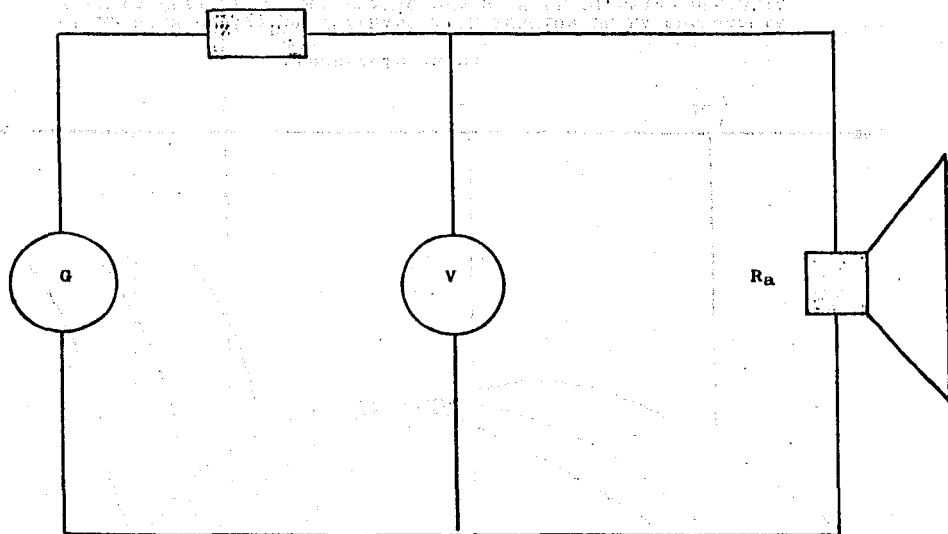
ANALOGIA MECANICA DEL ALTAVOZ



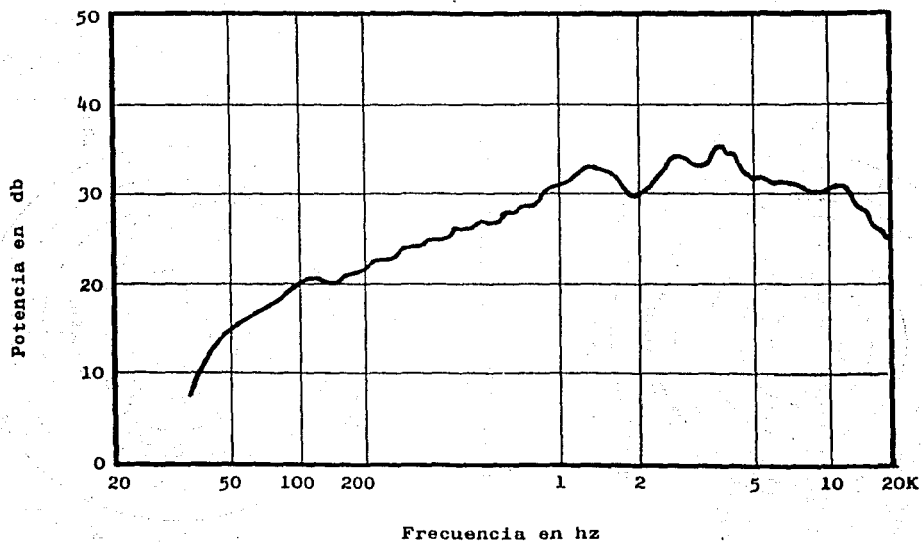
- m_c = MASA DE LA BOBINA Y CONO
- C_{ms} = ELASTICIDAD DEL SISTEMA
- r_r = RESISTENCIA DE ROZAMIENTO DEL SISTEMA
- m_{ma} = MASA MECANICA DEL AIRE
- r_{ma} = RESISTENCIA DEL AIRE .
- Z_{me} = IMPEDANCIA MECANICA DEL CIRCUITO ELECTRICO
- f_{mo} = FUERZA VIBROMOTRIZ DEL GENERADOR
- f_m = FUERZA QUE MUEVE LA BOBINA



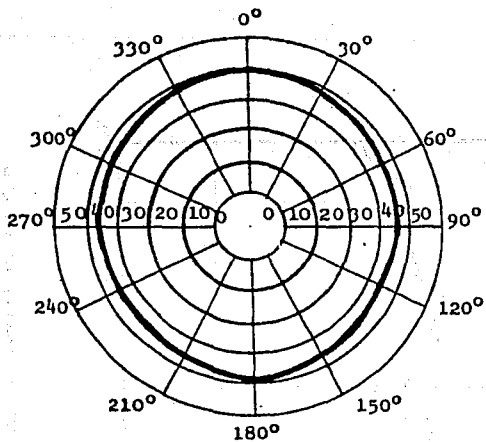
DIFERENTES CURVAS DE IMPEDANCIA EN FUNCION DE LA FRECUENCIA Y EN LA CUAL SE VE QUE CUANTO MENOR ES EL DIAMETRO DEL ALTA VOZ MAYOR ES LA FRECUENCIA QUE NECESITA APLICARSE AL ALTA--VOZ PARA QUE SU IMPEDANCIA SEA MAXIMA.



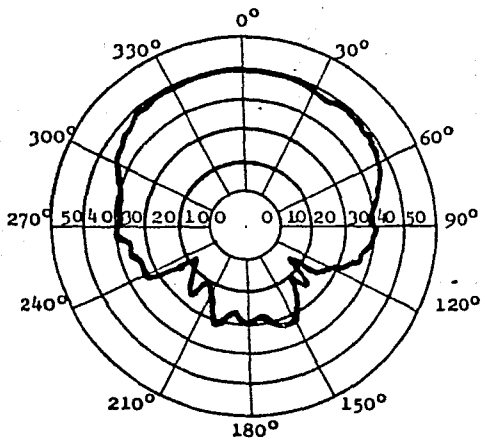
DETERMINACION DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA PROPIA DE UN ALTAVOZ.



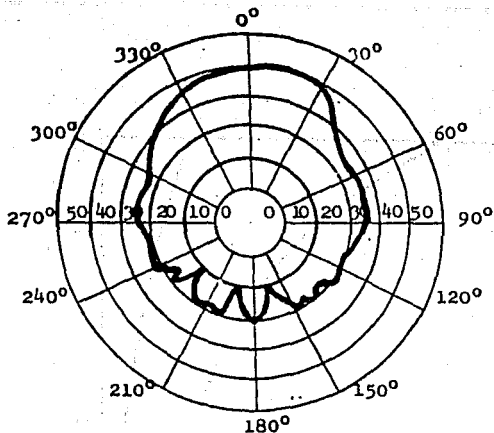
CURVA DE RESPUESTA DEL ALTAVOZ AD 6980/M MINIWATT, EN LA QUE SE OBSERVA LAS VARIACIONES DE INTENSIDAD SONORA PROPORCIONADAS POR EL ALTAVOZ, PARA UNA MISMA POTENCIA DE ENTRADA, AL VARIAR LA FRECUENCIA.



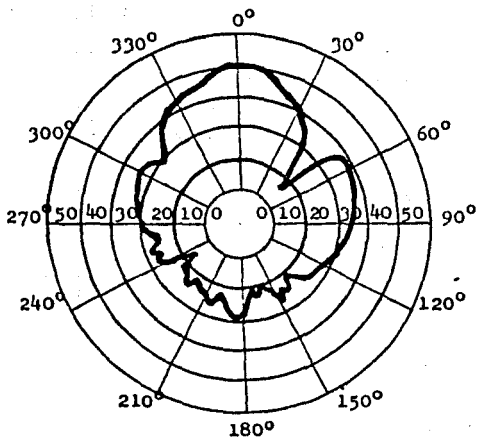
**CURVA DE DIRECTIVIDAD DEL ALTAVOZ AD 0160/T
MINIWATT, PARA 2 Khz.**



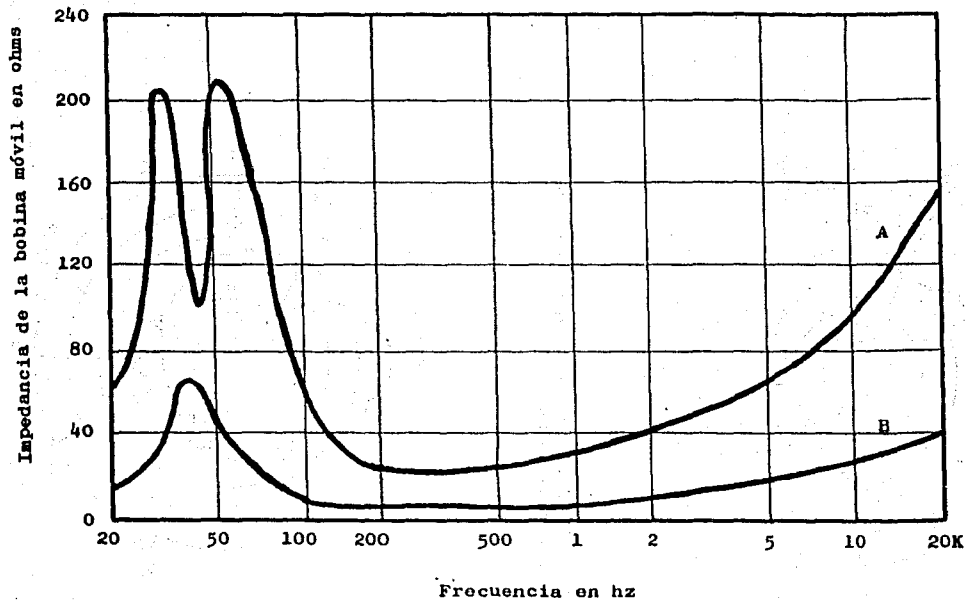
**CURVA DE DIRECTIVIDAD DEL ALTAVOZ AD 0160/T
MINIWATT, PARA 10 Khz.**



CURVA DE DIRECTIVIDAD DEL ALTAVOZ AD 0160/T
MINIWATT, PARA 15 Khz.

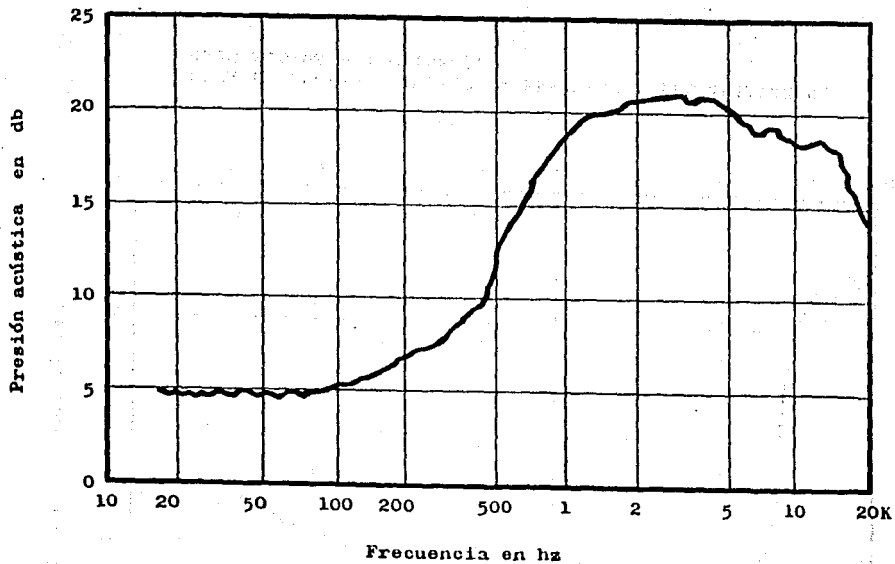


CURVA DE DIRECTIVIDAD DEL ALTAVOZ AD 0160/T
MINIWATT, PARA 18 Khz.

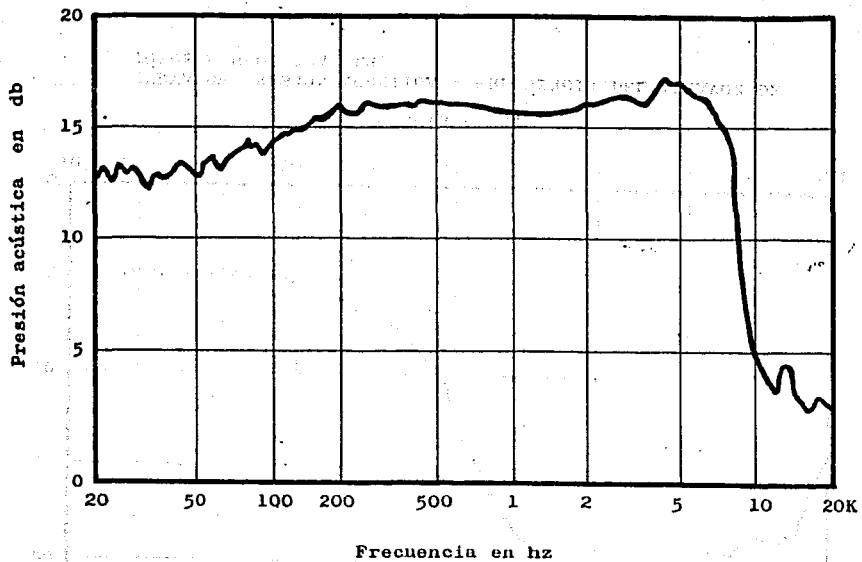


CURVAS DE LA IMPEDANCIA DE LA BOBINA MOVIL DE DOS ALTAVOCES DE DIFERENTE FRECUENCIA RESONANTE.

A = ACOPLAMIENTO EN SERIE
 B = ACOPLAMIENTO EN PARALELO



CURVA DE PRESION ACUSTICA - FRECUENCIA DEL ALTAVOZ DE TONOS AGUDOS 175 DLH.



CURVA DE PRESION ACUSTICA - FRECUENCIA DEL ALTAVOZ DE TONOS MEDIOS B 110 (REF).

DATOS DE ALTAVOCES DE GRAVES USUALES EN EL COMERCIO

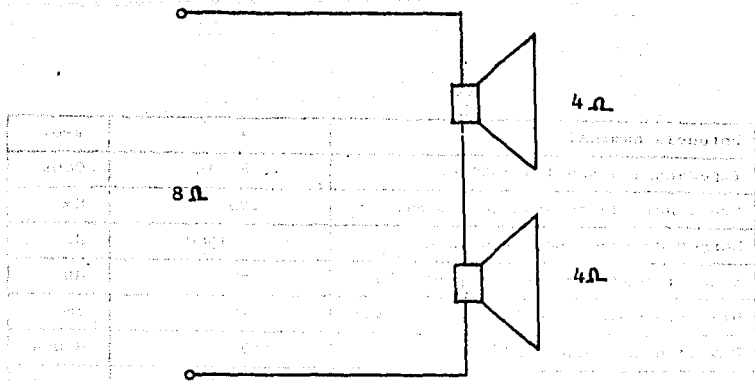
Marca	Tipo	Diámetro (m.m.)	Frecuencia resonante (Hz)	Impe- dancia (Ω)	Aptitud máxima de carga permanente (W)
Celestion	Studio 12 Baß	280	20	15	15
Goodmans	Audiom 51	280	35	8; 15	15
Goodmans	Audiom 61	280	35	8; 15	20
Heco	PCH 306	304	18	8	
Heco	PCH 245	250	20	8	
Heco	PCH 200	205	25	8	
Isophon	PSL 245	245	28	4	20
Isophon	PSL 203	203	30	4	20
Isophon	PSL 170	170	40	4	15
KEF	B 139	325 X 225	25	6,5	15
Peerless	L 100 WG	250	20	4; 8; 16	20
Peerless	L 825 WG	210	25	4; 8; 16	20
Saba	400	375	16	4	
Saba	200 A	180	25	4	
SEL	LPT 245/27/105 F	245	25	4,5	15
Sinus	U-1050 X	259	28 ± 5 Hz	16	15
Wharfedale	W 15	360	25-28	15	20

DATOS DE DIVERSOS ALTAVOCES DE AGUDOS

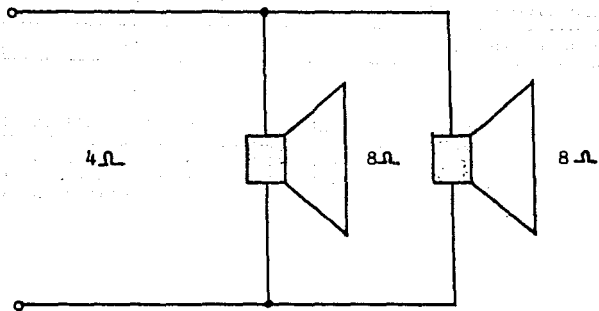
Marca	Tipo	Impedancia (Ω)	Zonas de trans- misión (Hz)
Celestion	HF 1300	16	3 000 ... 13 500
Celestion	HF 1400	16	3 000 ... 13 500
KEF	T 15	15	2 000 ... 16 000
KEF	T 27	8	3 000 ... 18 000
Electro Voice	T 35 VHF	16	3 500 ... 20 000
Lansing	O 75	16	3 000 ... 8 000
Peerless	MT 225 HFC	4, 8, 16	4 000 ... 18 000
Decca-Kelly	DK 30	8, 15	2 500 ... 18 000
Janszen	65	8	800 ... 20 000
	130	8, 16	500 ... 20 000

Potencia nominal	4	Wrms
Impedancia nominal a 1000 Hz	4, 8, 16	Ohms
Frecuencia de resonancia nominal	120	Hz
Margen de frecuencia \pm 5 db	95 - 11500	Hz
Sensibilidad nominal 250 - 4000 Hz	87	db
Diámetro nominal de la bobina de voz	19	mm
Densidad de flujo magnético	11000	Gauss
Material del imán	cerámico	- - -
Peso del imán	245	grs
Dimensiones del canasto	126 X 176	mm
Perforación de fijación	110.6 X 110.6	mm
Diámetro perforaciones de fijación	5.8	mm
Apertura frontal	107.5 X 157.5	mm
Altura máxima	73	mm
Peso de la bocina	890	grs

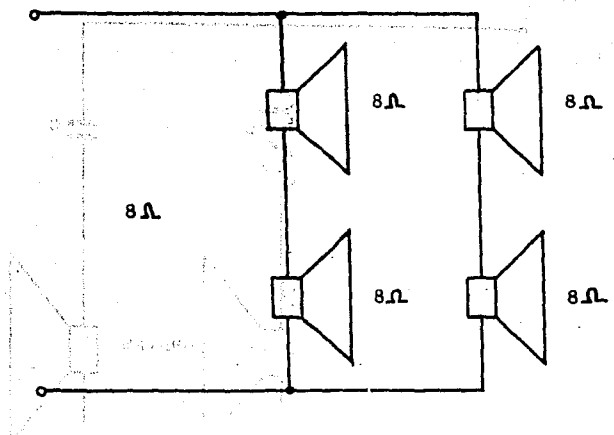
CARACTERISTICAS GENERALES DE UNA BOCINA MULTIVOX TIPO: M 1318/10/110, QUE POR SU AMPLIO RANGO DE FRECUENCIA, BUENA NITIDEZ EN LA REPRODUCCION MUSICAL, BUEN AMORTIGUAMIENTO Y BAJA DISTORSION EN GRAVES Y AGUDOS, TIENE USO EN BAFFLES DE H1 - F1, CONSOLAS Y APARATOS DE T.V.



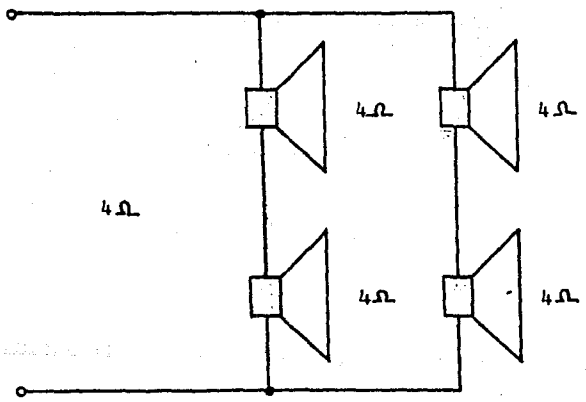
CONEXION SERIE DE ALTAVOCES



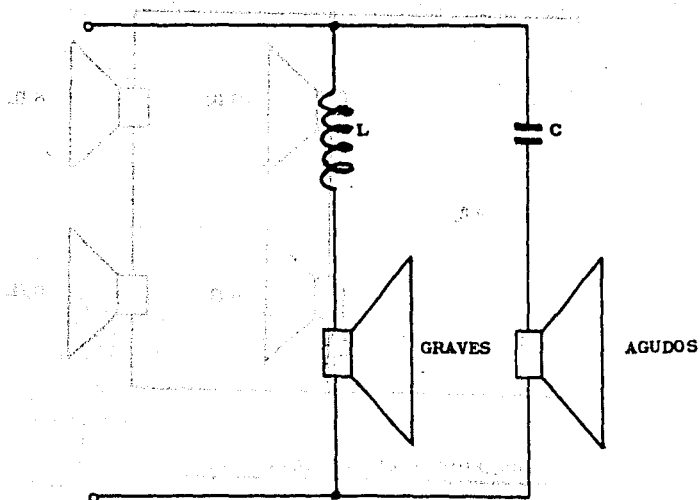
CONEXION PARALELO DE ALTAVOCES



CONEXION MIXTA DE ALTAVOCES



CONEXION MIXTA DE ALTAVOCES



DIVISOR DE FRECUENCIAS CON UN AMORTIGUAMIENTO DE 6 db/octava.

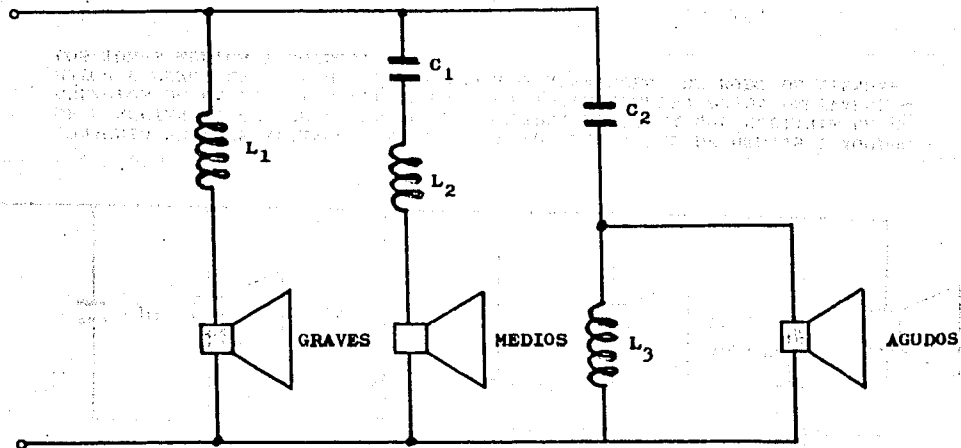
$$L = \frac{160 \cdot R}{f_0} \text{ mh}$$

$$C = \frac{160,000}{f_0 \cdot R} \mu\text{f}$$

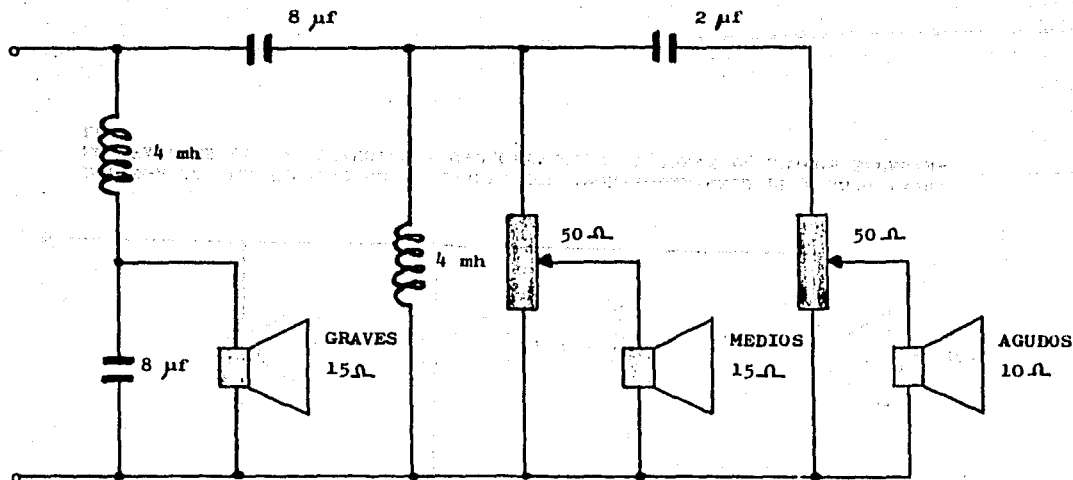
DONDE:

f_0 = FRECUENCIA DE SEPARACION.

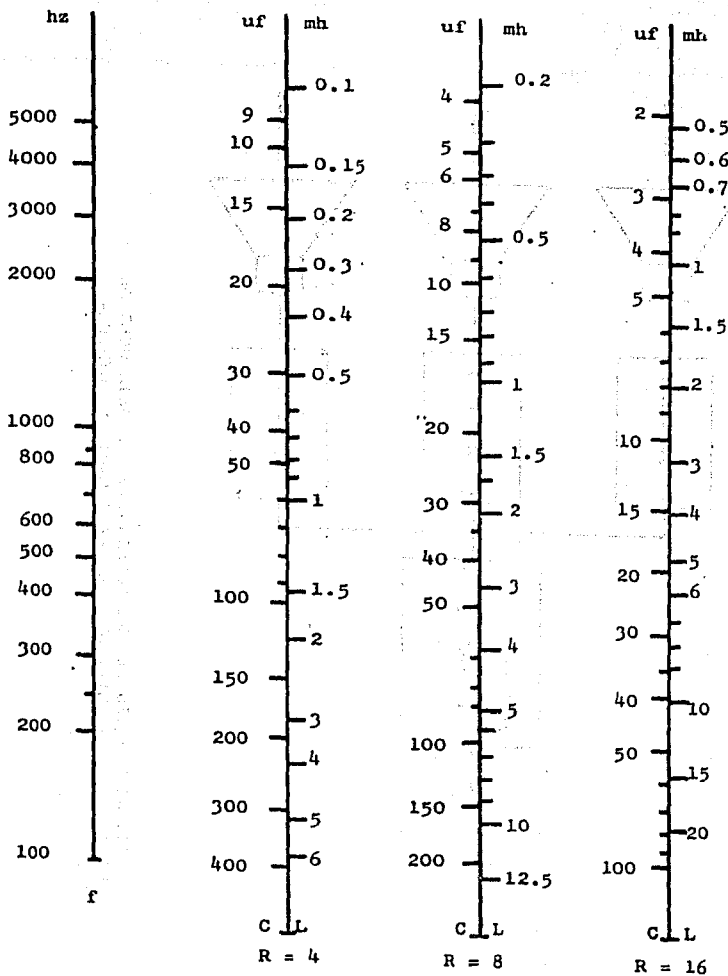
R = IMPEDANCIA DE LA BOBINA MOVIL.



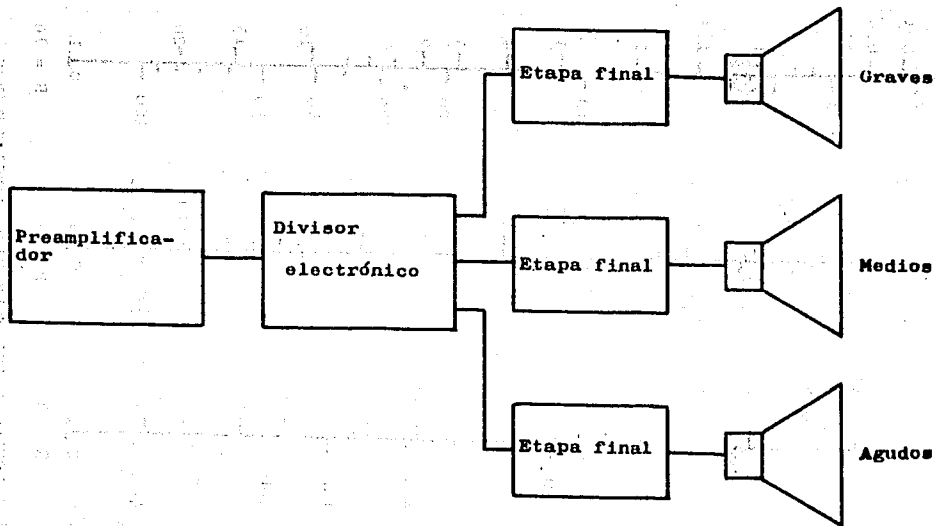
DIVISOR DE FRECUENCIAS DE 3 CANALES CON AMORTIGUAMIENTO DE 6 db/octava. LOS VALORES DE INDUCTANCIAS Y CAPACITANCIAS SE TOMAN DE ABACOS ESPECIALES.



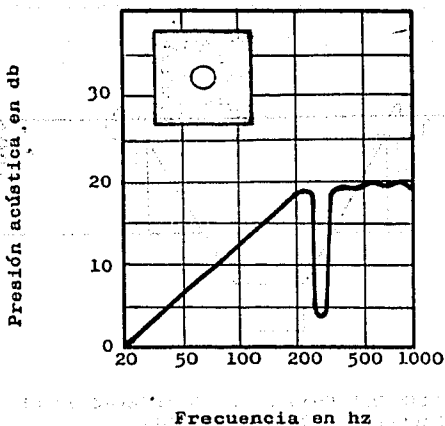
CONJUNTO DE TRES ALTAVOCES EN LOS QUE LOS ALTAVOCES DE MEDIOS Y AGUDOS SE CONECTAN AL CURSOR DE UN POTENCIOMETRO, DE FORMA QUE MEDIANTE LA REGULACION DE LA POSICION DEL CURSOR DEL POTENCIOMETRO PUEDA DERIVARSE MAYOR O MENOR ENERGIA HACIA LOS CITADOS ALTAVOCES, DE MODO DE ATENUAR LOS TONOS MEDIOS Y AGUDOS.



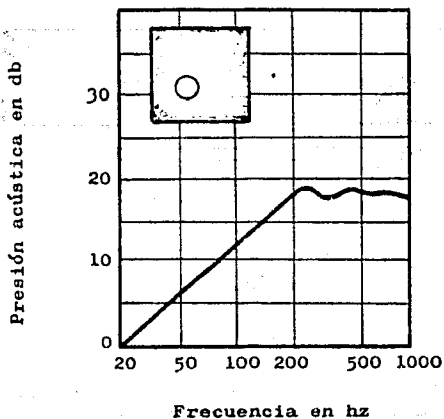
TABACOS PARA EL CALCULO DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS
 DE LOS DIVISORES DE FRECUENCIA DE TRES CANALES CON --
 ATENUACION DE SEIS Y DOCE db/octava.



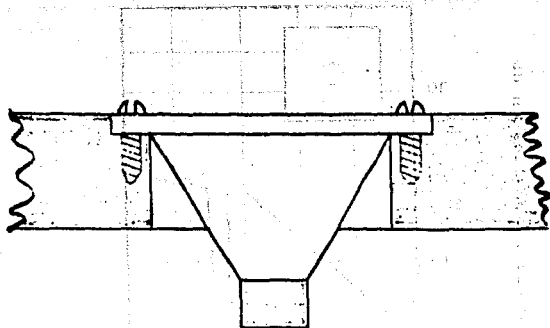
ESQUEMA DE BLOQUES DE UNA COMBINACION DE ALTAVOCES DE TRES CANALES CON DIVISORES DE FRECUENCIA ELECTRONICOS.



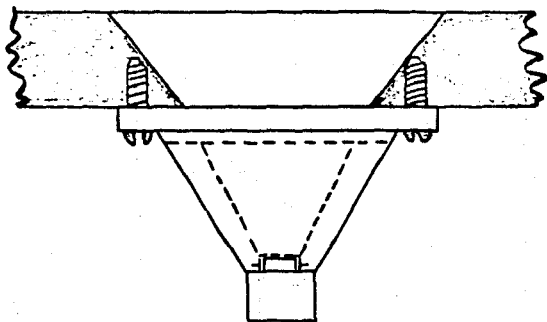
CURVA DE LA PRESION ACUSTICA - FRECUENCIA DE UN AL-TAVOZ CON BAFFLE EN DISPOSICION SIMETRICA.



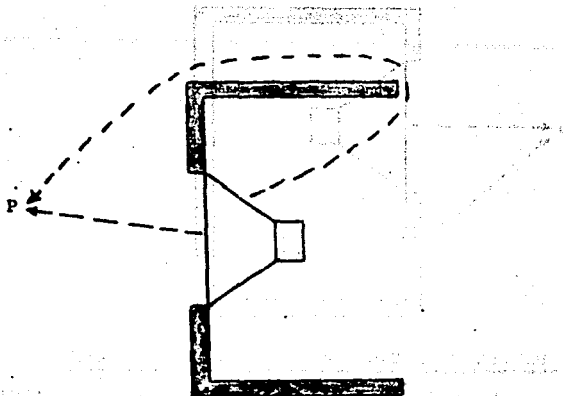
CURVA DE LA PRESION ACUSTICA - FRECUENCIA DE UN AL-TAVOZ CON BAFFLE EN DISPOSICION ASIMETRICA.



**MONTAJE DEL CHASIS DE UN ALTAVOZ SOBRE
EL BAFFLE EN MONTAJE HERMETICO.**

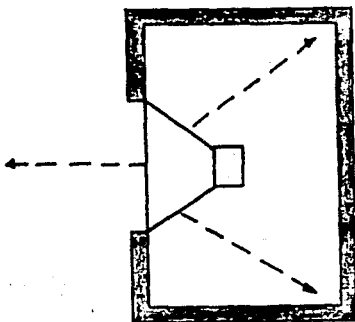


**MONTAJE DEL CHASIS DE UN ALTAVOZ SOBRE
EL BAFFLE EN ABERTURA BISELADA.**



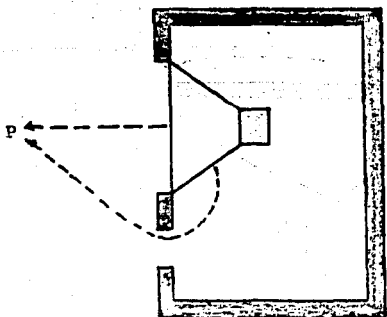
BAFFLE DE RESONANCIA ABIERTO POR DETRAS

AL ACORDAR LA TABLA DEL BAFFLE PLANO, DE FORMA QUE QUEDE TRANSFORMADA EN UNA CAJA CON FONDO ABIERTO, SE REDUCEN LAS DIMENSIONES DEL BAFFLE Y POR OTRA PARTE, SE OBLIGA A LA ONDA INDIRECTA A RECORRER UN TRAYECTO MUCHO MAYOR QUE LA ONDA DIRECTA PARA ALCANZAR EL PUNTO P SITUADO EN EL ESPACIO.



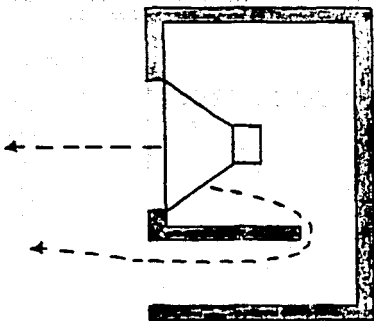
BAFFLE DE RESONANCIA CERRADO

SI SE ELIGE UNA CAJA DE DIMENSIONES REDUCIDAS, LA MASA DE AIRE CONTENIDA EN ESTA ESTARA SOMETIDA A DEPRESIONES Y PRESIONES MUCHO MAYORES QUE LAS DE LA MASA DE AIRE DE LA HABITACION. ASI PUES, CUANTO MENOR SEA EL VOLUMEN DE AIRE DE LA CAJA, MAYOR SERA LA FRECUENCIA DE RESONANCIA DEL ALTAVOZ, Y POR LO TANTO, MENOR SERA LA RESPUESTA EN EL EXTREMO DE GRAVES.



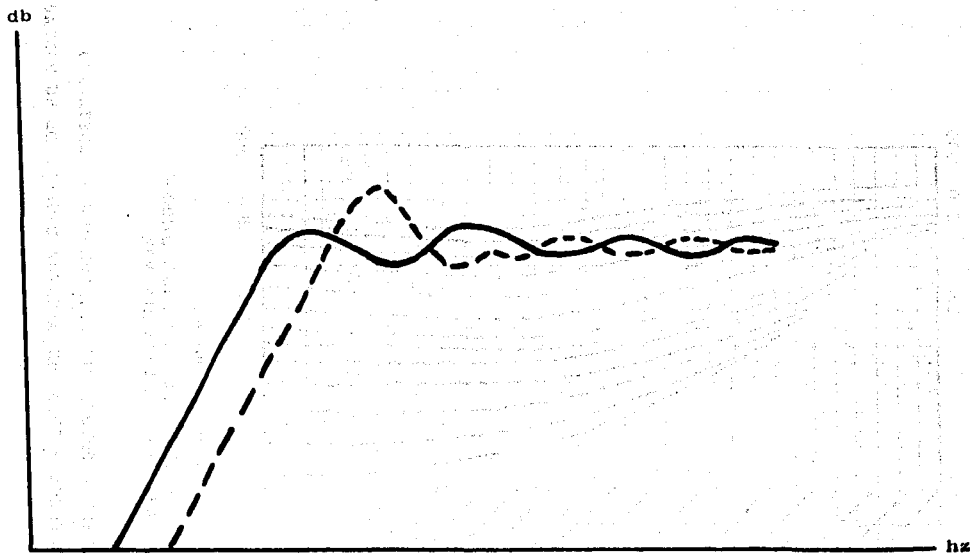
BAFFLE REFLECTOR DE BAJOS O BASS-REFLEX

ESTE BAFFLE BASA SU FUNCIONAMIENTO EN LA RESONANCIA MECANICA, A UNA FRECUENCIA DADA QUE DEPENDE DEL VOLU-
 MEN DE LA CAJA Y DEL AREA DE LA VENTANA, DEL VOLU-
 MEN DE AIRE PUESTO EN VIBRACION POR EL CONO DEL AL-
 TAVOZ.



BAFFLE REFLECTOR DE BAJOS O BASS-REFLEX

EN ESTE TIPO DE BAFFLE SE CONSIGUE REDUCIR EL TAMA-
 NO DE LA CAJA SIN QUE LA DISTANCIA ENTRE EL ALTA-
 VOZ Y LA VENTANA QUEDE TAN REDUCIDA QUE PERJUDIQUE
 EL EFECTO BAFFLE PARA LAS FRECUENCIAS SUPERIORES A
 LA DE RESONANCIA.



CURVA DE RESPUESTA DEL ALTAVOZ EN UNA CAJA BASS-REFLEX QUE VARIA
 SEGUN LA ABERTURA DE LA VENTANA. EN EL CASO DE QUE LA VENTANA ES
 TE TOTALMENTE CERRADA, LA CURVA ES LA REPRESENTADA CON LINEA DE
 TRAZOS; CON LA VENTANA AJUSTADA, ES DECIR, CON ALTAVOZ Y BASS-RE
 FLEX SINTONIZADOS, LA CURVA ES LA REPRESENTADA CON LINEA CONTI-
 NUA.

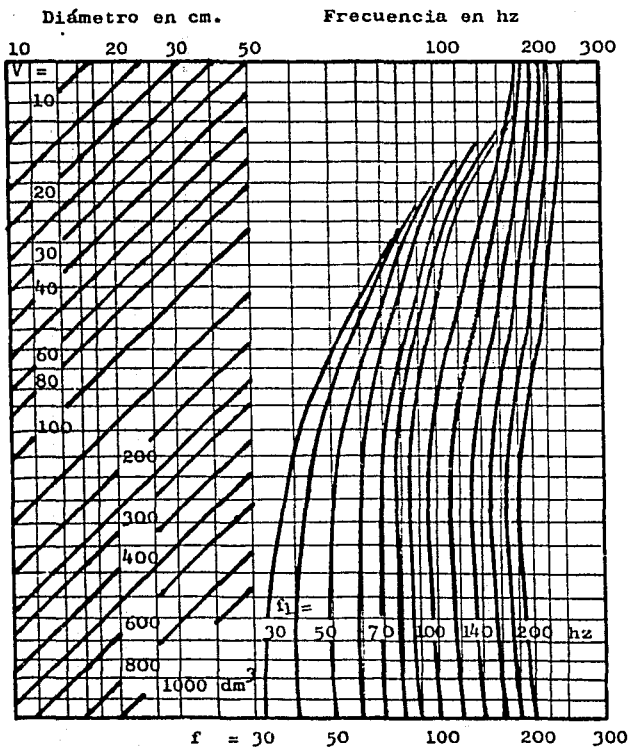


DIAGRAMA PARA LA DETERMINACION DE LAS DIMENSIONES DE UNA CAJA CERRADA PARA ALTAVOZ.

- f_1 = FRECUENCIA PROPIA DEL ALTAVOZ AUN NO INSTALADO.
- f_2 = FRECUENCIA PROPIA DEL ALTAVOZ DESPUES DE SU MONTAJE.

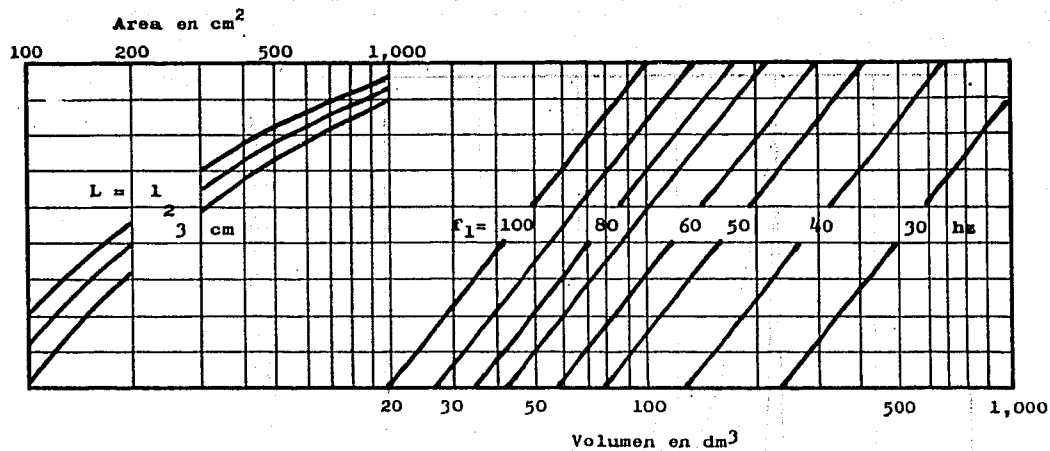
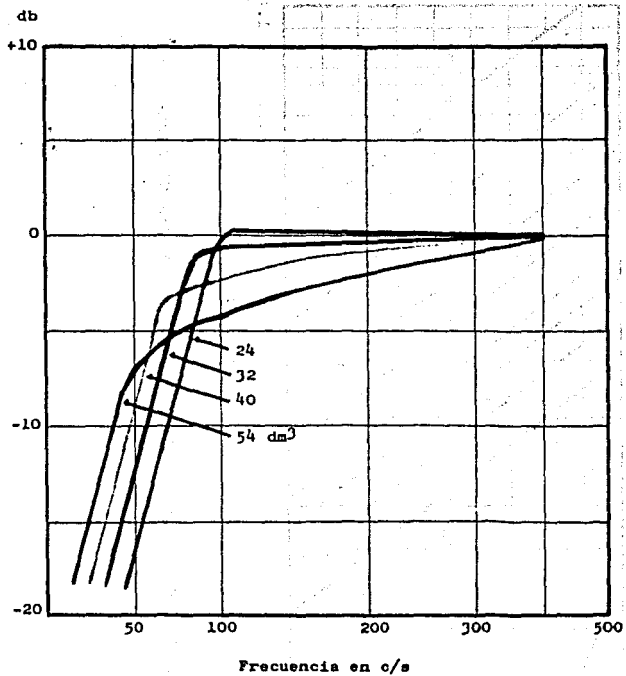
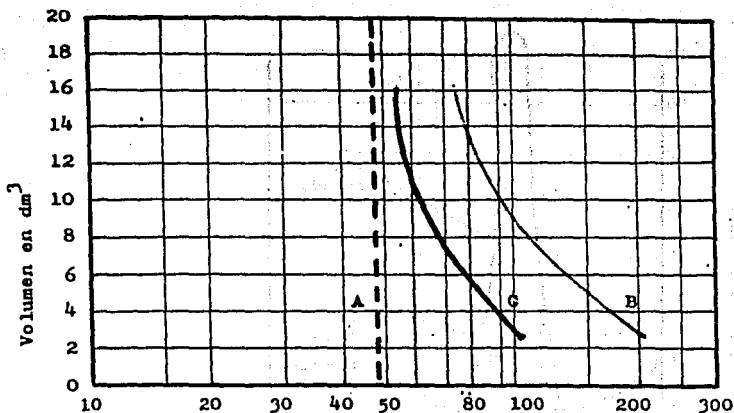


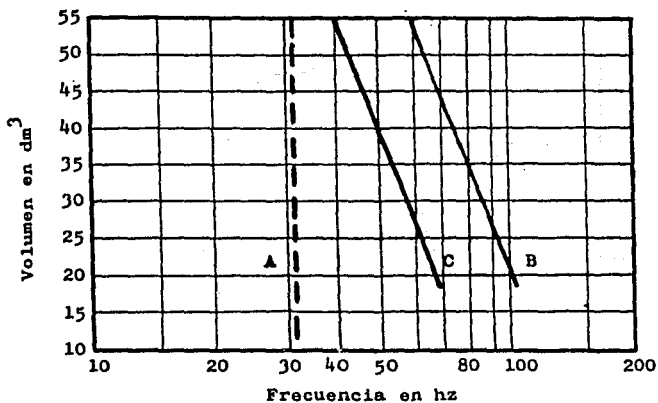
DIAGRAMA PARA LA DETERMINACION DE LAS DIMENSIONES DE UNA CAJA REFLECTORA DE GRAVES.



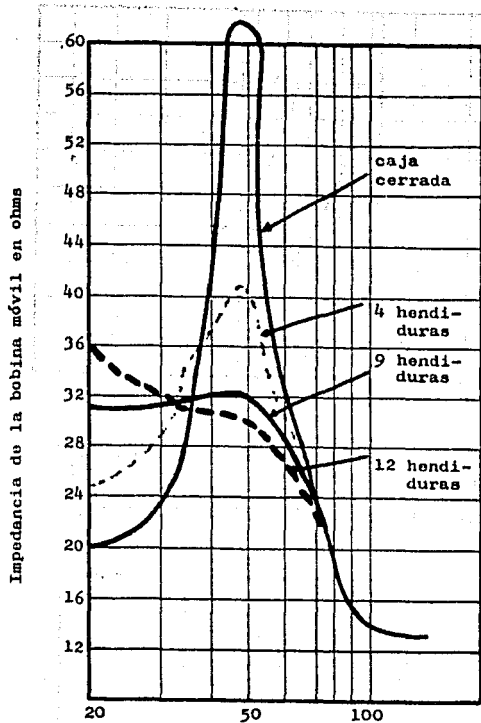
VOLUMEN OPTIMO DE LA CAJA PARA UN ALTAVOZ DE 25 cm
 CON UNA FRECUENCIA DE RESONANCIA DE 28 hz Y MAS.



RELACION ENTRE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA DEL ALTA-VOZ A, FRECUENCIA DE RESONANCIA DE LA CAVIDAD DE LA CAJA B, CAIDA DE LA PRESION ACUSTICA POR 10 db DEL - NIVEL MEDIO DE DIAFRAGMAS DE UN ALTAVOZ DE 15 cm. C.



RELACION ENTRE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA DEL ALTA-VOZ A, FRECUENCIA DE RESONANCIA DE LA CAVIDAD DE LA CAJA B, CAIDA DE LA PRESION ACUSTICA POR 10 db DEL - NIVEL MEDIO DE DIAFRAGMAS DE UN ALTAVOZ DE 25 cm. C.



Frecuencia en hz

INFLUENCIA DEL NUMERO DE HENDIDURAS DE LA PARED POSTERIOR DE LA CAJA SOBRE LA IMPEDANCIA DE LA BOBINA MOVIL A DIFERENTES FRECUENCIAS.

MEDIDAS INTERIORES DE CAJAS DE REFLEXION DE GRAVES PARA ALTAVOCES DEL TIPO DE CONSTRUCCION JORDAN-WATTS.

No. de Frecuencia unidades límite		Dimensiones de la caja			Dimensiones del túnel		
		A	B	C			
1	40 Hz	165 mm	390 mm	250 mm	25x	25x	75 mm
1	30 Hz	165 mm	500 mm	250 mm	44x	44x100	mm
2	30 Hz	158 mm	750 mm	350 mm	88x	88x100	mm
4	30 Hz	220 mm	1000 mm	375 mm	175x	175x100	mm

A = Espesor

B = Largo

C = Ancho

**DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS DE BAFFLES CONSTITUYENTES DE
CAJAS CERRADAS.**

Fabricante	Tipo	Datos técnicos
Grundig	LS 412	1 emisor de graves. 1 emisor de medios. 1 emisor de agudos. 1 divisor de frecuencias. Frecuencias de transición 1,500 Hz, 7,000 Hz. Volumen recomendado de caja 20 dm ³ .
	LS 80	1 emisor de graves. 1 emisor de tonos medios. 4 emisores de agudos. 1 divisor de frecuencias. Frecuencias de transición 1,500 Hz, 7,000 Hz. Volumen recomendado de caja 60 - 100 dm ³ .
Heco	HBS 12	1 emisor de graves PCH 130. 1 emisor de agudos PCH 65. 1 separador de frecuencias (3,5 uF). Volumen recomendado de caja 7 - 10 dm ³ .
	HB 20	1 emisor de graves PCH 200. 1 emisor de agudos PCH 65. 1 separador de frecuencias. Volumen recomendado de caja 20-30 dm ³ .
Isophon	BS 35/8	1 emisor de graves PSL 245. 1 emisor de tonos medios HMS -- 1318. 1 emisor de agudos. 1 separador de frecuencias. Frecuencias de transición 1,300 Hz, 14,000 Hz. Volumen recomendado de caja 43 dm ³ .
KEF	Baffle K2	1 emisor de graves B 139. 1 emisor de agudos T 15. 1 separador de frecuencias (DN 8). Frecuencia de transición 1,000 Hz. Volumen recomendado de caja 60-80 dm ³ .
Peerless	4-30	1 emisor de graves D 100 W. 1 emisor de tonos medios O 570 MRC. 2 emisores de agudos MT 25 HFC. 1 separador de frecuencias. Frecuencias de transición 500 Hz, 3,500 Hz. Volumen recomendado de caja 50 - 60 dm ³ .
Wharfedale	Unidad 5	1 emisor de graves 30,5 cm. Ø. 1 emisor de medios 12,7 cm. Ø. 1 emisor de agudos 2,5 cm. Ø. 1 separador de frecuencias. Frecuencias de transición 400 Hz, 3,500 Hz. Caja 70x39x25 cm.

PROCESO DE PRODUCCION MASIVA DE DISCOS

A SURCO MODULADO
DISCO LAQUEADO ORIGINAL

B GRABACION MAESTRA

C MATRIZ

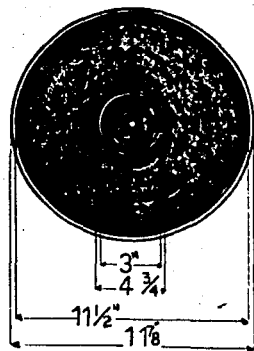
D ESTAMPADOR

E ESTAMPADOR X ETAPA DE ESTAMPADO

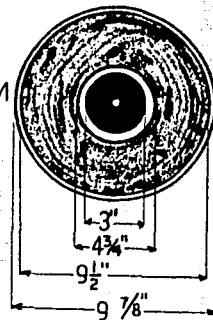
ESTAMPADOR Y MATERIAL TERMOPLASTICO

F DISCO FONOGRAFICO TERMINADO
SURCOS MODULADOS

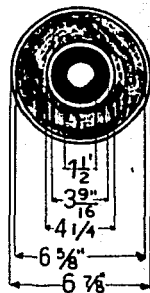
DIMENSIONES TÍPICAS DE LOS DISCOS FONOGRAFICOS MAS COMUNES



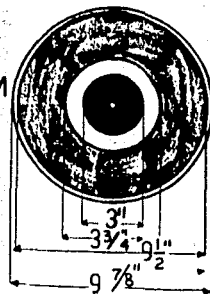
33 $\frac{1}{3}$ RPM



33 $\frac{1}{3}$ RPM



16 $\frac{2}{3}$ Y
45 RPM



78 RPM

CAPITULO I

ACUSTICA: CIENCIA, TECNOLOGIA Y ARTE

Acústica es el nombre dado a esa parte de la ciencia la cual trata con el fenómeno del sonido. En cierto sentido la palabra acústica viene del Griego y significa audición, aunque el sonido audible ahora forma solo una pequeña parte de su campo de aplicación.

¿ Qué es sonido ? Cuando una persona abre su boca y habla, se dice que pronuncia un sonido y otra persona en la vecindad, que posee una audición normal, es dicho que la escucha. La clave de esta idea es movimiento, - movimiento el cual se produce primero en el aire cerca de la boca del orador y más tarde es reproducido cerca del oído del escuchador a través de la acción de la propagación de la onda. Vivimos sumergidos en un mundo - de sonido, producido no solo por nosotros mismos y otras cosas vivientes sino también por la naturaleza inanimada.

Como una forma de mirar y manipular la experiencia humana, la acústica funciona como una ciencia, una tecnología y un arte. ¿ Qué significa esto ? La acústica es una ciencia en el sentido que procura describir, crear y entender una posición de la experiencia humana. Describe buscando establecer orden y regularidad en el mundo del sonido por medio de las leyes acústicas. Crea a través de nuevos experimentos y fenómenos de sonido previamente indetectados. Finalmente busca para comprender, desarrollando teorías de la propagación del sonido.

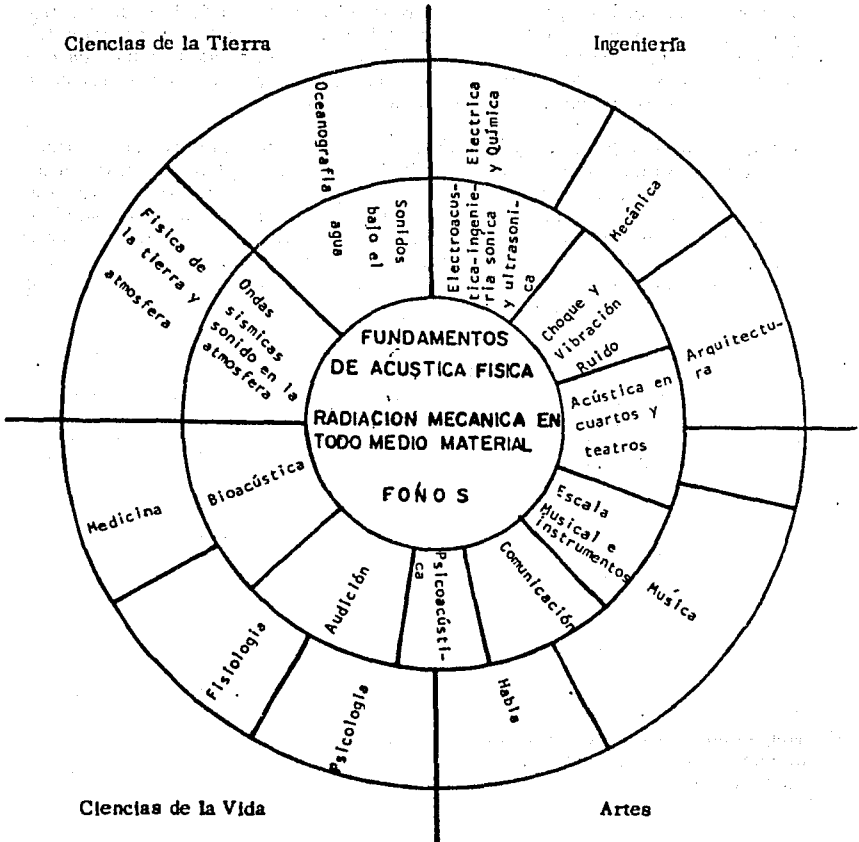
La acústica es también una parte de tecnología, la cual es una actividad liberada sobre la capacidad del hombre para modificar su medio ambiente así como para hacer su vida más confortable e interesante. Los principios científicos de la acústica han sido aplicados, por ejemplo, a la grabación - y reproducción del sonido, creando así una nueva y vasta industria la cual ha servido para proporcionar los placeres de la música a millones de seres quienes normalmente llegarían a oírla pero raramente.

Finalmente, la acústica no es sólo una ciencia y una tecnología sino también un arte. Esto es mostrado por sus relaciones con la música, parte - de la cual la ciencia de la acústica desarrolló y cuya asociación con la - - acústica técnica está haciéndose siempre más cercana.

Es claro que la acústica es una disciplina muy amplia. Sus muchas ramificaciones están desplegadas en la siguiente carta circular. El círculo central representa la acústica física fundamental, las bases de todos los aspectos del sonido. Alrededor del circuito interior están dos anillos anulares, conteniendo secciones cuneliformes. La región del anillo anular está además dividida en cuatro cuadrantes correspondiendo a la Ingeniería, las ciencias de la tierra, las ciencias de la vida, y aspectos de las artes. Los

segmentos en el primer anillo anular se refieren a varias partes de la acústica dentro de las cuales la investigación acústica y la literatura profesional asociada están divididas. El anillo anular exterior contiene letras relacionando los campos técnicos y artísticos en los cuales la acústica en sus muchas partes ha sido y está siendo aplicada.

LA CIENCIA DE LA ACUSTICA



LA HISTORIA DE LA ACUSTICA

Los problemas de la acústica son divididos más convenientemente en tres grupos principales, a saber, (1) la producción del sonido, (2) la propagación del sonido y (3) la recepción del sonido.

1. Producción del sonido.

El hecho de que cuando un cuerpo sólido es golpeado un sonido es producido debe haber sido observado desde los primeros tiempos. La observación adicional de que bajo ciertas circunstancias los sonidos así reproducidos son particularmente agradables para el oído, suministró las bases para la creación de la música, la cual debe haber sido originada mucho antes de los comienzos de la historia archivada. Generalmente se acepta que el primer filósofo griego que estudió el origen de los sonidos musicales fué Pitágoras, quien estableció su escuela en Crotona en Italia meridional en el siglo VI a. c. él se impresionó por el hecho que, de dos cuerdas extendidas atadas en sus extremos, la nota de más alta elevación es emitida por el pedazo más corto, y que si una tiene dos veces la longitud de la otra, la más corta emitirá una nota un octavo encima de la otra. Parece claro que el germen de la idea de que la elevación depende de un modo u otro de la frecuencia de vibración del objeto que produce el sonido estaba en la mente de los filósofos Griegos de la escuela Pitagoreana, tales como los Artistas de Tarentum en Italia meridional quienes florecieron alrededor del año 375 a. c. Una clara presentación de este punto de vista se encuentra en los escritos sobre música del filósofo romano, Boethius, en el siglo VI a. c. Para los científicos modernos las bases de esta relación, han sido establecidas por Galileo Galilei (1564-1642). En el término del "Primer día" de los grandes "Diálogos Italianos concernientes a las Dos Nuevas Ciencias", publicado en 1638, hay una remarcable discusión sobre la vibración de los cuerpos. Comenzando con las observaciones sobre el isocronismo del péndulo simple y la dependencia de la frecuencia de vibración con la longitud de la suspensión, el autor a continuación describe el fenómeno de la vibración simpática o resonancia, por la cual la vibración de un cuerpo, puede producir una vibración similar en otro cuerpo distante. También revisa las nociones comunes a cerca de la relación de la elevación de una cuerda vibrante a su longitud y expresa la opinión de que el significado físico de esta relación se encuentra en el número de vibraciones por unidad de tiempo, lo que ahora llamamos la frecuencia; y dice que esto fué confirmado por dos observaciones: la primera fué de un cubilete de vidrio colocado con su base fijada al fondo de un gran balde y llenando con agua el cubilete casi hasta el borde, frotando la orilla con el dedo, éste puede ser hecho vibrar y emitir un sonido. Al mismo tiempo, son observados rizados corriendo a través de la superficie del agua; y cuando, como ocasionalmente sucede, la nota del cubilete aumenta una octava en eleva-

ción, las arrugas en el agua son "divididas en dos", lo que ahora decimos la longitud de onda es partida en dos. La segunda observación fué el resultado de un accidente en el cual sucedió que al raspar una placa de latón con un cincel de hierro para remover algunas manchas de este. Una vez en un tiempo, el raspamiento estaría acompañado - por agudo silbido de definido carácter musical. En este caso, siempre observaba una larga fila de finas bandas paralelas en la superficie del latón, equidistantes una de otra; más tarde notó que la elevación de la nota del silbido podría ser incrementada aumentando la velocidad del raspamiento y, en este caso, la separación de las bandas decrecía.

Galileo expresó que era capaz de hilar el tono de las cuerdas con la ayuda de cinceles raspando tonos y encontró que, cuando el intervalo musical entre tales cuerdas era juzgado a oído para ser un quinto, los espaciamientos promedio entre las líneas sobre la placa de latón para los correspondientes tonos estaban en la relación de tres a dos. Parece claro de una cuidadosa lectura de los escritos de Galileo que él tenía un entendimiento claro de la dependencia de la frecuencia de una cuerda extendida con su longitud, tensión y densidad.

Clifford Truesdell en su historia elaborada de los mecanismos de elasticidad expresa la opinión de que la importancia de las contribuciones de Galileo a los mecanismos de vibración ha sido exagerada. El Francés, Isaac Beecman (1588-1657), había pensado acerca de la vibración de cuerdas e imprimió algunas de sus especulaciones en 1618. En las cuales manifestó sus secretos sobre la relación entre elevación y frecuencia y dió argumentos en favor de Galileo. Antes que Beecman fue el Italiano, Giovanni Battista Benedetti (1530-1590), quien en un trabajo sobre intervalos musicales publicado en Turín en 1585 expresó su creencia en la igualdad entre la razón de elevaciones y la razón de elevaciones y la razón de las frecuencias de los movimientos vibratorios correspondientes a la producción de los sonidos. Más elaborados fueron los estudios del sacerdote Francés, Marin Mersenne (1588-1648), quien en 1625, publicó algunos resultados que habfa obtenido de la observación experimental de las vibraciones de una cuerda extendida. Donde reconoció, que la frecuencia de la vibración es inversamente proporcional a la longitud de la cuerda, mientras que es directamente proporcional a la raíz cuadrada del área del cruce seccional.

Más tarde experimentadores como Roberto Hooke (1635-1703), trataron de conectar la frecuencia de vibración con la elevación, dejando que un diente de rueda corriera contra el borde de un cartel, una demostración común de lectura en estos días.

El hombre que hizo los más perfectos estudios pioneros de la frecuencia en relación a la elevación fue indudablemente el Francés, Joseph Sauveur (1653-1716). A él puede acreditarse ser el primero en sugerir que el nombre acústica fuera aplicado a la ciencia del sonido. ---

Sauveur sabía de la significancia de los batidos que son observados -- cuando dos organos de tubos (o fuentes similares de sonido) de pequeña diferencia de elevación son tocados juntos, y experimentando, él encontró que cuando se tocaban juntos los tubos daban seis batidos en un segundo. Tratando este número como la diferencia entre las frecuencias de los tubos, Sauveur alcanzó la conclusión de que estos últimos números eran, respectivamente, 90 y 96 cps.

Fue el matemático Inglés, Brook Taylor (1685-1731), el bien conocido autor del teorema de Taylor sobre series infinitas, el primero en proveer una solución estrictamente dinámica de la cuerda vibrando. - Esta fue publicada en 1713 y estaba basada sobre una supuesta curva para la forma de la cuerda cuando vibra lo que ahora llamamos su modo fundamental (cuando todas las partes de la cuerda están simultáneamente sobre el mismo lado de la posición horizontal de equilibrio). Esta curva fue tomada de tal modo que todos los puntos alcanzarían la posición horizontal al mismo tiempo. De la ecuación de esta curva y la ecuación Newtoniana de movimiento, Taylor consiguió derivar una fórmula para la frecuencia de la vibración fundamental que concorda con la ley experimental de Mersenne y Galileo.

Aunque Taylor trató solo un caso especial y no hizo el tratamiento general de la cuerda con todos sus modos por falta de los cálculos de derivadas parciales, dejó asentadas las bases para las técnicas más elaboradas del Suizo, Daniel Bernoulli (1700-1782), del Francés, Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), y del Suizo, Leonhard Euler (1707-1783) Estos caballeros condujeron a establecer la ecuación diferencial parcial de movimiento de la cuerda vibrante y resolverla de la manera moderna.

Volviendo al lado físico del problema de la cuerda vibrando como una fuente de sonido, este ya había sido observado, por John Wallis (1616-1703) en Inglaterra tan bien como por Sauveur en Francia, notando que una cuerda extendida puede vibrar en partes, así como en ciertos puntos intermedios, los cuales Sauveur llamó nodos; ningún movimiento tiene lugar, mientras que movimientos violentos toman lugar en puntos intermedios llamados lazos. Se reconoció pronto que tales vibraciones corresponden a las frecuencias más altas que aquellas asociadas con la vibración simple de la cuerda como un todo sin nodos, y en verdad que esas frecuencias son enteros múltiples de la frecuencia de la vibración simple. Los sonidos emitidos asociados fueron llamados por Sauveur tonos armónicos, mientras el sonido correspondiente a la vibración simple fue llamado la fundamental. La notación así introducida (alrededor de 1700) ha sobrevivido hasta el presente día. Sauveur notó el importante hecho adicional de que una cuerda vibrando puede producir los sonidos correspondientes a varias de sus armónicas al mismo tiempo. La explicación dinámica de esto fue dada por Daniel Bernoulli

en sus famosas memorias para la Real Academia de Berlín. En estas mostró que es posible para una cuerda vibrar de tal forma que una multitud de oscilaciones armónicas simples se presenten al mismo tiempo y que cada una contribuye independientemente a la vibración resultante, el desplazamiento a cualquier punto de la cuerda a cualquier instante siendo la suma algebraica de los desplazamientos asociados con varios modos armónicos-simples. Así propuso el famoso principio de la coexistencia de pequeñas oscilaciones, también conocido como el principio de superposición. Bernoulli trató de dar una prueba de este principio pero esto no fue posible. El significado real del principio de superposición fue señalado casi inmediatamente por Euler, enunciando, que la ecuación diferencial parcial que gobierna el movimiento de la cuerda sin fricción ideal es lineal. Con este entendimiento, el principio de superposición puede ser provisto como un teorema.

Entre los matemáticos del siglo XVIII quienes atacaron el problema de la cuerda vibrante estaba J. L. Lagrange (1736-1813), italiano de Turín, quien paso la mayor parte de su carrera activa en Francia. El fue el autor del tratado, *Mécanique analytique*, en el cual la mecánica era reducida a una parte del análisis matemático. En una extensa memoria presentada a la Academia de Turín en 1759, Lagrange expuso un diferente y nuevo enfoque al problema de la cuerda, donde apuntaba que la cuerda estaba compuesta de un número límite de partículas con masa idéntica igualmente espaciadas atadas juntas por segmentos iguales de cuerda extendida sin peso. Entonces resolvió el problema del movimiento de este sistema como un sistema dinámico con muchos grados de libertad, y estableció la existencia de un número de frecuencias independientes igual al número de las partículas. Cuando paso al límite y permitio que el número de partículas fuera infinitamente grande y la masa de cada una correspondientemente pequeña (así que el producto igualó la masa finita de la cuerda), encontró que estas frecuencias eran precisamente las frecuencias armónicas de la cuerda continua extendida. Lagrange sintió que su invento evitó las dificultades analíticas asociadas al movimiento de la cuerda continua y que había hecho un avance decisivo. Algunas observaciones resultan de aquí; en primer lugar, Euler resolvió alrededor de 1744 el problema mecánico del movimiento de las n partículas en una cuerda, donde n es algún entero. En segundo lugar, había sido señalado por Truesdell que el paso de Lagrange al límite era matemáticamente defectuoso y, para ser hecho riguroso, demandó esencialmente la misma clase de asunciones matemáticas que opuso, en el análisis de sus contemporáneos Bernoulli, Euler, y d'Alembert, para la cuerda continua. Así como fue, el método de Lagrange fue adoptado por J. W. Strutt lord Rayleigh (1842-1919) en su "Theory of Sound".

d'Alembert usualmente obtiene el crédito de haber sido el primero en desarrollar, en 1747, la ecuación diferencial parcial de la cuerda vibrante en la forma que referimos ahora como la ecuación de onda. También encontró su solución general en la forma de ondas viajando en ambas direcciones a lo largo de la cuerda. Desde este punto de vista, las vibra-

ciones de la cuerda son debidas a una combinación de tales ondas viajeras para formar las así llamadas ondas estacionarias o permanentes.

No debe pensarse que la cuerda vibrante, importante como fué, llevó todas las atenciones de los científicos del siglo XVIII. Estaban también interesados en otros movimientos productores de sonidos. En la memoria de 1759 de Lagrange, por ejemplo, hay un tratado de los sonidos producidos por organos de tubos e instrumentos musicales de viento en general. Los hechos experimentales básicos eran ya conocidos y Lagrange fué capaz de predecir teóricamente las frecuencias armónicas aproximadas de tubos cerrados y abiertos. En algunos casos, problemas de esta clase estan fuertemente relacionados con la propagación del sonido, Euler hizo también grandes contribuciones a este campo, es solo que recientemente su magnitud ha sido apreciada. En un pequeño tratado, "Physical Dissertation on Sound" escribió en Basel en 1727 cuando Euler tenía cerca de veinte años, los rasgos esenciales de los sobretonos de tubos eran tratados en forma esencialmente moderna. Esto fué, naturalmente, anterior al trabajo de Lagrange, Euler en este tiempo estaba particularmente interesado en instrumentos musicales como la flauta. Alrededor de 1759, había considerable actividad por ambos Euler y Lagrange sobre las oscilaciones del sonido en tubos y mucha correspondencia entre ellos. En 1766, Euler produjo un tratado elaborado sobre mecánica de fluidos, la cuarta sección del cual estava enteramente consagrada a las ondas del sonido en tubos.

Los científicos matemáticos del siglo XVIII, estudiaron otros cuerpos solidos que además de las cuerdas emiten sonido cuando disturban. Por ejemplo, estaban familiarizados con campanas, y allí deben haber acumulado una vasta cantidad de conocimientos empíricos acerca de esta clase de fuentes de sonido. Pero la aplicación exitosa de los metodos matemáticos a las vibraciones de barras metálicas, placas y conchas requería de un conocimiento de la relación entre la deformación del cuerpo solido y la fuerza de deformación imprimida. Afortunadamente, este problema ya había sido atacado y resuelto en su forma más simple por Roberto Hooke, quien en 1660 la descubrió conectando la fuerza con la tensión para cuerpos bajo deformaciones elásticas. Esta ley dice que dentro del así llamado límite elástico la tensión de un cuerpo elástico (el incremento fraccional en longitud para una varilla lineal o barra) es directamente proporcional a la fuerza (la fuerza por unidad de área del cruce seccional de la varilla o barra en la dirección del dilatamiento). Esta ley forma las bases para toda teoría matemática de elasticidad, incluyendo vibraciones elásticas que dan aumento al sonido. Su aplicación a las vibraciones de barras soportadas en varios puntos parece haber sido hecha en 1734-1735 por Euler y Daniel Bernoulli. Los metodos matemáticos usados fueron más tarde sistematizados y extendidos por Lord Rayleigh en su "Theory of Sound".

La solución analítica correspondiente para las vibraciones de una placa sólida elástica tuvo más dificultad y vino más tarde, aunque muchas in formaciones experimentales útiles fueron obtenidas en la última parte del siglo XVIII por el científico alemán, E. F. F. Chladni (1756-1824). Quen en 1787, publicó su celebre tratado "Entdeckungen uber die Theorie des Klanges", en el cual describe su método de desparramar arena sobre placas vibrando para mostrar las líneas nodales (líneas de cero - desplazamiento). Esas figuras de Chladni han sido reconocidas como cosas de gran belleza. En una forma general, podrían ser estimadas por consideraciones similares a esas explicaciones la existencia de nodos en una cuerda vibrando. Las formas exactas, sin embargo, fueron dadas hasta despues de la publicación del trabajo clasico de Chladni, - - "Die Akustik", en 1802. El Emperador Napoleon donó para el Instituto de Francia un premio de 3,000 francos para ser concedido a una teoría matemática satisfactoria de las vibraciones de placas. Este premio fue concedido en 1815 a la celebre mujer matemática Mlle. Sophie Germain, quien produjo la correcta ecuación de cuarto orden; aunque se probó que su elección de condiciones frontera estaba incorrecta. No fue sino hasta 1850 que G. R. Kirchhoff (1824-1887) dió una teoría más exacta. La tecnología moderna con su concernimiento para las vibraciones de cosas tales como aeroplanos fuselados, etc., todavía mantiene activa investigación sobre las vibraciones de placas y conchas solidas de varias formas.

La primera solución del problema análogo de las vibraciones de una membrana flexible, importante para el entendimiento de los sonidos emitidos por tambores, es usualmente atribuida al matemático Francés. S. D. - Poisson (1781-1840) aunque le faltó completar el caso de una membrana circular, el cual fué tratado por R. F. A. Clebsch (1833-1872) en 1862.

La habilidad para excitar vibraciones en medios de arbitraria naturaleza, tamaño, y forma y con frecuencia arbitraria sobre un ancho rango tuvo que esperar el desarrollo de la electroacústica, en gran parte un producto de la investigación del siglo XX. Es verdad que oscilaciones eléctricas y circuitos eléctricos oscilantes fueron descubiertos e inventados en la mitad del siglo XIX, pero los métodos de acoplarlos a sistemas mecánicos así como hacerlos producir oscilaciones mecánicas no se desarrollaron de una manera práctica hasta después de 1900. Mientras los diapasones entonados permanecieron como la única frecuencia estandar práctica para las fuentes de sonido, ningún gran progreso aplicando la teoría matemática de la acústica para casos prácticos podía ser esperado. Los principios físicos básicos para este propósito fueron en verdad bien conocidos en el siglo XIX. Así como, la fuerza en un conductor llevando corriente en un campo magnético había sido descubierta por 1820. El efecto piezoeléctrico salido de los experimentos de los hermanos Curie en 1880. Este es la propiedad, desplegada por algunos cristales (notablemente cuarzo), de aparecer cargas eléctricas sobre las caras del cristal cuando estan sujetos a fuerzas mecánicas de varias cla--

ses y recíprocamente de cambiar sus dimensiones (exhibiendo tensiones) cuando son colocados en un campo eléctrico. Se sabía que había la posibilidad de desarrollar fuentes controladas y receptores de ondas sonoras, pero la actual explotación del efecto para este propósito no tuvo lugar hasta la segunda década del siglo XX. La misma situación prevaleció con el efecto de magnetostricción, la tendencia de materiales magnetizables a cambiar sus dimensiones cuando son colocados en un campo magnético. Este fué descubierto por J. P. Joule (1818-1892) en 1842. El advenimiento del oscilador de tubo al vacío y amplificador hizo el empleo de estos efectos posible en la producción y recepción del sonido a todas las frecuencias e intensidades sobre una precisión base.

No debe dejarse de ver aquí uno de los más importantes métodos para la producción del sonido: las cuerdas vocales que producen el habla en los seres humanos y los ruidos emitidos por animales inferiores. Es un hecho curioso que, aunque estos ejemplos de producción del sonido son en muchos caminos los más obvios de todos, poca atención fue prestada a ellos durante la evolución histórica de la acústica. Acaso sería más correcto decir que el habla humana no seduce la atención de los matemáticos y físicos, quienes estaban principalmente inquietos con la producción del sonido. El habla, después de todo, pareció cercano al lenguaje y por tanto en la provincia de los filólogos y etimologistas.

Al mismo tiempo, el mecanismo básico del habla humana - la combinación de las cuerdas vocales vibrando y las cavidades de la boca - fue considerado una materia para anatomistas y fisiólogos. Es de interés notar que tan temprano como 1629 el Inglés, W. Babington, observó los movimientos de las cuerdas vocales por medio de luz reflejada por espejos en la boca. Este fue el comienzo del desarrollo que vino a ser llamado el laringoscopio, finalmente perfeccionado por el fisiólogo Checo, J. N. Czermac, en 1857. Unos ochenta años más tarde, películas de las cuerdas vocales fueron hechas por D. W. Farnsworth para los laboratorios Bell Telephone.

La naturaleza de los sonidos vocales del habla y el canto fueron primero perfectamente investigados por Hermann Von Helmholtz (1821-1894) en 1860, con el uso de los famosos resonadores que llevan su nombre. Sus resultados fueron establecidos enseguida en el tratado "Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundalage fur die Theorie der Musik", publicado en 1862. Colocado este como una de las grandes piezas maestras de la acústica. Es verdad que investigaciones anteriores (en 1837) por el Inglés, Sir Charles Wheatstone (1802-1875) habían conducido al desarrollo de una teoría armónica para la producción de sonidos vocales. En acordancia con esto, las cuerdas vocales vibran para producir ambas una frecuencia fundamental y numerosas armónicas. Era asumido que estas vibraciones cuando comunican el aire son reforzadas por resonancia en las cavidades de la boca. Otra teoría apa

rentemente propuesta primero por W. T. Willis, en Inglaterra en 1829, asume que el origen de los sonidos vocales no estaba en la vibración continua de las cuerdas vocales, sino más bien en ráfagas de aire emitidas por ellas. Estas ráfagas pasajeras fijan el aire en las cavidades de la boca en vibración y la resonancia ahí da al sonido emitido su cualidad característica. Von Helmholtz más tarde señaló que ambas ideas tienen elementos de corrección, e investigaciones modernas han confirmado esa opinión. Algunos de los primeros investigadores sostuvieron que toda la cavidad oral actúa como un resonador sencillo, mientras otros, notablemente Alexander Graham Bell, el inventor del teléfono, y Von Helmholtz mismo creyeron que los sonidos vocales dependen de dos resonancias características, correspondiendo a la acción de la boca como un resonador doble (dos resonadores acoplados juntos), Von Helmholtz señala en su famoso tratado que el conocimiento de que las cavidades orales pueden ser entonadas a diferentes frecuencias retrocede a los principios del siglo XVII, aunque es claro que en ese tiempo no hubo instrumental altamente desarrollado para el estudio del fenómeno.

2. Propagación del Sonido.

Desde las primeras observaciones archivadas, ha sido acuerdo general que el sonido es llevado desde un punto a otro en el espacio a través de alguna actividad del aire. Aristoteles enfatiza que en verdad hay un movimiento efectivo del aire envuelto, y es posible leer dentro de la descripción de su tratado, "De Anima", y del tratado "De Audibilibus" a menudo atribuido a él la noción de que el sonido es debido a ondas compresionales en el aire. Parece claro que el famoso ingeniero arquitecto Romano, Marcus Vitruvius Pollio, del primer siglo a. c. tuvo una idea adecuada de la teoría de la onda del sonido en las analogías que dibujó con ondas en la superficie del agua. Sin embargo, puesto que en la transmisión del sonido el aire no parece moverse no es sorprendente que otros filósofos negaron estos puntos de vista de Aristoteles y Vitruvius.

Hasta durante el período Galileano, el Francés, Pierre Gassendi (1592-1655), en su revisión de la teoría atómica, atribuyó la propagación del sonido a la emisión de una ráfaga de muy pequeñas, partículas indivisibles desde el cuerpo sonoro, las cuales, después de moverse a través del aire, son capaces de un modo o de otro de afectar al oído. Otto von Guericke (1602-1686) expresó que el sonido es llevado por un movimiento del aire, observando que es transmitido mejor cuando el aire está calmado que cuando hay viento. Además, alrededor de la mitad del siglo XVII, hizo el experimento de hacer sonar una campana en una jarra que fue evacuada por medio de una bomba de aire, y clamó que todavía se podía oír el sonido. De hecho, el primero en experimentar la campana en el vacío fue aparentemente el Jesuita, Athanasius Kircher (1602-1680), quien describió en su libro, "Musurgia Universalis", publicado

en 1650, la conclusión de sus observaciones de que el aire no es necesario para la transmisión del sonido. En 1660, Robert Boyle (1627-1691) en Inglaterra repitió el experimento con una bomba de aire muy mejorada y arreglos más cuidadosos, y finalmente observó el ahora bien conocido decrecimiento en la intensidad del sonido cuando el aire es bombeado fuera. Definitivamente concluyó que el aire es un medio para la transmisión del sonido, aunque presumiblemente no solo el único. Una más cuidadosa examinación de la situación muestra que el decrecimiento observado en la intensidad del sonido no es debido tanto a la falta de la baja presión del aire para transmitir el sonido sino a la creciente dificultad de recibir el sonido de la campana (o de otra fuente de sonido) en el aire y entonces sacarlo otra vez del aire al vidrio contenedor. La así llamada impedancia desigual entre la fuente y el medio fluido circundante llega a ser tan grande como la densidad del medio decrece. Naturalmente, el experimento hace demostrar una muy importante conexión entre la fuente y el medio en la propagación acústica, y la teoría moderna del sonido implica que sin duda algún medio material es necesario para la transmisión acústica.

Aceptado que el aire es un medio para la transmisión del sonido, la pregunta que ahora surge es: ¿Qué tan rápido toma lugar la propagación? En 1635, Gassendi en París hizo mediciones de la velocidad del sonido en el aire usando armas de fuego y suponiendo que la luz del flash es transmitida instantáneamente. Su valor fue de 1473 pies por segundo o 478.4 m/seg. esta última en terminología del sistema métrico, la cual, naturalmente, Gassendi no usó, ya que esta no fue introducida sino hasta el tiempo de la Revolución Francesa. Algún tiempo más tarde, por mediciones más cuidadosas, Mersenne mostró que el valor de Gassendi fue demasiado alto; su valor en París fue de 1380 ft/seg. o cerca de 450 m/seg. Gassendi notó un hecho importante, de que la velocidad es independiente de la elevación del sonido, de sacreditando así el visto de Aristoteles, quién había enseñado que las notas altas eran transmitidas más rápido que las notas bajas. Por otra parte, Gassendi erró al creer que el viento no tenía efecto sobre la medición de la velocidad del sonido. En 1650, el Italiano G. A. Borelli (1608-1679) y su colega V. Viviani (1622-1703) de la Academia del Cimiento de Florencia ensayaron el mismo tipo de experimento y obtuvieron 1077 ft/seg. o 350 m/seg. Todas estas mediciones sufrieron la falta de referencia a la temperatura, la humedad y la velocidad del viento. Aunque el Ingles W. Derham (1657-1735) hizo mediciones extensivas de la velocidad del sonido a principio del siglo XVIII en las cuales concluía que la velocidad es independiente de todas las condiciones que la rodean excepto el viento, tiempo despues se mostró que sus resultados estaban incorrectos por el Italiano, G. L. Bianconi (1717-1781) en Boloña, quien en 1740 demostró definitivamente que la velocidad del sonido en el aire incrementa con la temperatura. La primera medición en aire abierto (sin viento) que puede ser considerada del todo precisa en el sentido moderno fue probablemente aquella ejecutada

bajo la dirección de la Academia de Ciencias de París en 1738, usando un cañón como la fuente de sonido. Cuando redujeron a 0°C , el resultado en unidades modernas fue 332 m/seg. Cuidadosas repeticiones durante los dos siguientes siglos dieron resultados diferenciando de este valor en menos de el 1 %. El mejor valor moderno (1942) es verdaderamente 331.45 ± 0.05 m/seg. bajo condiciones estandar de temperatura y presión. Este es un tributo al cuidado con el cual esos académicos - Parisinos ejecutaron su trabajo.

El problema de la medición de la velocidad del sonido en un medio sólido fue atacado por Chladni; cuyas investigaciones de las líneas nodales en placas vibrando han sido ya mencionadas. El usó medios similares para estudiar la propagación en varillas metálicas y por medición de las distancias internodales fue capaz de calcular la velocidad del sonido en tales especímenes. En 1808, el físico Francés, J. B. Biot (1774-1862), más famoso por su trabajo en óptica, hizo las mediciones actuales de la velocidad del sonido en un tubo de hierro en París por medición directa del viaje del sonido. El tubo tenía cerca de 1,000 m. de longitud. Comparando los tiempos de llegada de un sonido dado a través del metal y a través del aire, respectivamente, estableció en particular que la velocidad de la onda compresional en el metal sólido es muchas veces más grande que en el aire. Los valores experimentales de Biot concordaron en orden de magnitud con los de Chladni.

El primer intento serio para medir la velocidad del sonido en un líquido como el agua fue aparentemente aquel del físico Suizo, Daniel Colladon (1802-1893), quien, asistido por el matemático, Charles Sturm (1803-1855), condujo los estudios en Lago Genova en 1826.

En 1825, la Academia de Ciencias en París anunció como objeto de premio de competición para 1826 la medición de la compresibilidad de los principales líquidos. Colladon decidió competir y midió exitosamente la compresibilidad estática del agua y algunos líquidos. El tenía conocimiento de la relación teórica entre la compresibilidad y la velocidad del sonido. Las pruebas fueron ejecutadas en Lago Genova en noviembre de 1826, y los resultados aparecieron en la famosa "Memoire sur la compression des liquides et la vitesse du son dans l'eau", a la cual se concedió el Gran Premio de la Academia. La compresibilidad del agua como computo de la velocidad del sonido volvió a estar muy cerca del valor medido estáticamente. Actualmente, toda la historia de este estudio de Colladon y Sturm se encuentra mostrada de modo fascinante en la autobiografía de Colladon (Souvenirs et mémoires: Autobiographie de J. Daniel Colladon). El hombre que hizo el trabajo, quien llegó a ser más tarde en la vida un físico e ingeniero bien conocido dice informalmente el modo en que lo hizo, incluyendo tales detalles rústicos como las molestias que encontró para llevar la pólvora que necesitaba para sus flashes a través de la frontera entre Suiza y Francia. La velocidad promedio encontrada en esta medición fue de 1435 m/seg. a 8°C .

Aunque la propagación del sonido a través del aire había sido, como se vio anteriormente con el movimiento de rizados sobre la superficie del agua, ya comparada, el primer intento para teorizar seriamente en forma matemática a cerca de una teoría del sonido fué aparentemente hecho por Sir Isaac Newton (1642-1727), quien en el segundo libro (1687) de su famoso "Principia Mathematica" compara la transmisión del sonido con pulsos producidos cuando un cuerpo vibrando se mueve a las porciones adyacentes del medio ambiente y estas en turno mueven a las proximas adyacentes a ellas mismas y así sucesivamente. Newton continua haciendo algunas suposiciones más bien arbitrarias, la principal es la de que, cuando un pulso es propagado a través de un fluido, las particulas del fluido siempre se mueven en un movimiento harmónico simple, o como él lo puso: "son siempre aceleradas o retardadas de acuerdo a la ley del péndulo oscilando". Verdaderamente provee el teorema que, si esto es verdad para una particula, debe ser verdad para todas las adyacentes. El resultado final es que la velocidad del sonido es igual a la raíz cuadrada de la relación de la presión atmosférica a la densidad del aire.

Como era esperado la "derivación" de Newton estuvo sujeta a muchas críticas por los filosofos naturales del continente Europeo, entre los cuales estaban Euler, John Bernoulli (hermano más joven de Daniel), y Lagrange. L. Euler en su tratado "Physical Dissertation on Sound" de 1727, manifesto sus ideas de los principios físicos reforzando la propagación del sonido y la producción del sonido con gran claridad. En un tratado posterior a 1749, Euler desarrollo la teoría de Newton en una forma analítica mucho más clara y obtuvo el resultado de Newton.

Gradualmente llego a ser claro que el problema de la propagación del sonido nunca sería resuelto completamente hasta que la ecuación de onda para ondas de sonido en un fluido fuera establecida y resuelta. Se hace notar que d'Alembert ya había derivado primero esta ecuación para una cuerda continua en 1747, y en ese tiempo comentó el hecho de que sería posible aplicar la misma ecuación a ondas de sonido. Aunque parecía que Euler, había colocado los fundamentos para la teoría de la propagación de ondas de sonido en el aire en tres grandes memorias para la Academia de Berlín en 1759, fue Lagrange quien, en memorias para la Academia de Turín por ese tiempo, reviso los razonamientos de Newton y los generalizo para el caso de ondas sonoras de carácter arbitrario como distinción de las ondas harmónicas simples. Naturalmente, llego a los mismos resultados de Newton para la velocidad del sonido en el aire. Esta materia del cálculo teórico de la velocidad del sonido en un gas formó un capitulo célebre en la historia de la física. Es bien conocido que, cuando el dato aplicable para el aire a 60°F (=16.25°C) es sustituido en la ecuación Newtoniana para la velocidad $c = \sqrt{p/\rho}$ (donde p es la presión del gas y ρ la densidad correspondiente), el resultado es 945 ft/seg. o cerca de 288 m/s. Aunque este valor es más bajo que el resultado experimentado anterior en París ya mencionado. Sin embargo,

cuando mediciones más exactas confirmaron el valor más alto, Newton se inquietó, y en la segunda edición (1713) de su "Principia Mathematica" revisó su teoría para tratar de producir mejores acuerdos con los experimentos. Aunque no estaba del todo claro, evidentemente sintió que alguna corrección debía ser hecha para la impureza del aire actual. Nada más parece haber sido hecho sobre el problema de la velocidad del sonido hasta Pierre Simon Laplace (1749-1827), quien en 1816 sugirió que en las determinaciones Newtonianas y Lagranjeanas un error había sido hecho, ya que había sido usado como el volumen elástico del aire (el recíproco de la compresibilidad) la presión del mismo, lo cual es equivalente asumiendo que los movimientos elásticos de las partículas del aire toman lugar a temperatura constante. Pero en vista de la rapidez de los movimientos envueltos en el paso de la onda del sonido, pareció a Laplace más razonable suponer que las compresiones y rarefacciones siguen la ley adiabática; por ejemplo, el calor no tiene una posibilidad para fluir fuera de la región comprimida antes de que la compresión de el camino para la rarefacción. En este caso la elasticidad adiabática es más grande que el valor isotérmico en la relación de γ , donde γ es la relación del calor específico del gas a presión constante a ese volumen constante. Acorde a esta línea de razonamiento, la fórmula de Newton sería -- cambiada a $c = (\gamma P / \rho)^{1/2}$; puesto que $\gamma > 1$ siempre, la velocidad del sonido calculada nuevamente debería necesariamente ser más grande que la anterior y, por tanto, cercana a valor experimental. En 1816, cuando Laplace impulso su teoría, aún cuando la existencia de dos calores específicos de un gas fue reconocida, el valor de γ no era conocido muy precisamente. Usando el valor de 1.5 para el aire como el obtenido por los experimentadores LaRoche y Berard, Laplace encontró que $c = 345.9$ m/seg. a 6°C que difiere con el mejor valor experimental entonces útil que era de 337.18 m/seg. para esta temperatura. Esto fue suficientemente para que Laplace sintiera que estaba en el camino correcto, y así retornó al problema más tarde e incluyó un capítulo sobre la velocidad del sonido en su forma "Mécanique céleste" (1825). Por este tiempo, los experimentadores del calor, Clement y Desormes, habían verificado el experimento clásico sobre la determinación de γ (1819) y habían encontrado el valor de 1.35, que conduce a 332.9 m/seg. para la velocidad del sonido a 6°C . Algunos años más tarde el valor más exacto de 1.40 condujo a completar la conformidad entre la teoría de Laplace y el experimento.

La última mitad del siglo XVIII y el primer cuarto del XIX certificaron numerosos intentos para teorizar acerca de las ondas en medios continuos basados en la solución general para la ecuación de onda -- (la ecuación que dice que la segunda derivada del tiempo de la cantidad de ondas es igual a la segunda derivada del espacio de esa misma cantidad multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la onda) descubierta por d'Alambert en 1747. Mucha atención, por ejemplo

fue prestada a las ondas en la superficie de líquidos como el agua. Este trabajo tuvo valor en conexión con la acústica sólo por la extensión que condujo a incrementar la confianza en la aplicabilidad de la ecuación de ondas para la propagación del sonido en flúidos. En 1800 la solución de la ecuación para la propagación del sonido aéreo en tubos sujetos a las condiciones de frontera en los finales había sido bien establecida, y las predichas frecuencias armónicas (modos normales o parciales) checadas con experimentos con exactitud razonable. Las técnicas experimentales para mediciones del sonido en tubos permanecieron un poco obscuras por largo tiempo; no fué sino hasta 1866 que A. Kundt (1839-1894) desarrolló su simple pero efectivo método de figuras de polvo (tierra) para estudiar experimentalmente la propagación del sonido en tubos y en particular para la medición de la velocidad del sonido en el aire y otros gases de patrones de onda estacionaria (nodos y lazos).

Entre tanto, el problema mucho más difícil de la propagación de una onda compresional en un medio flúido tridimensional había sido atacado por S. D. Poisson en una celebre memoria de 1820. Tres años antes en una extensísima memoria similar, Poisson había dado la teoría más elaborada para ese tiempo de la transmisión del sonido en tubos, incluyendo la teoría de ondas en el aire estacionarias en tubo de longitud finita, ambos abiertos y cerrados. Hasta consideró la posibilidad de una corrección final para tener cuidado del hecho que la condensación (el cambio fraccional en la densidad debido a la onda del sonido) no puede ser considerado precisamente como cero en el extremo abierto, con el resultado de que las frecuencias de resonancia observadas correspondían a una longitud ligeramente más grande que la longitud geométrica real del tubo. Tocó sin embargo, a Hermann von Helmholtz dar en 1860 un tratamiento más perfecto de todo este problema. El caso especial de un cambio abrupto en la sección cruzada fué también estudiado por Poisson, al lado de la reflexión y transmisión del sonido a incidencia normal sobre la frontera de dos flúidos diferentes.

El problema más difícil de la reflexión y transmisión de una onda plana de sonido incidiendo oblicuamente sobre la superficie de dos flúidos diferentes fué resuelto por el genio de Nottingham, George Green (1793-1841), su memoria hace énfasis sobre la refracción del sonido, y sirvió para asentar las similitudes y diferencias entre la reflexión y la refracción del sonido y la luz. Se hace notar que las ondas del sonido en flúidos iguales, siendo estrictamente compresionales, son longitudinales, mientras que las ondas de la luz son transversales. De aquí, las ondas de la luz pueden ser polarizadas, mientras que las ondas del sonido en flúidos no se pueden, en el sentido ordinario. Por otro lado, las ondas elásticas en un sólido extendido pueden ser ambas longitudinales y transversales, o más exactamente irrotacionales y solenoidales. Esto fué realizado por Poisson en 1829 en su estudio de un medio elástico isotrópico. Al tiempo esto no pare

cio tener mucha significancia para la acústica, aunque tuvo un apoyo muy importante sobre la teoría sólido-elástica de la luz, la cual fue perseguida activamente durante la mitad de décadas del siglo XIX. Este trabajo, sin embargo, ha tomado una nueva y tremenda significación en la mitad del siglo XX debido al interés en la propagación de ondas elásticas en estructuras como aeroplanos fuselados y proyectiles espaciales. La conexión con la geofísica moderna (ondas sísmológicas) es también obvia.

En principio, en este resumen histórico de la propagación del sonido, se ha asumido tacitamente que la perturbación en el medio material -- siendo propagada como una onda de sonido es muy pequeña comparada con el valor de equilibrio. En este caso la ecuación para propagación de la onda es lineal. Ese es el tipo de ecuación al cual los investigadores del siglo XVIII en la acústica dieron toda su atención. Esa solución que da sólo una aproximación a la transmisión actual del sonido para perturbaciones relativamente grandes fue finalmente realizada en el siglo XIX. Sin embargo, Euler ya había llegado cerca a la así llamada ecuación de onda de amplitud finita en su memoria de 1759, -- "On the Propagation of Sound", en la cual, trabajó la ecuación de movimiento de una delgada rebanada de aire sujeta a fuerzas de presión sobre sus dos lados. Hubiera obtenido el resultado preciso de la investigación del siglo XIX, de no haber hecho un extraño error algebraico. Su física fue en este caso impecable, pero sus matemáticas fueron extraviadas. De alguna forma él se dio cuenta que la ecuación de onda lineal normal, conteniendo sólo segundas derivadas de la función de desplazamiento de la onda con respecto al espacio y el tiempo, debía ser corregida con la inclusión de un término no lineal siempre que el gradiente del desplazamiento es una fracción apreciable de la unidad.

No parece que la propagación de la onda acústica no lineal fuera tomada otra vez seriamente hasta alrededor de la mitad del siglo XIX, -- cuando el matemático alemán, Georg F. B. Riemann (1826-1866), y el matemático y físico británico, S. Earnshaw (1805-1888), más o menos independientemente investigaron ciertos casos especiales. En particular, los resultados mostraron que en una propagación no lineal la velocidad de propagación depende de la amplitud, así que es solo bajo condiciones muy especiales que una onda no lineal de tipo permanente puede ser realizada. Se puede señalar que algun entendimiento de esta situación había sido previamente investigado por Poisson. Todo este trabajo condujo a la teoría de ondas de choque desarrollada por G. G. Stokes, J. Challis, W. J. M. Rankine, H. Hugoniot, y Lord Rayleigh, entre otros. La acústica no lineal ha asumido gran importancia en el desarrollo de esta materia en el siglo XX.

3. Recepción del Sonido.

En la historia de la acústica hasta tiempos muy recientes, por mucho el receptor de sonido más importante de interés ha sido el oído humano y la recepción del sonido fue por un largo tiempo estudiada grandemente en conexión con el comportamiento de este órgano. En este respecto, el oído humano ha tenido la más grande influencia en el desarrollo de la acústica que el habla humana. El oído es remarcablemente versátil y sensitivo. Ha sido establecido que su umbral normal de audición es cerca de 10^{-16} W/cm². de intensidad del sonido ó 10^{-9} erg/cm². seg. Si uno toma el área normal del tímpano como cerca de 0.66 cm², esto significa que una energía mecánica promedio que fluye de sólo 6.6×10^{-10} erg/seg. puede producir la sensación del sonido. Un sonido harmónico en el rango de frecuencia audible será identificado si su duración es del orden de 0.1 seg. Así, una energía acústica del orden de 6.6×10^{-11} erg. es suficiente para excitar un sonido identificable en el oído.

Muchas investigaciones elaboradas de la anatomía del oído fueron hechas en el siglo pasado, y su comportamiento acústico ha sido estudiado intensivamente. Sin embargo, a pesar de todos estos trabajos, no ha surgido una teoría completamente aceptable de la audición. Precisamente la forma en que oímos permanece como un problema enigmático en la psicofísica moderna.

Después que la relación entre elevación y frecuencia fue establecida, llegó a ser una tarea interesante determinar los límites de frecuencia de audibilidad. El físico francés, F. Savart (1791-1841), usando abanicos y ruedas dentadas rodando en investigaciones alrededor de 1830, colocó la frecuencia mínima audible a 8 vibraciones/seg. y límite superior a 24,000 vibraciones/seg. (usualmente ahora referidos como ciclos por segundo o Hertz, después del famoso físico alemán, Heinrich Hertz, cuyos estudios sobre ondas electromagnéticas fueron haciendo época). Otros investigadores, tales como L. F. W. A. Seebeck (1805-1849), J. B. Biot (1774-1802), K. R. Koenig (1832-1901), y H. L. F. von Helmholtz, obtuvieron valores para el límite inferior alcanzado de 16 a 32 cps. Esto sirve para enfatizar el papel que juegan las diferencias individuales en audición, más notables en el caso del límite superior de la frecuencia de audibilidad. Esto último puede no sólo variar considerablemente de individuo a individuo, sino que para cada persona usualmente decrece con la edad. Naturalmente, los valores en cada caso dependen de la intensidad, como ha llegado a ser más claro en tiempos recientes. Los estudios más elaborados sobre audibilidad hechos durante el siglo XIX fueron los de Koenig, quien consagró su vida al diseño y producción de fuentes de precisión del sonido de frecuencia controlada, tales como diapasones de acorde, varillas, cuerdas y tubos. Esto fué antes de la era de las fuentes electroacústicas. Koenig fue también el responsable de los diapasones ma-

nejados electricamente.

El problema relacionado con la intensidad mínima del sonido necesario para la audibilidad fue aparentemente estudiado primero conjuntamente por A. Toepler (1836-1912) y L. Boltzmann (1841-1906) alrededor de 1870. Por un ingenioso uso de interferencia óptica, fueron capaces de medir el cambio máximo en densidad (o efectivamente la condensación máxima) en una onda de sonido solamente audible. Sus resultados experimentales condujeron a un umbral audible de cerca de 10^{-11} W/cm², considerablemente en exceso de aquel obtenido por métodos modernos, pero en algún grado sugestivo de la gran sensibilidad del oído humano.

En 1843, Georg Simon Ohm (1787-1854), el autor de la famosa ley de corrientes eléctricas, impulso una teoría de audición conforme a la cual todos los tonos musicales surgen de vibraciones armónicas simples de frecuencia definida, y la cualidad particular o timbre de los sonidos musicales reales es debida a combinaciones de tonos simples de frecuencias conmensurables. Además sostuvo, que el oído humano es capaz de analizar alguna nota compleja dentro de una serie de tonos armónicos simples, en terminos de los cuales puede ser expandida matemáticamente por medio del teorema de Fourier. Este teorema, que data desde 1822 y mencionado ya anteriormente, establece que, bajo ciertas restricciones matemáticas específicas, las cuales no es necesario discutir aquí, una función arbitraria de una variable t , donde t es el tiempo, puede ser expandida en una serie convergente de funciones circulares cuyos argumentos son integrales multiples de una frecuencia fundamental. Si la función arbitraria es así misma periódica en el tiempo, esta puede ser representada de esta forma para todos los valores de la variable t , mientras que si la función no es periódica puede ser así representada solo sobre un intervalo de tiempo finito. Este teorema ha sido de gran valor en el así llamado análisis de los sonidos de todas especies.

La ley de Ohm estimuló una multitud de investigaciones en lo que ha venido a ser llamado acústica fisiológica y psicológica. Las más grandes investigaciones en el siglo XIX fueron indudablemente las de von Helmholtz, cuyo tratado, "Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik", ya ha sido mencionado. Este fue traducido al ingles por A. J. Ellis, bajo el título de "Sensations of Tone", en 1895. Aquí, el autor dio la primera teoría elaborada de los mecanismos del oído, la así llamada teoría de resonancia, en concordancia con la cual varios elementos de la membrana basilar en la cóclea resuenan a ciertas frecuencias de los sonidos que llegan al oído. Por esta teoría, fue capaz de justificar teóricamente la ley de Ohm. Von Helmholtz se interesó grandemente en el fenómeno mecánico de resonancia, y en el curso de sus investigaciones inventó un tipo especial de resonador de sonido, ahora conocidos por su nombre. Esto es simplemente una cámara esférica con un orificio. Cuando una fuente armónica de sonido de frecuencia apropiada es colocada cerca de la abe-

tura, si los tamaños de la cámara y el orificio son correctos, el sonido será grandemente amplificado por el vigoroso movimiento oscilatorio del aire en el orificio. Así una cámara grande resuena para una baja frecuencia o baja elevación de tono y viceversa. Tales resonadores han tenido un amplio uso en investigaciones y aplicaciones acústicas modernas. Von Helmholtz mostró que, cuando dos tonos de diferentes frecuencias son dirigidos a un vibrador asimétrico, la vibración resultante contendrá frecuencias que son la suma y diferencia de las originales, y muchas otras combinaciones lineales de las frecuencias originales ocurrirán. El especuló que el tímpano es tal un vibrador asimétrico y, de aquí predijo la facultad humana para detectar tales sumas y diferencias de tonos. Esta predicción ha sido verificada. Las primeras investigaciones de von Helmholtz asentaron las bases para todas las investigaciones subsecuentes en el campo de la audición.

Puesto que la recepción del sonido por el oído en espacios cerrados - como cuartos, iglesias, teatros, auditorios en general es una experiencia común, es propio que alguna atención estaría puesta aquí para el desarrollo de lo que ha venido a ser llamado acústica arquitectónica o de recintos. Fue tempranamente reconocido que algunos cuartos no son satisfactorios para la buena audición o varios diseños fueron usados para vencer esas dificultades. Estos fueron primeramente simples invenciones geométricas tales como tarimas sonoras y otros reflectores. Un físico bostoniano, J. B. Upham, en 1853 hizo varios escritos indicando una comprensión mucho más clara de la más importante materia envuelta: llamada, la reverberación o reflexión múltiple del sonido de todas las superficies del cuarto. También mostró como la reverberación puede ser reducida instalando cortinas fabricadas y mobiliario tapizado. En 1856, Joseph Henry (1797-1878), el distinguido físico americano, quien llegó a ser el primer secretario de la institución Smithsonian en Washington hizo un estudio de la acústica en auditorios que refleja un entendimiento claro de todos los factores envueltos, aunque sus sugerencias fueron todas de carácter cualitativo. A pesar de estos primeros movimientos en los que ahora nos damos cuenta estaban en la dirección correcta, el asunto fue completamente descuidado por los arquitectos y durante la segunda mitad del siglo XIX, a menudo fueron hechos intentos para corregir gruesos defectos acústicos en cuartos con diseños absurdamente inadecuados como encordados de alambre, etc. La fundación cuantitativa moderna de la acústica arquitectural data desde el trabajo del físico de la universidad de Harvard, Wallace C. Sabine (1878-1919), quien en 1900 acertó sobre la ley que conecta el tiempo de reverberación en una habitación (el tiempo tomado para que alguna inicialmente intensidad del sonido construida decaiga a alguna fracción arbitrariamente escogida de su valor original, dicha la millonésima parte) con el volumen de la habitación y la cantidad de material acústico absorbente en este. Esto hizo posible aplicarlo en la acústica arquitectónica en el sentido que algún cuar-

to pueda ser diseñado para audición satisfactoria del habla, y en una cierta extensión para la música también, aunque aquí sutiles factores psicológicos entran, los cuales proveen turbulencias.

Los diseños especiales para la amplificación del sonido recibido por el oído tienen una larga historia. Los cuernos, por ejemplo, son obviamente de gran antigüedad; es incierto cuando surgió la sugestión de que podían ser usados para mejorar la recepción del sonido. A estos acontecimientos, el jesuita, Athanasius Kircher, en 1650 diseñó un cuerno parabólico como una ayuda para la audición tan bien como una trompeta parlante, y evidentemente realizó la importancia del deslumbramiento en la amplificación de ambos sonidos recibidos y emitidos. Robert Hooke, quien, en conexión con sus servicios a la Real Sociedad, estaba siempre tratando nuevas ideas, experimento con trompetas de oído y es hasta supuesto para haber sugerido la posibilidad de un diseño para aumentar los sonidos del cuerpo. Pero parece haber sido reservado para el físico francés, René Laennec (1781-1826), inventar y emplear el estetoscopio para propósitos clínicos (1817-1819). El físico inglés, Sir Charles Wheatstone (1802-1875), en 1827 desarrolló un instrumento similar que llamo micrófono, un nombre ahora aplicado a un diseño electromecánico para la recepción del sonido. La electroacústica ya estaba en mente de los investigadores. Sin esta, la acústica experimental moderna no podría existir.

A través del desarrollo histórico de la acústica fue inevitable que se hicieran intentos para estudiar el fenómeno del sonido visualmente; estos fueron, naturalmente, específicamente necesarios para la investigación de sonidos cuyas frecuencias están arriba del rango de audibilidad del oído, la así llamada radiación ultrasónica. Uno de los primeros movimientos en esa dirección fue la observación por el físico americano, John LeConte (1818-1891), de que los sonidos musicales pueden producir saltos en una flama de gas si la presión es ajustada apropiadamente (1858). La flama sensitiva, como más tarde vino a ser llamada, fue desarrollada para una alta elevación del sonido por el físico inglés, John Tyndall, (1820-1893), quien uso esto para la detección de los sonidos de alta frecuencia (inaudibles) y para el estudio de la reflexión, refracción, y difracción de ondas sonoras. Aunque suministra una demostración de lectura muy efectiva, para aplicaciones prácticas, ha sido reemplazada en el siglo XX por varios tipos de microfones eléctricos acoplados al osciloscopio de rayos catódicos.

En un intento por hacer visible la forma de una onda de sonido, Koenig cerca de 1860 inventó el diseño de la flama manométrica, el cual consiste de una caja a través de la cual fluye gas a un mechero. Un lado de la caja es una membrana flexible. Cuando ondas sonoras golpean sobre la membrana, los cambios alternantes en presión producen fluctuaciones correspondientes en la flama que pueden ser hechas visibles reflejando la luz de la flama desde un espejo rotando rápidamente. Otro

Intento para visualizar las ondas sonoras fue hecho por el corrector de pruebas de imprenta, editor, y científico amateur, francés del siglo XIX, Edouard-Leon Scott de Martinville, en 1857 en su "fonautografo" en el cual un diafragma flexible a la garganta de un cuerno receptor recibiendo era sujetado a una perilla, la cual giraba tocando una superficie ahumada de un tambor girando y trazaba una curva correspondiente al sonido incidente. Este fue el precursor del fonógrafo. Un intento igualmente ambicioso a lo largo de líneas similares -- fue hecho por Eli Whitney Blake (1836-1895), el primer profesor de física en la Universidad de California, quien en 1878 hizo un microfono uniendo un pequeño espejo metálico a un disco vibrando en la parte posterior de un portavoz. Reflejando un rayo de luz desde el espejo, Blake tuvo éxito fotografiando los sonidos del habla humana. Tales estudios fueron adelantados más por el físico americano, D. C. Miller (1866-1941), quien invento un instrumento similar en el "phonodeik", e hizo fotografías muy elaboradas de las formas de la onda del sonido. Estos diseños varios de Scott, Blake y Miller fueron naturalmente, los predecesores del osciloscopio de rayos catódicos, tan útil en investigaciones acústicas modernas.

Lord Rayleigh y la Acústica Moderna.

La publicación de Lord Rayleigh "Theory of Sound" en 1817 marca en un sentido ambos el fin de la que puede ser llamada la era clásica en acústica y el comienzo de la época moderna del sonido. Rayleigh fue un producto de la escuela matemática de la Universidad de Cambridge de la mitad del siglo XIX y graduado allí como Senior Wrangler en el Mathematical Tripos de 1865. Estaba, por tanto, bien equipado para tratar problemas analíticos encontrados en su lectura del tratado de von Helmholtz "Sensations of Tone". Esto lo condujo a concebir la utilidad de escribir un sustancial y autoritario tratado sobre todo el campo de la acústica. Al mismo tiempo, tomó la ocasión para presentar en detalle algunas de sus propias contribuciones. El resultado fue un trabajo que ha sido colocado como un monumento de la literatura física, con una tremenda influencia sobre los subsecuentes desarrollos de la ciencia de la acústica, particularmente sobre el lado analítico.

El trabajo está dividido en dos partes, de las cuales la primera relata los fenómenos de vibraciones mecánicas de todas clases, incluyendo las oscilaciones de cuerdas, barras, membranas y placas; los movimientos de tales estructuras están, cercanamente conectados con la producción del sonido, como ha sido ya señalado.

La segunda parte trata principalmente con la propagación acústica a través de un medio fluido, donde él tuvo que manejar materias difíciles tales como, por ejemplo, la difracción de las ondas sonoras alrededor de obstáculos y en general el dispersamiento que los sonidos su-

fren cuando pasan a través de un medio con muchas partículas suspendidas, por ejemplo, burbujas en agua. La difracción acústica y el dispersamiento forman matemáticamente un objeto de mucha más dificultad que el fenómeno correspondiente en la luz puesto que la longitud de onda del sonido audible ordinario es del orden de magnitud de las dimensiones de los mismos obstáculos. Mucha atención es igualmente puesta a las características geométricas de la radiación acústica de los objetos vibrando, por ejemplo, esferas pulsantes o discos oscilantes, así como producir "rayos" de onda. Problemas de esta clase fueron tratados y Rayleigh sumó claramente el trabajo de los investigadores previos sobre temas como la atenuación del sonido en fluidos por varios mecanismos disipativos y cuando la segunda edición agrandada y revisada de "Theory of Sound" apareció entre 1894 y 1896, se sintió ampliamente que todo el tema de la acústica como una parte de la física estaba completo y que no había nada más que aprender. Hubo indudablemente muchos que consideraron que el futuro de este campo se presentaba en las manos de los ingenieros, lo cual se estaba ya demostrando con la teoría básica de electricidad y magnetismo desarrollada por Ampere, Faraday, y Maxwell, cuyos esfuerzos científicos colocaron los fundamentos de la ingeniería eléctrica. Había ciertamente alguna justificación para este sentimiento a cerca de la acústica en este tiempo, no nada más porque no hubo más fenómenos acústicos interesantes para investigar, sino porque los sentidos experimentales por los cuales estas investigaciones podían ser prácticamente ejecutadas no estaban todavía disponibles. Por ejemplo, el trabajo de Rayleigh y sus contemporáneos sugirió fuertemente que una multitud de propiedades interesantes serían asociadas con ondas de sonido arriba del límite audible. Pero cuando el "sonido" de Rayleigh fue publicado, la única fuente práctica de tal radiación era un ¡ silbido de pajarero !

Viendo hacia atrás dentro de la física del siglo XIX, parece casi increíble que los efectos electromecánicos no fueran usados tan temprano como las fuentes de sonido de un amplio rango de frecuencia. La principal dificultad radica en lo inadecuado de los medios de producir oscilaciones eléctricas tanto como en el acoplamiento de estas oscilaciones a los vibradores sólidos. Es verdad que el efecto piezoeléctrico que fue descubierto por los hermanos Pierre and Jacques Curie en 1880. Sugería que, si había algún camino de producir alternadamente cargas eléctricas positivas y negativas sobre las caras opuestas de un cristal de cuarzo convenientemente cortado, uno podría hacerlo vibrar; pero la afortunada explotación de este efecto como una fuente y receptor de sonido, sin embargo, tuvo que esperar a la invención del oscilador de tubo al vacío y amplificador, lo cual no sucedió hasta el trabajo de Fleming y DeForest en las primeras dos décadas del siglo XX.

De hecho, el amanecer del siglo XX vio muchos problemas fundamentales en acústica no resueltos. Sobre el lado biológico, la naturaleza de la audición no iba por sentidos completamente entendidos, puesto que la relación entre el anatomía del oído y el sistema nervioso aso-

ciado por un lado, y el fenómeno observado de la audición por el otro no eran claros. Los estudios detallados, del habla habían sido todavía impracticados debido a los inadecuados medios de su análisis. Sobre el lado físico se había observado que los resultados previstos para tales efectos no estaban acordes con el experimento siendo en general mucho más pequeños que los valores relevantes observados. Esto fue reconocido en verdad por Lord Rayleigh, quién hizo una astuta sugestión de una plausible solución de esta dificultad en terminos de los así llamados efectos de esparcimiento los cuales no fueron totalmente explorados, hasta un cuarto de siglo después.

Como ya ha sido sugerido, a caso el más grande obstáculo para el adicional desarrollo de la acústica, como una ciencia y como una parte de tecnología, alrededor de 1900 y por muchos años después, fue la falta de fuentes apropiadas y receptores de sonido o transductores, como llegaron a ser llamados. Fue reconocido que gran cantidad de fenómenos físicos, por ejemplo, mecánicos, térmicos, eléctricos, magnéticos pueden dar elevación a la radiación del sonido y conversamente pueden actuar para transformar el sonido en otros efectos físicos. Fue también claro que tal transformación o transducción podía ser de enorme importancia práctica. Un ejemplo obvio es el teléfono, por el cual el sonido puede ser transferido sin atenuación sobre distancias mucho más grandes de las que sería posible a través del medio mismo transmitiendo sonido normal. Este problema fue resuelto primero por Alexander Graham Bell alrededor de 1876. El mecanismo transductor en este caso fue, naturalmente, electromagnético en carácter. La influencia de esta invención sobre el futuro desarrollo de la acústica ha sido incalculable; para mejorar el teléfono, enormes cantidades de dinero han sido gastadas sobre investigaciones dentro de todos los aspectos de la comunicación humana. También sabemos como producir sonido de todas las frecuencias de unos pocos ciclos por segundo hasta varios millones de ciclos por segundo y podemos estudiar eficientemente el comportamiento de medios sólidos, líquidos, y gaseosos expuestos a tales sonidos. Al mismo tiempo, ha llegado a ser posible estudiar la interacción entre radiación a alta frecuencia, ahora llamada ultrasónica, y otros efectos físicos tales como eléctricos, magnéticos, altas y bajas temperaturas y grandes ramos de presiones. Apenas es posible hacer justicia en un breve relato a los avances de la acústica en el medio siglo pasado, puesto que ha tenido parte en el fantástico incremento del progreso de la ciencia como un todo. Para el ego, los más obvios desarrollos han sido en el campo tecnológico más bien que en la categoría de ciencia pura. ¿ Quien no está familiarizado con el radio, películas habladas con movimiento, y la televisión, y con el papel que la acústica juega en todos ellos ? A estos debe ser sumado todo el dominio de la grabación y reproducción del sonido la producción de discos fonográficos y alta fidelidad. Sistemas de dirección pública y otras formas de diseños de reforzamiento del sonido han llevado las voces de oradores humanos y la música a grandes audiencias. Menos conocidos pero importantes para la seguridad nacional son los traductores diseñados para transmitir sonidos bajo el agua para la detección de submarinos y otros

objetos. En este campo, como en los otros el juego interior entre la acústica aplicada y pura ha sido particularmente evidente. Como la potencia, sensibilidad, y eficiencia de los transductores bajo el agua se ha incrementado, más grandes conocimientos de las propiedades acústicas del agua del mar han llegado a ser necesarias a fin de hacer que el uso de esta instrumentación más sofisticada realmente que valga la pena. De aquí un nuevo campo de la investigación acústica ha sido abierto como parte de la oceanografía física. En modo similar, la instrumentación mejorada para el estudio del habla y la audición ha estimulado la creación de partes totalmente nuevas de la fisiología y la psicología. La construcción de transductores ultrasónicos de alto poder ha introducido una nueva herramienta para investigación médica sobre el diagnóstico y los niveles terapéuticos. Hasta la música está siendo influenciada por los contemporáneos caminos de producir y amplificar el sonido. La lista podría ser extendida a muchas formas de la actividad humana en las cuales el sonido entra, y hay pocas para las cuales esto no es verdad.

Sin embargo, es importante señalar que existen muchos problemas no resueltos en acústica básica estos envuelven particularmente las interacciones de radiación del sonido a altas frecuencias con materia en sus varias fases. Afortunado ataque sobre ellos espera la solución de los problemas puramente tecnológicos de la extensión del límite de frecuencia práctica de radiación ultrasónica. El límite presente (1966) es cerca de 10^{10} cps. Si frecuencias del orden de 10^{11} - 10^{14} cps. pudieran ser realizadas, nuestro entendimiento de la naturaleza de los estados sólido, líquido, y gaseoso sería muy engrandecida. Investigación reciente en la cual el laser óptico ha sido usado como una fuente de radiación ultrasónica mantiene firmes grandes promesas.

Todas estas investigaciones pueden ser encontradas en las páginas de The Journal of the Acoustical Society of America.

Ha sido sostenido por algunos físicos quienes están interesados en la física de alta energía y las propiedades del estado sólido que el futuro del así llamado campo "clásico" de la física como la acústica radicalmente completamente en sus aplicaciones tecnológicas y que como ciencia física está eliminada. Esto es un error, como la historia de la ciencia en el medio siglo pasado ampliamente lo muestra y lo remarca en sus precedentes documentos. No hay razón para asumir que el hombre se desinteresa de las cuestiones acerca de la acústica y mucho menos de las cuestiones teóricas que residen en ésta o que pueden ser creadas de esta. Lo que es verdad, es que como producto de la investigación las líneas límite entre los varios tipos de fenómenos naturales que la humanidad ha erigido artificialmente para propósitos de conveniencia están llegando a ser más irreales. El punto de la ciencia del futuro en una síntesis significativamente. En esto, la acústica reclamará su legítimo lugar.

CAPITULO II

MOVIMIENTOS, ONDAS Y VIBRACIONES

1. Movimiento Armónico Simple.

El movimiento armónico simple de un sistema es aquel para el cual la posición o configuración del sistema es función sinusoidal del tiempo. Este es el caso, por ejemplo, de una partícula en movimiento rectilíneo, si su aceleración (a) siempre es proporcional a su distancia (x), de un punto fijo sobre la trayectoria, y está dirigida hacia el punto fijo.

Su expresión matemática es, en este caso:

$$a = Kx = -w^2x$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + w^2x = 0$$

cuya solución general (en una dimensión) es

$$x(t) = \sqrt{A^2 + B^2} \operatorname{sen}(wt + \theta) = \sqrt{A^2 + B^2} \cos(wt - \phi)$$

donde:

w = frecuencia angular (rad/seg)

A y B = constantes arbitrarias

θ y ϕ = ángulos de fase (rad)

El péndulo de la figura 1 muestra otro ejemplo de este tipo de movimiento.

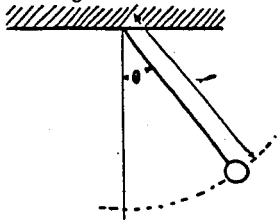


Figura 1. Péndulo simple.

matemáticamente, su movimiento se representa por:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + (g/l) \operatorname{sen} \theta = 0$$

para amplitud pequeña, $\operatorname{sen} \theta \approx \theta$ \therefore la solución es:

$$\theta = A \operatorname{sen} \sqrt{g/l} t + B \operatorname{cos} \sqrt{g/l} t$$

donde:

g = aceleración de la gravedad

l = longitud de la cuerda ó barra

A y B = constantes calculadas a partir de las condiciones de frontera.

$$g/l = w$$

2. Ondas.

Onda o movimiento ondulatorio es un proceso mediante el cual una perturbación en un punto se propaga a otro sin ningún transporte específico del material del medio.

El movimiento ondulatorio se produce solo en un medio donde la energía se pueda manifestar en forma potencial y cinética. En forma general, la propagación es el resultado de que la energía cinética de un punto se convierta en energía potencial del punto adyacente y así sucesivamente.

En un medio mecánico la energía cinética se manifiesta en la velocidad de las partículas. La energía potencial se manifiesta y tiene que ver con la posición de las partículas.

Una onda armónica es la que tiene su perfil (configuración de desplazamiento) en forma sinusoidal. Se dice que una Onda Armónica es Progresiva cuando se mueve con velocidad c . Si el movimiento es en la dirección positiva de x , se expresa por:

$$u(x, t) = \begin{cases} A \operatorname{sen} m(x - ct) \\ A \operatorname{cos} m(x - ct) \end{cases}$$

mientras que una onda que se mueve en la dirección negativa de x con velocidad c está dada por la expresión:

$$u(x, t) = \begin{cases} A \operatorname{sen} m(x + ct) \\ A \operatorname{cos} m(x + ct) \end{cases}$$

donde:

A es la amplitud de onda. Ver fig. 2

$U(x, t)$

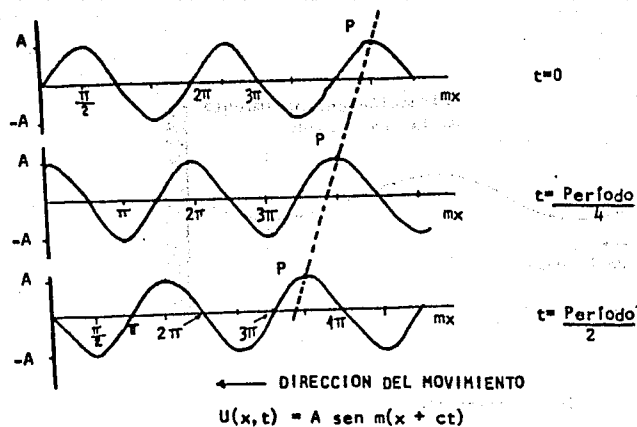


Figura 2. Onda Armónica Progresiva.

3. Tipos de Ondas.

Las ondas pueden clasificarse según la dirección que tenga el disturbio oscilatorio, con respecto a la dirección de propagación en:

- i) Ondas Transversales. El disturbio es perpendicular respecto a la dirección de propagación. Ejemplos, la cuerda vibrante, ondas electromagnéticas en el espacio libre. Ver fig. 3
- ii) Ondas longitudinales. El disturbio oscilatorio es paralelo a la dirección de propagación. Ejemplos, vibraciones en un resorte con sus dos extremos fijos, las Ondas Sonoras. Ver fig. 4

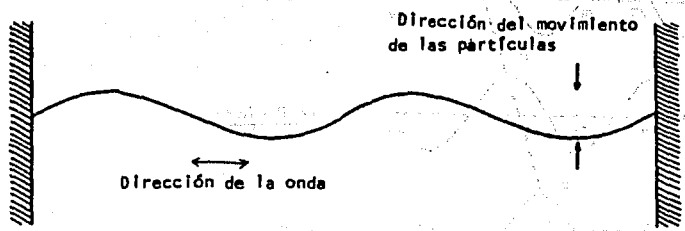


Figura 3. Ondas Transversales.

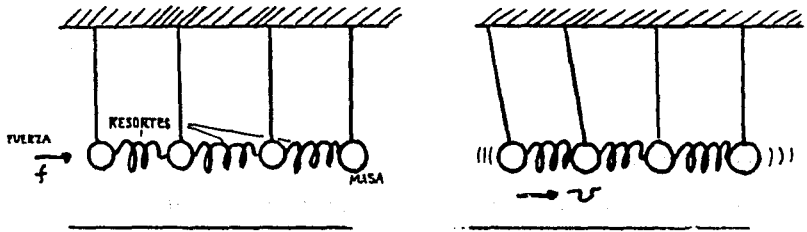


Figura 4. Ondas Longitudinales.

Las características de las ondas propagadas en cualquier medio son:

- a) **Amplitud.** Es el máximo alejamiento que alcanza cada partícula del medio con relación a su posición de equilibrio. (A)
- b) **Período.** Es el tiempo transcurrido entre la emisión de dos ondas sonoras consecutivas, ó sea, desde el momento en que sale una cresta hasta el momento en que sale la siguiente. (P)
- c) **Frecuencia.** Es el número de ondulaciones que en un segundo - salen del centro emisor de ondas. (f)
- d) **Longitud de onda.** Es la distancia existente entre dos cualesquiera - pares de puntos, en la misma fase de movimiento. (λ). En la figura 5 se muestra una onda y sus partes.

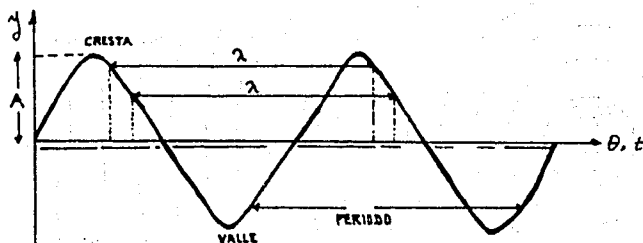


Figura 5. Características de una Onda.

- iii) **Ondas Periódicas.** Es cuando el movimiento de los lóbulos positivo y negativo, de una onda, se producen sucesivamente, a partir del punto de equilibrio ó de origen, a intervalos regulares de tiempo. Ver fig. 6

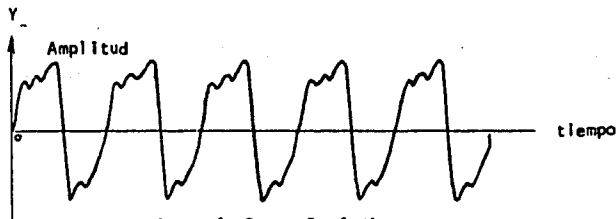


Figura 6. Ondas Periódicas.

- iv) Ondas estacionarias. Resultan de la interferencia de dos ondas iguales moviéndose en direcciones opuestas. En la fig. 7, una onda se dirige hacia un medio de mayor rigidez, resultando de esta forma, la suma de las dos ondas: la incidente y la reflejada defasadas.

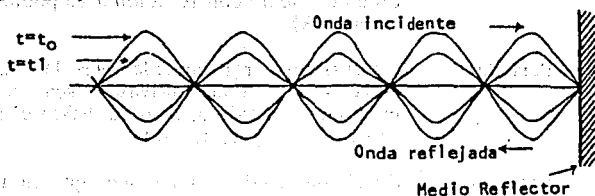


Figura 7. Ondas Estacionarias.

- v) Ondas esféricas. Son ondas que no cambian de forma cuando se propagan y se asemejan a las ondas circulares en una membrana en el hecho de tener un valor infinito en $r = 0$. El frente de onda se considera plano a gran distancia de la fuente. Ver fig. 8

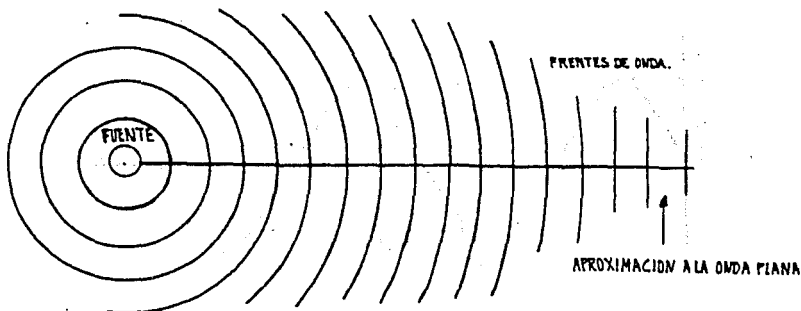


Figura 8. Ondas Esféricas.

Las ondas también se clasifican en: Unidimensionales, Bidimensionales y tridimensionales, según el número de dimensiones en que se propaguen.

Una onda plana es una onda progresiva libre que viaja en una sola dirección. Los frentes de onda son planos infinitos perpendiculares al eje de propagación y paralelos entre sí en todo tiempo.

4. Vibraciones.

Los sistemas que poseen masa y elasticidad están en capacidad de efectuar un movimiento relativo. Si el movimiento de estos sistemas se repite después de un intervalo de tiempo dado, a este tipo de movimiento periódico se le llama vibración. Para su análisis, se simplifica idealmente al sistema considerándolo compuesto de una masa (m), un resorte (k) y un amortiguador (c). La figura 9 muestra un sistema con un grado de libertad.

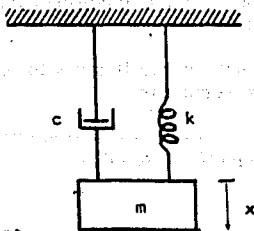


Figura 9. Sistema Vibrante

Vibración Libre. Es el movimiento periódico que se observa cuando el sistema se desplaza de su posición de equilibrio estático. Las fuerzas actuantes son la fuerza elástica, la de rozamiento y el peso de la masa. Por efecto del rozamiento, la vibración disminuirá con el tiempo según la expresión:

$$x(t) = e^{-\xi \omega_n t} (A \sin \omega_d t + B \cos \omega_d t)$$

donde:

- ξ = factor de amortiguamiento
- ω_n = frecuencia angular natural
- ω_d = frecuencia angular natural amortiguada
- A y B = constantes
- $\omega_n = \sqrt{k/m}$
- $\xi = c/2m\omega_n$
- $\omega_d = \sqrt{1-\xi^2} \omega_n$

La fig. 10 nos muestra la vibración libre con amortiguamiento (sist. subamortiguado).

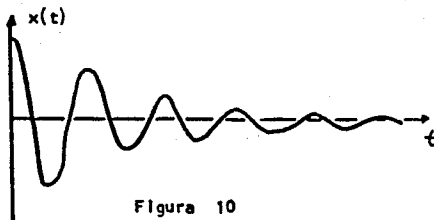


Figura 10

Vibración Forzada. Es cuando sobre el sistema, durante la vibración, actúan fuerzas externas de la forma:

$$F(t) = F_0 \text{ sen } wt \text{ ó } F(t) = F_0 \text{ cos } wt$$

En este estado el sistema trata de vibrar con su frecuencia natural y, también seguirá la frecuencia de la fuerza de excitación. Si no existe amortiguamiento, la componente del movimiento que no experimenta la fuerza de excitación sinusoidal se extinguirá gradualmente. En consecuencia, el sistema vibrará con la frecuencia de la fuerza de excitación independientemente de las condiciones iniciales de la frecuencia natural del sistema. Ver fig. 11

El movimiento resultante se llama vibración estable o respuesta del sistema y se representa por

$$x_p(t) = \frac{F_0}{\sqrt{[k - mw^2]^2 + (cw)^2}} \cos(wt - \theta)$$

donde:

- F_0 = magnitud de la fuerza de excitación
- k = constante elástica
- m = masa del sistema
- c = coeficiente de amortiguamiento
- w = frecuencia de la fuerza de excitación
- $\theta = \text{tg}^{-1} \frac{cw}{k - mw^2} = \text{ángulo de fase}$

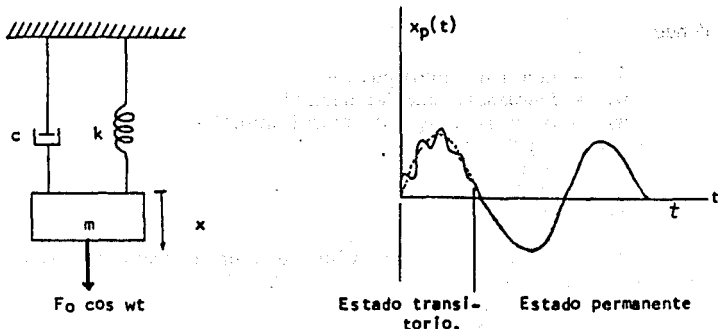


Figura 11

Vibración de Cuerdas. La cuerda es un vibrador único en cuanto a sus características de medio continuo. Su masa se distribuye uniformemente a lo largo de su longitud teniendo un número infinito de frecuencias. Su movimiento se representa matemáticamente por:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

donde:

- y = deformación o desplazamiento de la cuerda.
- x = coordenada a lo largo del eje longitudinal de la cuerda.
- a = $\sqrt{S/\rho}$ = velocidad de propagación de la onda
- S = tensión.
- ρ = masa por unidad de longitud de la cuerda.

cuya solución puede expresarse como ondas estacionarias según la ecuación:

$$y(x, t) = \sum_{t=1}^{\infty} \left[A_1 \operatorname{sen} \frac{p_1}{a} x + B_1 \operatorname{cos} \frac{p_1}{a} x \right] \left[C_1 \operatorname{sen} p_1 t + D_1 \operatorname{cos} p_1 t \right]$$

donde:

- A_1 y B_1 = constantes arbitrarias que deben evaluarse con las condiciones de frontera.
- C_1 y D_1 = constantes arbitrarias que deben evaluarse con las condiciones iniciales.
- p_1 = frecuencias naturales del sistema.

o como ondas progresivas según la ecuación:

$$y(x, t) = f_1(x - at) + f_2(x + at)$$

donde:

- f_1 y f_2 = funciones arbitrarias, desplazadas en la dirección positiva y negativa de x, respectivamente, con vel. a.

En la figura 12 se muestran 2 posiciones de una cuerda.

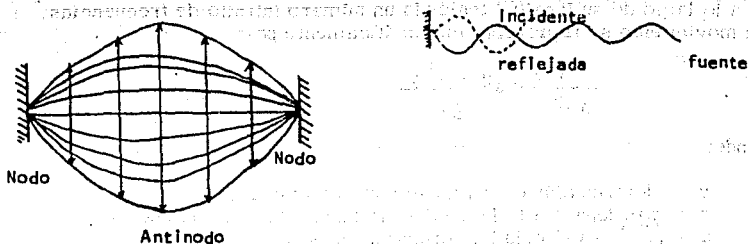


Figura 12. Vibración de Cuerdas

Vibración de Barras. Una barra es un cuerpo alargado en una dirección hecho de un material homogéneo e isotrópico y libre de esfuerzos transversales en toda su extensión. Tiene una vibración longitudinal cuando se produce un golpe repentino en la dirección de sus ejes y las características de elongación de cualquier sección recta de la barra varían periódicamente en el tiempo pero con distintas amplitudes. Su movimiento se representa matemáticamente por:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

donde:

- u = desplazamiento en cualquier sección recta.
- x = coordenada sobre el eje longitudinal.
- $a = \sqrt{Y/\rho}$ = velocidad de propagación de la onda.
- Y = módulo de elasticidad de Young.
- ρ = densidad.

cuya solución es la misma que para las cuerdas. En la figura 13 se muestra un ejemplo de este tipo de vibración.

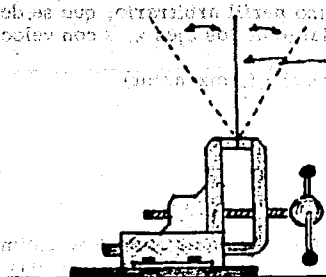


Figura 13.

Vibración de membranas. Una membrana es un cuerpo de extensión finita y espesor uniforme, que se mantiene en un marco rígido por medio de una tensión homogénea. Es flexible y su espesor es muy pequeño comparado con las otras dos dimensiones. Al excitarse, ejecuta una vibración libre sin amortiguamiento en la dirección perpendicular a la superficie plana de la membrana. Posee mucha más libertad de movimiento que la cuerda.

Su movimiento se representa matemáticamente por:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} = \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

donde:

- y = deformación o desplazamiento vertical de la membrana
- a = $\sqrt{S/\rho_s}$ = velocidad de propagación de la onda
- S = Tensión
- ρ_s = masa por unidad de área de la membrana
- x, z = coordenadas en el plano de la membrana

cuya solución expresada como una serie es:

$$y(x, z, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \left(A_i \text{sen} \sqrt{(p_i/a) - k_i x} + B_i \text{cos} \sqrt{(p_i/a) - k_i x} \right) \left[C_i \text{sen} k_i z + D_i \text{cos} k_i z \right] \left[E_i \text{sen} p_i t + F_i \text{cos} p_i t \right]$$

donde:

- A_i, B_i, C_i, D_i = constantes arbitrarias calculadas con las condiciones de frontera.
- E_i, F_i = constantes arbitrarias calculadas con las condiciones iniciales.
- p_i = frecuencias naturales de la membrana.

o como ondas con el mismo perfil arbitrario, que se desplazan en direcciones opuestas a lo largo de los ejes x , z con velocidad a .

$$y(x, z, t) = f_1(mx+nz-at) + f_2(mx+nz+at)$$

donde:

$$m^2 + n^2 = 1$$

Vibración de Placas. Esta vibración es el análogo bidimensional de la vibración transversal de las barras. El espesor de una placa no es pequeño comparado con las otras dimensiones. Además, las tensiones y los esfuerzos que resultan de la rigidez y la flexión, complican la libertad casi ilimitada del movimiento de la placa. Su movimiento se presenta matemáticamente por:

$$\left[\frac{y}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial y}{\partial r} \right]^2 + \frac{12\rho(1-\mu^2)}{Yt^3} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$

donde:

- y = deformación o desplazamiento de la placa.
- r = distancia radial desde el centro de la placa.
- ρ = densidad de la placa
- Y = módulo de elasticidad de Young
- t = espesor
- μ = razón de Poisson

La solución general para una placa circular en vibración libre es:

$$Y(r, t) = [A J_0(kr) + B I_0(kr)] e^{i\omega t}$$

donde:

- A y B = constantes arbitrarias
- J_0 = función de Bessel de la clase y orden cero
- I_0 = función hiperbólica de Bessel

Para el caso de una membrana rectangular sujeta en todos sus extremos, las cuatro condiciones de frontera son:

- (1) $y(0, z, t) = 0$
- (2) $y(L_1, z, t) = 0$
- (3) $y(x, 0, t) = 0$
- (4) $y(x, L_2, t) = 0$

las cuales, si se substituyen en la ecuación de la solución general dada antes, nos dan $B = 0$, $D = 0$,

Si hacemos:

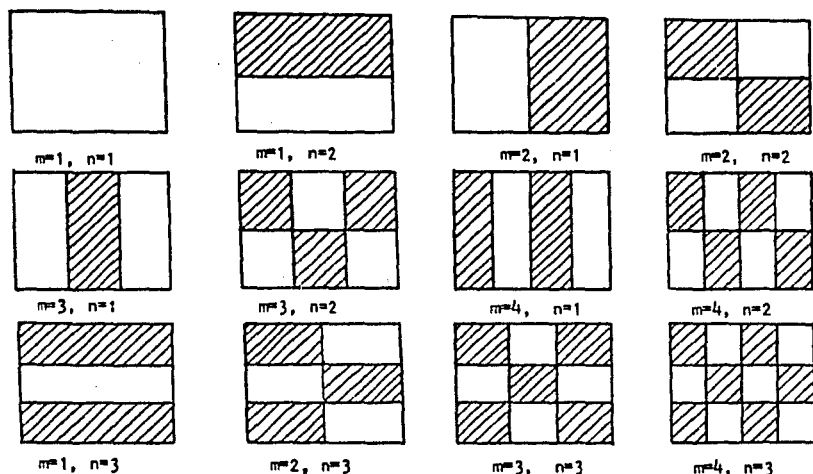
$$\begin{aligned} \gamma &= m\pi/L_1 & m &= 0, 1, 2, \dots \\ \kappa &= n\pi/L_2 & n &= 1, 2, \dots \end{aligned}$$

combinando las constantes

$$\begin{aligned} M &= A C E \\ N &= A C F \end{aligned}$$

obtenemos la solución más general para este caso de vibración, superponiendo todas las soluciones posibles.

$$y(x, z, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \text{sen}^2 m x \text{ sen}^2 n z (M_{mn} \text{sen } p_{mn} t + N_{mn} \text{cos } p_{mn} t)$$



(Las áreas sombreadas y las no sombreadas están en fase opuesta)

Figura 14. Modos de vibración de una membrana rectangular.

CAPITULO III

EL SONIDO

1. Definición del Sonido.

El sonido tiene dos definiciones: físicamente hablando, es una fluctuación en presión, un desplazamiento de partículas en un medio elástico como el aire. Este es el sonido objetivo. Ver fig. 1. Fisiológicamente, es una sensación auditiva evocada por la fluctuación descrita antes. - Este es el sonido subjetivo.

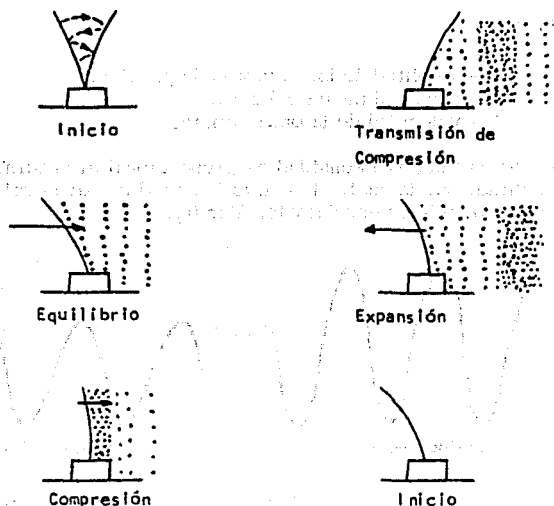


Figura 1

2. Características del Sonido.

Intensidad, tono y timbre son las tres características fundamentales de un sonido.

- 1) Intensidad. Desde el punto de vista puramente geométrico, lo que se propaga en un movimiento ondulatorio es la forma de la onda; sin embargo, desde un punto de vista físico, se propaga algo más en una onda, éste es, energía. La intensidad (I) de una onda que se propaga se define como la cantidad media de energía transportada por la onda, por unidad de superficie y

por unidad de tiempo, a través de una superficie perpendicular a la dirección de propagación. Más brevemente, la intensidad es la potencia media transportada por unidad de superficie.

Se ha visto que la potencia desarrollada por una fuerza es igual al producto de la fuerza por la velocidad. Por consiguiente, la potencia por unidad de superficie en una onda sonora es igual al exceso de presión (fuerza por unidad de área) multiplicado por la velocidad de la partícula. Hallando el valor medio correspondiente a un período, se puede demostrar que:

$$I = \frac{P^2}{2\rho u}$$

donde:

P = amplitud de los cambios de presión.

ρ = densidad media del aire.

u = velocidad de la onda sonora.

Se observa que la intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud, por lo cual, el resultado es válido para cualquier clase de movimiento ondulatorio. Ver fig. 2 .

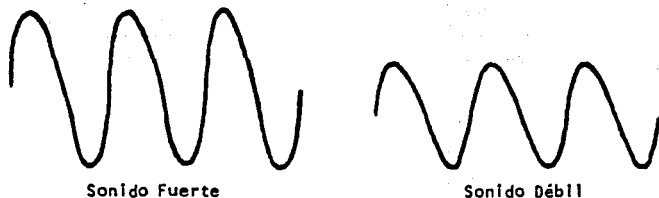


Figura 2

La potencia total transportada a través de una superficie por una onda sonora es igual al producto de la intensidad en la superficie multiplicada por el área de ésta, supuesta uniforme la intensidad sobre la superficie. La potencia media producida por una persona en el tono ordinario de la conversación es, aproximadamente, 10^{-5} w, mientras el hablar en tono muy alto corresponde a unos 3×10^{-2} w.

Nivel de Intensidad y Sonoridad.

A causa de la gran amplitud del intervalo de intensidades a las que es sensible el oído, resulta preferible utilizar una escala logarítmica que una escala natural. De acuerdo con ésto, se define el nivel de intensidad β de una onda sonora por la ecuación:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

siendo I_0 una intensidad arbitraria de referencia que se toma -- igual a 10^{-16} w/cm², y que corresponde, aproximadamente, al sonido más débil que puede oírse. Los niveles de intensidad se expresan en decibeles (db). La intensidad máxima que el oído -- puede tolerar es de unos 10^{-4} w/cm², que corresponde a un nivel de intensidad de 120 db.

El término sonoridad se reserva para la sensación, y por ser -- una sensación o atributo subjetivo de la onda sonora, la sonoridad no puede medirse con aparatos físicos. La sonoridad es, con bastante aproximación, aunque no exactamente, proporcional al -- logaritmo de la intensidad, o sea, al nivel de intensidad.

La siguiente tabla muestra los niveles de intensidad de algunos -- sonidos de origen diverso:

DESCRIPCION DEL SONIDO	NIVEL DE INTENSIDAD
Jet supersónico	130 db
Umbral de la sensación desagradable	120
Banda de rock	110
Máquina remachadora	95
Tren elevado	90
Calle de mucho tráfico	70
Conversación ordinaria	65
Automóvil en marcha moderada	50
Radio funcionando moderadamente	40
Conversación en voz baja	20
Murmullo de las hojas	10
Umbral de la sensación sonora	0

- ii) Tono. Desde el punto de vista físico, el tono es la frecuencia de vibración de un sonido puro. Para un sonido complejo el tono se caracteriza por sus frecuencias y algunas veces por la presión sonora y la forma de onda. Ver fig. 3.

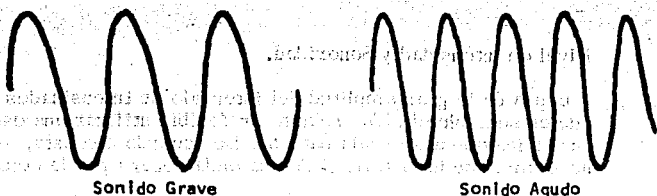


Figura 3

Es cuestión sencilla explicar el tono de un sonido producido por una onda de frecuencia única, Si tomamos una colección de diapasones tipo, que difieren en el tamaño y producen cada uno solamente su frecuencia fundamental, resulta que cuanto mayor -- es la frecuencia, tanto más alto es el tono. Sin embargo, el caso es mucho más complicado cuando el sonido es producido por una onda que contiene muchas frecuencias. Si la fundamental es considerablemente más intensa que cualquiera de los armónicos el tono queda determinado por la frecuencia de la fundamental, - pero si no ocurre así, el tono se determina por la resultante de las armónicas componentes.

iii) **Tímbre.** Físicamente, el timbre es la forma de onda o modo de vibración. Ver fig. 4.

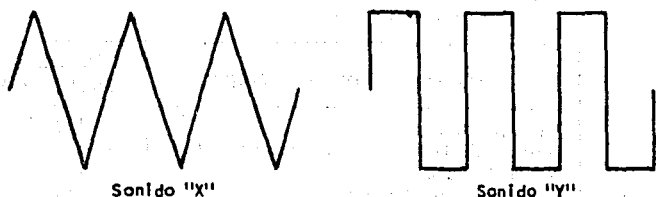


Figura 4

Si se deja vibrar libremente una cuerda pulsada, o una lámina - que ha sido golpeada, vibrará con muchas frecuencias simultáneas. Es raro que un cuerpo vibre con una sola frecuencia. Un diapason normal construido con precisión, si es golpeado ligeramente contra un bloque de goma, puede vibrar con un sola frecuencia; pero, en el caso de los instrumentos musicales, se encuentran generalmente presentes, al mismo tiempo, la frecuencia fundamental y muchos armónicos.

Supongamos que el espectro de un sonido consta de una frecuencia fundamental de 200 vib/seg y los armónicos 2, 3, 4 y 5, to--

dos ellos de diferente intensidad, mientras que el espectro de otro sonido se compone exactamente de las mismas frecuencias, pero con una distribución distinta de la intensidad, los sonidos son diferentes; se dice que difieren en el timbre.

Se utilizan distintos adjetivos para calificar el timbre de un sonido musical, pero son de carácter puramente subjetivo; así, se dice: alto, brillante, sonoro, melodioso, etc. El timbre de un sonido está determinado por el número de armónicos presentes y por sus intensidades respectivas.

La figura 5 muestra los espectros de los sonidos de varios instrumentos musicales.

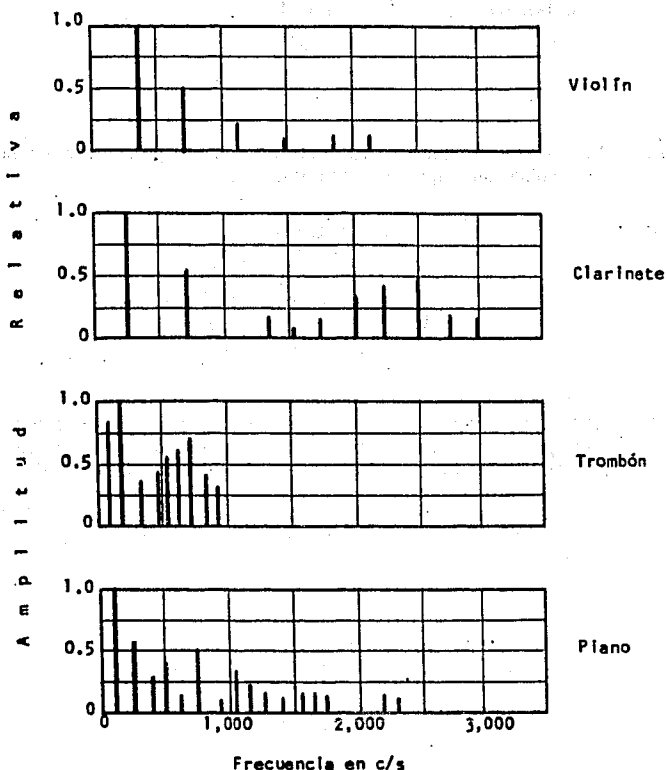


Figura 5

3. Fuentes de Ondas Sonoras.

Son dispositivos presentados bajo la más diversas formas, que alimentados por una fuente vibratoria de cualquier tipo, son capaces de deformarse de una manera periódica y de transmitir esta deformación al medio circundante bajo la forma de energía sonora. Dentro de estas fuentes se encuentran:

- a) La Esfera Vibrante Pulsante que es una pelota elástica dilatándose y contrayéndose periódicamente. Ver fig. 6.

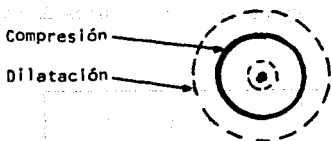


Figura 6

- b) La Esfera Vibrante Axialmente que es una pelota cuyo centro oscila sobre un pequeño segmento. Ver fig. 7.

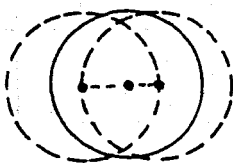


Figura 7

- c) El Pistón vibrante que está constituido por un pistón dotado de un rápido movimiento alternativo recorriendo un alojamiento practicado en una pared de extensión infinita. Cuando el diámetro del pistón es pequeño en relación con la longitud de onda, la onda acústica producida es asimilable al tipo esférico y la fuente se comporta como una esfera pulsante. Ver fig. 8.

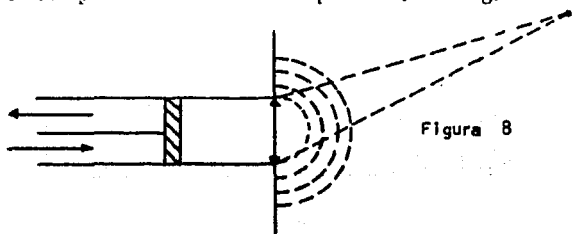


Figura 8

4. Transmisión del Sonido.

Esta se realiza sólo cuando existe un medio material interpuesto entre la fuente y el oído. Un medio de este tipo posee las características:

- Ser elástico o capaz de volver a su estado original luego de que se ha eliminado la causa perturbadora.
- Tener una masa o inercia significativa (o indirectamente, densidad) que sea capaz de sobrepasar su estado neutro y efectuar así un desplazamiento en sentido opuesto.

Tanto el aire, el agua y los sólidos tienen la capacidad de transmitir las ondas sonoras debido a que poseen elasticidad y densidad. Cuanto mayor es la elasticidad y menor la densidad, más rápidamente se propaga el sonido a través del medio.

5. Ecuación de Onda y Velocidad del Sonido.

La ecuación de onda unidimensional para los gases es:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 p}{c^2 \partial t^2}$$

donde:

p = presión sonora.

$c^2 = \gamma P_0 / \rho$ = velocidad

γ = relación de calor específico a presión constante, sobre calor específico a volumen constante.

P_0 = presión estática en el gas.

ρ = densidad media del gas.

t = tiempo.

x = desplazamiento medido en el eje "x".

Esta ecuación nos describe matemáticamente la propagación del sonido en un gas. Para derivarla se hizo uso de la segunda ley de Newton, de la ley de los gases para un proceso adiabático ($PV = Cte$), y de las leyes de la conservación de la masa. También se puede obtener en función de la velocidad:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{c^2 \partial t^2}$$

Para los gases, la velocidad del sonido es igual a "c", definida arriba. La velocidad del sonido de los sólidos con área transversal grande es:

$$c = \sqrt{\frac{Y(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (\text{m/seg})$$

donde:

- Y = módulo de elasticidad de Young (Nt/m²).
 ρ = densidad (Kg/m³).
 μ = razón de Poisson.

Cuando la dimensión de la sección transversal es pequeña comparada con la longitud de onda, se puede despreciar el efecto de la razón de Poisson y la expresión anterior se reduce a:

$$c = \sqrt{Y/\rho} \quad (\text{m/seg})$$

La velocidad del sonido en fluidos es:

$$c = \sqrt{B/\rho} \quad (\text{m/seg})$$

donde:

- B = módulo de volumen (Nt/m²).
 ρ = densidad (Kg/m³).

La velocidad de propagación del sonido es prácticamente independiente de la frecuencia para un amplio intervalo de frecuencias. Su valor para diferentes substancias está dado en la siguiente tabla, donde la velocidad de propagación es, sin embargo, dependiente de la temperatura y la presión, que a su vez determinan la densidad.

SOLIDOS (20° C)		LIQUIDOS	GASES (0° C)		
Granito	6,000 (m/s)	Agua dulce	1,493.2	Aire	331.45
Hierro	5,130	Agua de mar	1,532.8	Hidrógeno	1,269
Cobre	3,750	(salinidad 3.6 ‰)		Oxígeno	317.0
Aluminio	5,100	Kerosen	1,315	Nitrógeno	339.0
Plomo	1,230	Mercurio	1,450	Vapor	404.0
Lucite	1,840			Agua	344.0

6. Reflexión del Sonido.

Una onda sonora se refleja siempre que existe una discontinuidad o un cambio de medio. La onda reflejada depende de la onda incidente, el ángulo de incidencia, la superficie reflectora y las impedancias características de los medios. Se establece que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Ver fig. 9.

... que la velocidad de propagación de las ondas sonoras en el medio "A" es mayor que en el medio "B".

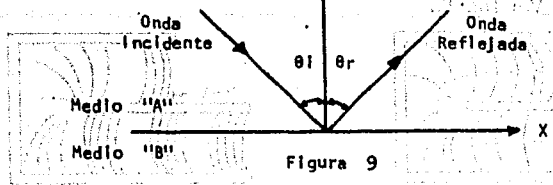


Figura 9

7. Refracción del Sonido.

Cuando las ondas sonoras inciden en el límite de dos medios, una parte se refleja y el resto cruza el límite para formar las ondas transmitidas. Cuando el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo crítico, todas las ondas se reflejan y nada se transmite. La dirección de propagación de las ondas transmitidas no es la misma que la de las ondas incidentes. Las ondas transmitidas son desviadas alejándose o acercándose a la normal hacia la superficie límite en concordancia con las velocidades del sonido de los medios. Ver fig. 10.

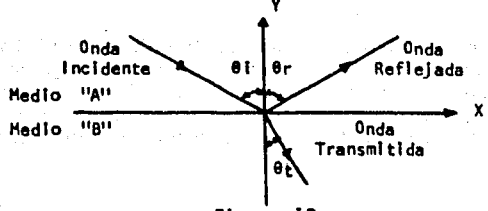


Figura 10

8. Difracción del Sonido.

Es cuando las ondas sonoras encuentran un obstáculo y se difunden alrededor de los lados del obstáculo. En otras palabras, las ondas son desviadas o sus direcciones de propagación se cambian debido a los obstáculos que encuentran en su trayectoria. Ver fig. 11.

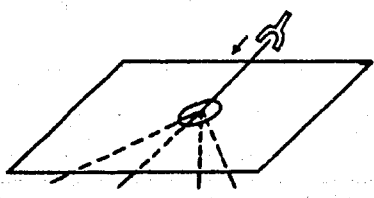


Figura 11

También las ondas sonoras en vez de reflejarse se difractan, si sus longitudes de onda son comparables con las dimensiones de los objetos reflectantes. Ver fig. 12.

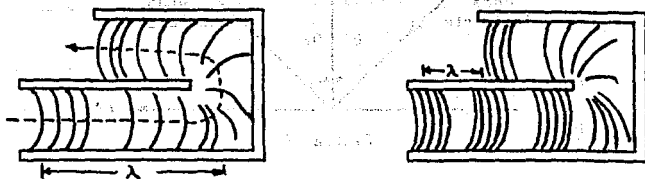


Figura 12

9. Efecto Doppler.

Cuando la fuente del sonido se aleja o se acerca al observador, o el observador se aleja o acerca a la fuente, o ambos, el observador y la fuente están en movimiento relativo alejándose o acercándose entre sí, se observa el efecto Doppler. Esto es, se produce un cambio en la altura o tono del sonido y ocurre cuando el movimiento relativo de la fuente y el observador cesa o cambia.

Considérese un automóvil que se aproxima a alta velocidad a un observador que se mantiene fijo en un lugar, al mismo tiempo que el conductor del vehículo hace sonar la bocina. Además de este observador, detrás del vehículo existen dos más ubicados, cada uno, en ángulo recto respecto a la dirección de desplazamiento del vehículo. Ver fig. 13.

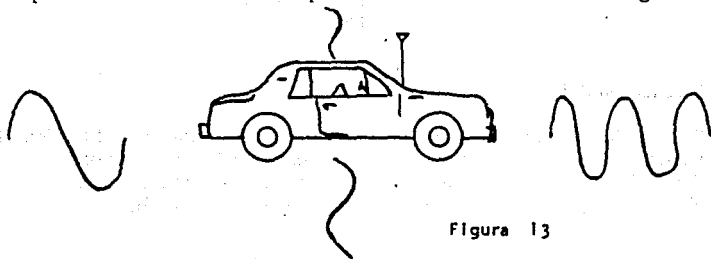


Figura 13

La persona ubicada delante del vehículo interceptará más ondas por segundo e interpretará el efecto como el de una longitud de onda que se contrae y tendrá la sensación de un aumento aparente en el tono. La persona ubicada detrás del vehículo percibirá menos pulsaciones por segundo y para ella las ondas parecerán más largas y el tono disminuirá. Para los dos observadores ubicados a cada lado del vehículo no existirán cambios en la percepción del tono en el instante en que el vehículo cruce la línea que los une con éste. Previamente a esto, el tono se elevará y posteriormente disminuirá.

La frecuencia que se observa de un sonido, depende esencialmente del número de ondas sonoras que llegan al oído por segundo y se expresa como:

$$f' = \frac{(c - v) f}{c - u} \quad (\text{ciclo/seg})$$

donde:

f' = frecuencia observada.

c = velocidad del sonido.

v = velocidad del observador relativa al medio.

u = velocidad de la fuente.

f = frecuencia de la fuente.

10. Resonancia.

Es el fenómeno que se produce cuando la frecuencia de los impulsos aplicados por una fuente, es prácticamente la misma que la frecuencia natural del cuerpo que responde a dichos impulsos. La eficiencia de esta respuesta depende de la distancia existente entre el transmisor, el receptor y el acoplamiento entre los dos cuerpos. Se dice que los cuerpos están débilmente acoplados si están separados por una distancia grande y fuertemente acoplados si se colocan juntos. Ver fig. 14.

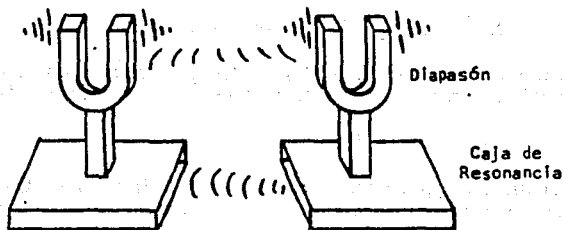


Figura 14

Para poner de manifiesto la vibración de una frecuencia particular, para la cual está exactamente afinado un cuerpo, se utiliza el resonador de Helmholtz que es una esfera hueca de paredes delgadas con una abertura grande en un extremo y otra pequeña en el extremo opuesto. Ver la fig. 15.

Los transmisores abastecen y controlan el tráfico de las comunicaciones de radio y televisión en las estaciones de radio y televisión. Los transmisores de radio y televisión controlan el tráfico de las comunicaciones de radio y televisión.

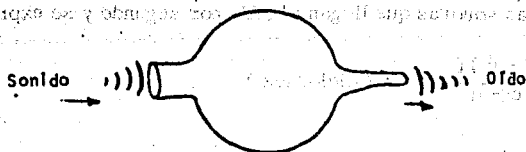


Figura 15

Si se aplica el oído a la abertura pequeña y se dirige un sonido de una frecuencia igual a la de la cavidad del aire hacia el interior de la --- abertura grande, se establece un sistema fuertemente acoplado y se produce una amplificación considerable del sonido.

11. Interferencia.

La interferencia tiene lugar cuando se combinan dos ondas de la misma frecuencia para dar como resultante una sola onda. Sean X_1 y X_2 las -- amplitudes de las ondas componentes y X la amplitud de la onda resul-- tante.

Si: $X_1 + X_2 \geq X$ ocurre una interferencia constructiva.

$X_1 + X_2 < X$ ocurre una interferencia destructiva.

En el caso en que $X_1 = X_2$ y el ángulo de fase entre las 2 ondas sea - 180° , tenemos una interferencia destructiva total donde:

$$X_1 + X_2 = 0$$

Un simple experimento realizado por J. Herschel y Quincke, ilustra el efecto de interferencia. Se construye un tubo como el de la fig. 16.

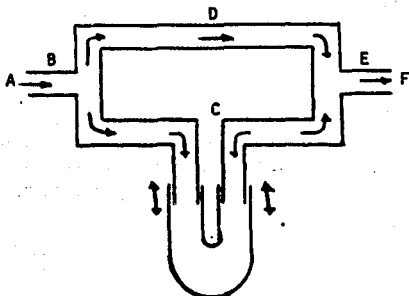


Figura 16

El trayecto BCE puede aumentarse o disminuirse, mediante una sección corrediza a través de C. Un sonido de un solo tono entra por A y se refleja en B, donde está situado el oído. Al aumentar lentamente el camino en C, se encuentra un punto en que casi no se escucha, o bien, no se escucha ningún sonido en F. Al aumentar el recorrido aún más, aumenta nuevamente el sonido a su máximo. Solamente la intensidad es cero cuando ambos caminos difieren en media longitud de onda del sonido.

12. Ondas Estacionarias.

Se forman cuando dos trenes idénticos de ondas armónicas simples, recorren el mismo trayecto en un medio con la misma velocidad, pero en direcciones opuestas.

Se pueden demostrar las ondas estacionarias por medio del siguiente experimento de A. Kundt. Empleó un tubo de 1 metro de largo por 2 cm de diámetro. Un extremo lo cerró apretadamente con un corcho. Colocó dentro del tubo una pequeña cantidad de polvo liviano (corcho o lipocodio) en el otro extremo tenía un corcho movable ensartado en una varilla de bronce de alrededor de 30 cm de largo como lo muestra la fig. 17.

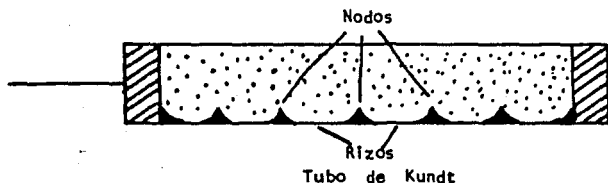


Figura 17

Se golpea suavemente el tubo hasta que el polvo se distribuya en línea a todo lo largo del fondo del tubo. Luego, el extremo de la varilla se frota varias veces con una pieza de gamuza empolvada con resina en polvo. De esta manera la varilla emite un chillido de tono agudo y al mismo tiempo, se puede ver que el polvo situado en el fondo del tubo se acumula en montones. El polvo es expulsado de ciertas regiones y se acumula en otras. Los nodos corresponden a aquellas partes del tubo donde no hay movimiento de aire. Si medimos la longitud entre los nodos, puede calcularse la frecuencia del sonido mediante:

$$f = c/\lambda$$

13. Composición del Sonido.

Las pulsaciones producidas por dos sonidos pueden ser percibidas por el oído hasta la frecuencia de las pulsaciones es de 6 ó 7 por segundo. Para frecuencias más elevadas, no es posible distinguir pulsaciones separadas y la sensación se confunde con una de consonancia o disonancia, dependiendo de la razón de las frecuencias de los sonidos. Existen tres categorías de sonidos:

- a) **Sonido diferencia.** Es cuando puede oírse un sonido cuya frecuencia es igual a la diferencia de frecuencias entre otros dos que suenan simultáneamente.
- b) **Sonido suma.** Cuya frecuencia es igual a la suma de las frecuencias de los dos sonidos.
- c) **Sonido compuesto.** Es cuando se aplican los dos términos arriba señalados.



CAPITULO IV

RUIDO: CONTROL Y MEDICION

1. Definición de Ruido.

Subjetivamente, el ruido se podría definir como un sonido desagradable o indeseado. Cuando las componentes de diferente frecuencia son muy numerosas y no relacionadas armónicamente entre sí encontramos el tipo de sonido el cual físicamente se conoce como ruido. Por lo que ruido puede definirse, en adición a la definición usual de sonido indeseable, como una perturbación eléctrica o disturbancia acústica que tiende a interferir la recepción normal o el proceso de una señal deseada. Un tipo particular de ruido de espectro continuo es el ruido blanco; llamado así en analogía con la luz blanca, la cual contiene todas las longitudes de onda del espectro visible. Ruido blanco, por tanto, es el sonido que tiene un espectro continuo en el cual la energía en bandas de frecuencia de un ciclo por segundo de ancho es sustancialmente constante sobre un rango apreciable de frecuencias.

Cuando las frecuencias aparecen de una manera desigual, el ruido es algunas veces llamado en diferentes colores, así el ruido rosa es aquel que contiene una energía constante por octava desde 20 a 20000 hertz o ruido azul que es el ruido que tiene más energía a altas frecuencias.

2. Fuentes de Ruido.

Una fuente de ruido se puede definir como un dispositivo que genera una señal aleatoria de ruido.

Las fuentes de ruido se pueden dividir en varios grupos, donde con estos grupos se forman tres amplias categorías como se ve en la tabla 1.

Tabla 1. Categorías de fuentes de ruido.

A. Fuentes vocales y musicales:

Voz humana
Orquestas

B. Fuentes de impacto y vibración:

Máquinas de fabricación
Máquinas de transporte
Máquinas de oficina

C. Fuentes con chorro de aire, gases o vapores:

Escape de motores a chorro
Chorros de aire
Hélices
Aeronaves en vuelo
Ventiladores

Los martinetes, remachadoras, cortadoras y telares son unos pocos ejemplos de fuentes de ruido que afectan permanentemente el sentido del oído e interfieren la comunicación verbal en las fábricas y oficinas.

En los últimos años, el avión a chorro ha resultado ser la peor de las fuentes de ruido. Los motores mismos sólo pueden ser probados en cel-
das de prueba que no signifiquen una molestia excesiva para los veci-
nos.

a) Niveles de potencia de las fuentes.

El punto de partida en el control del ruido es la curva de nivel de potencia en función de la frecuencia de la fuente de ruido. La mayoría de las fuentes radian una potencia acústica constante, sea que estén en un local cerrado, o en el espacio libre. Esto se debe a que, aún cuando la fuente se encuentre en una habitación, su impedancia de radiación es casi la misma que en el espacio libre.

Hay casos, por supuesto, en los que un recinto pequeño reacciona tan fuertemente sobre la fuente que llega a modificar la potencia radiada. Estas situaciones deben ser tratadas por lo general mediante el análisis matemático exacto.

En las figuras 1 y 2 se presentan los niveles de potencia para algunas fuentes de ruido en la tabla 1, medidos directamente o estimados a partir de datos disponibles. Estas gráficas expresan el nivel de potencia en cada una de las ocho bandas de frecuencias, definido el nivel de potencia como:

$$PWL = 10 \log_{10} \frac{W}{10^{-13}} \text{ db}$$

mencionamos por lo general PWL como "nivel de potencia referido a 10^{-13} watt".

b) Diagramas direccionales de las fuentes.

El diagrama direccional de una fuente de ruido es una descripción, por lo general gráfica, de los niveles de intensidad a una distancia

El objetivo de esta investigación es determinar el nivel de potencia sonora de los instrumentos de oficina, referidos a 10^{-15} watt para voces masculinas y Orquestas de 15 y de 75 Instrumentos.

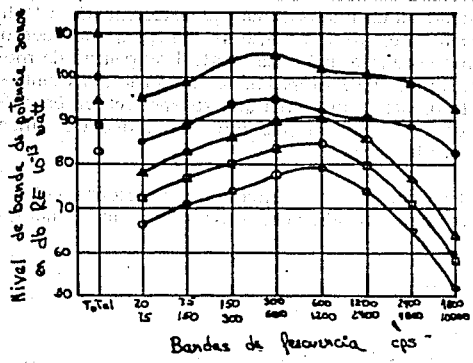


Figura 1. Niveles de potencia sonora de lapso largo, medios, referidos a 10^{-15} watt para voces masculinas y Orquestas de 15 y de 75 Instrumentos.

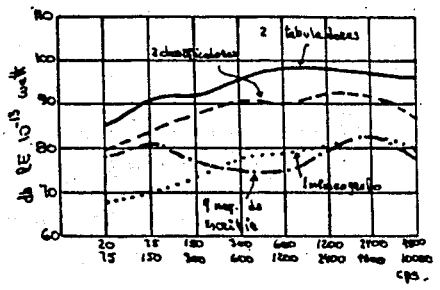


Figura 2. Niveles de potencia sonora para el ruido de las maquinas de oficina.

dada del centro de la fuente como función del ángulo θ medido con respecto a un plano de referencia que pasa por dicho centro. El índice de directividad se define como la relación, expresada en db, de la intensidad en un punto de un eje determinado a la intensidad que existiría en el mismo punto si una fuente adireccional radiara la misma potencia acústica total. Los puntos de medición para los diagramas direccionales se toman lo suficientemente alejados de la fuente como para que se encuentren en el campo remoto, es decir, donde la presión sonora decrece linealmente al aumentar la distancia.

En las figuras 3 y 4 se dan los diagramas de direccionalidad a frecuencias elegidas correspondientes a algunas fuentes enumeradas en la tabla 1.

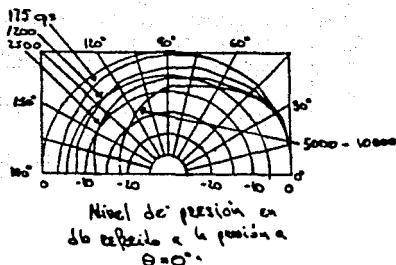
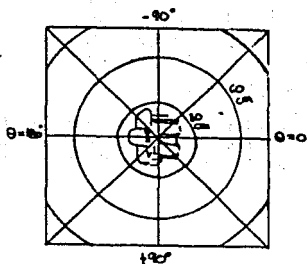


Figura 3. Diagramas direccionales para la voz humana. Los índices de directividad son: 175 cps, 1 db; -- 1200 cps, 4.5 db; y 5000 a 10000 cps, 6 db.

Directividad del
sonido de admisión

- ▲--- Global
- 80 cps
-○..... 1000 cps
- ▲--- 5000 cps

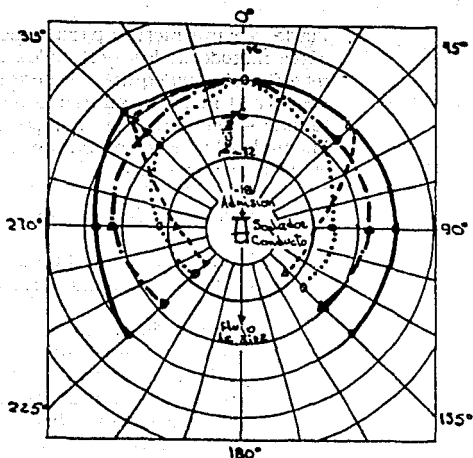


Figura 4. Diagramas direccionales para la entrada de un ventilador del tipo coaxial con caja de 40 cm. de diámetro.

3. Control de Ruido.

A. Técnicas para control de ruido.

Varias técnicas son consideradas para controlar el ruido, pero en general estas pueden ser clasificadas en tres categorías:

- a) Reducción de ruido en su fuente.

Métodos importantes de controlación del ruido en su fuente son:

- I) La reducción de las fuerzas de excitación.
- II) La reducción de la respuesta de varias componentes del sistema a estas fuerzas excitantes (componentes que generan ruido cuando las excita o que transmiten energía vibratoria a superficies que radiarán sonido).

III) Cambios en los procedimientos de operación.

Puede ser impráctico para la compra de equipo emplear algún método de los enlistados arriba, lo cual envuelve modificación de equipo. En este caso, se puede mejor - reducir el ruido en su fuente por la selección de la fuente más silenciosa o las componentes más silenciosas de las cuales la fuente es comprendida, consistentes con otros requerimientos.

I) Reducción de las fuerzas excitantes.

Este método consiste en la aplicación de cualquier una de las técnicas siguientes:

- reducción de impactos o fuerzas impulsivas.
- balanceamiento de las masas movientes.
- balanceamiento de las fuerzas magnéticas.
- reducción de fuerzas friccionales por alineamiento apropiado y lubricación.
- uso de compensación dinámica. - los así llamados "absorbentes dinámicos" proveen una fuerza de compensación la cual está fuera de fase con la fuerza excitante, y en consecuencia, reduce la energía total transmitida a la estructura.
- aislamiento de vibraciones. - el aislamiento de vibración de las componentes de una fuente, o de la misma fuente entera, puede ser efectivo reduciendo grandemente las fuerzas excitantes.

II) Reducción de la respuesta de las componentes radiantes de sonido en el sistema para las fuerzas excitantes.

Quando las componentes en un sistema son puestas en vibración, radiarán sonido. La aplicación de las siguientes técnicas pueden reducir este ruido en su fuente:

- alteración de la frecuencia natural de un elemento resonante: un panel puede ser puesto en una fuerte vibración cuando la frecuencia de la fuerza excitante corresponde con, o esta bajo, la frecuencia natural del panel. Bajo estas condiciones, la vibración del panel, y de aquí el ruido, puede ser reducido por la alteración de la frecuencia natural del panel. Por ejemplo, esto puede ser hecho por incrementar de su dureza (lo cual aumentará la frecuencia natural), o cambiando las dimensiones del panel.

- incrementando la disipación de energía. - materiales amortiguadores de vibraciones pueden ser aplicados a las superficies radiantes. En este caso, reducciones muy sustanciales de ruido pueden obtenerse.

III) Cambios en procedimientos de operación.

Los cambios en el procedimiento usual de operación pueden ser efectivos como una técnica de control de ruido. Así algunos factores, contiguos a áreas residenciales, suspenden o reducen operaciones ruidosas en la noche, cuando la actividad normal en una comunidad disminuye y el ruido de fondo general es reducido.

b) Control del camino de transmisión.

Otra técnica general de reducción del ruido es controlando el camino de transmisión así como reducir la energía que es comunicada al receptor. Esto puede ser hecho en un número de caminos:

- Situando. En el aire abierto, máxima atenuación estaría provista incrementando, tan lejos como sea posible, la distancia entre la fuente y el receptor. Puesto que muchas fuentes no radian uniformemente en todas direcciones, alterando la orientación relativa de la fuente y el receptor considerable reducción en nivel de ruido para el receptor puede ser posible.
- Construcción planeada. La cuidadosa planeación de la localización de cuartos dentro de una construcción, con respecto a la posición relativa de las fuentes de ruido, puede dar como resultado una economía considerable reduciendo la extensión de las mediciones de control de ruido que de otra manera serían requeridas.
- Camino de desviación. Las barreras en el aire libre pueden ser efectivas cuando son grandes en tamaño comparadas con la longitud de onda del ruido para ser desviado.
- Recintos. Considerable atenuación puede ser provista por el uso de un recinto apropiadamente diseñado alrededor de una fuente de ruido o alrededor del receptor.
- Absorción. Uno de los más efectivos medios de atenuación del sonido en su camino de transmisión es por me

dió de absorción. Por ejemplo, suponiendo que un número de máquinas están en operación en una oficina grande. La mayor parte del ruido de estas fuentes que llega a los trabajadores en el lado opuesto de la oficina habrá sido reflejado por el techo, las paredes, y el piso. Por tanto, el uso de absorción del ruido en la forma de materiales acústicos en el techo, o tapetes sobre el piso, darán atenuación en el camino entre la fuente y el receptor.

- **Impedancia desigual (filtros acústicos, silenciadores).** El flujo de energía acústica a lo largo del camino de la fuente al receptor puede ser impedido por discontinuidades las cuales reflejan al revés con respecto a la fuente (en efecto, por una impedancia desigual). La transmisión del sonido en el aire libre puede ser similarmente impedida. Por ejemplo, el acomodamiento de un soplador puede ser encontrado para proveer la más grande reflexión de abanico de energía del ruido acústico a su orificio de salida, para minimizar la radiación de la nariz del soplador desde el acomodamiento. Filtros acústicos y silenciadores operan sobre este principio; aunque algunos silenciadores pueden también incluir absorción en el camino de transmisión.

c) **Medidas protectoras en el receptor.**

Las siguientes técnicas de un control de ruido pueden ser usadas donde el nivel de ruido para el receptor es considerado por ser excesivo:

- **Uso de equipo protector personal.** Donde los niveles de ruido en un medio ambiente son excesivos, el uso de tapones para los oídos, orejeras o pequeñas casetas puede reducir los niveles a un punto donde el ruido peligroso estará reducido a una condición de aceptabilidad.
- **Educación y relaciones públicas.** En algunas ciudades donde el ruido es un serio problema, ambas las instalaciones industriales y gubernamentales han mejorado sus relaciones con la comunidad interesandola en su problema del ruido y mostrandole los pasos constructivos que estaban siendo tomados para minimizar la disturbancia.
- **Control de exposición.** Bajo algunas circunstancias es impracticable reducir los niveles de ruido extremadamente intensos en áreas donde la gente debe trabajar a niveles los cuales son considerados aceptables para un período usual de trabajo. Hay casos donde un nivel de ruido --

que es inaceptable para un período de tiempo puede ser aceptable para un período más corto, así una técnica de control de ruido es la rotación de personal para que los asignamientos de trabajo en el área de ruido intenso sean solo para un período limitado de tiempo.

B. Procedimientos para el control de ruido.

A fin de que el ingeniero pueda aplicar una cualquiera de las técnicas descritas anteriormente para el control de ruido, se deben considerar los siguientes factores si se pretende una solución satisfactoria del problema, así los siguientes pasos son tomados para determinar la cantidad de reducción de ruido requerida en un problema específico:

- a) Determinar el nivel de ruido en el medio ambiente donde el receptor esta localizado bajo condiciones existentes o esperadas. Esto puede ser hecho por mediciones o por estimaciones basadas sobre datos disponibles. Para esto se requiere el uso del equipo apropiado para el trabajo, una calibración exacta, la toma de datos en varias frecuencias bajo condiciones propiamente controladas y la evaluación de otros factores los cuales influyen sobre las mediciones.

Así para determinar la potencia acústica radiada por una fuente en cada uno, de un grupo prescrito de frecuencias, por lo general las mediciones de ruido se hacen según una de las siguientes maneras:

- con un analizador de octavas en las siguientes ocho bandas: 37.5-75, 75-150, 150-300, 300-600, 600-1200, 1200-2400, 2400-4800, 4800-10000 ciclos/seg.
- con un analizador de tercio de octava, con 25 bandas de frecuencias: 20-45, 45-57, 57-71, 71-90, 90-114, 114-142, 142-180, 180-228, 228-284, 284-360, etc.
- con un analizador de banda estrecha con un ancho de banda fijo entre 2 y 50 ciclos/seg, o
- con un analizador de banda estrecha con un ancho de banda del 2 al 20 % de la frecuencia media.

Si la representación gráfica de los datos se hace en términos del nivel de potencia en decibeles en función de la frecuencia para la banda de 1 ciclo/seg, la gráfica representará lo que se llama el nivel de potencia espectral.

Bajo algunas circunstancias es impracticable o imposible hacer mediciones de ruido sobre varias fuentes. En tales casos una frecuencia puede obtenerse para una estimación ingenieril util de información provista de datos existentes, los cuales especifican las condiciones de medición.

- b) Determinar que nivel de ruido es aceptable. Esta información es provista por un criterio apropiado. Un criterio es definido como un estandar de juicio, los criterios de control de ruido proveen estandars para juzgar la aceptabilidad de niveles de ruido bajo varias condiciones y para varios propositos. Un criterio puede ser establecido por la tolerancia del hombre a la vibración, por el riesgo de daño a la audición como un resultado de exposición a la alta intensidad del ruido, para aceptables niveles de ruido en diferentes tipos de construcciones, etc. Todos los criterios son estadísticos en naturaleza.
- c) Magnitud de la reducción de ruido requerida. Después de que el ingeniero de control de ruido ha recopilado información la cual especifica el porcentaje del grupo que debe ser protegido, la longitud de tiempo de exposición por hombre, y la cantidad de pérdida de audición que es considerada significativa, puede usar un criterio (curvas de criterio ya establecidas) para determinar el nivel para el cual el ruido debe ser reducido. Esta cantidad se obtiene con la diferencia entre a) y b) que es la reducción de ruido que debe procurarse para obtener un ambiente aceptable; esta reducción es usualmente determinada como una función de la frecuencia. Así la diferencia entre el nivel de ruido proporcionado por un criterio aceptable y el nivel de ruido existente, que se puede considerar como el nivel de potencia en db más el índice de directividad de la fuente menos el efecto del ambiente y las estructuras intermedias obtenidos por mediciones apropiadas, indica la reducción de ruido en db que debe ser provista.

4. Instrumentos para Mediciones de Ruido.

Después de que el tipo de medición de ruido a efectuarse ha sido determinado, los instrumentos para ser usados son seleccionados. Por la variedad de información que es necesitada y por la variedad de condiciones encontradas, muchos tipos diferentes de instrumentos son usados en mediciones de ruido. Casi todos estos instrumentos dependen en un micrófono para transformar el ruido acústico a una señal eléctrica así instrumentos electrónicos pueden ser usados para medir algunas características de la señal o para almacenar la señal para mediciones

posteriores. Una instrumentación generalizada para ilustrar esta situación es mostrada en el diagrama de bloques de la figura 5. En el diagrama, el micrófono está conectado a un medidor de nivel del sonido o a una grabadora de cinta magnética. El medidor de nivel de sonido es usado si el nivel de presión del sonido de un ruido va a ser medido directamente, y la grabadora almacena la señal de ruido para mediciones o referencias futuras. Los otros instrumentos mostrados en el diagrama completan la medición del medidor de nivel de sonido. La grabadora de nivel da una grabación gráfica del nivel de presión del sonido como una función del tiempo, el oscilógrafo delinea la forma de onda de la señal de ruido, y el analizador de espectro es usado para medir el nivel de presión por banda en diferentes bandas de frecuencias. Descripciones más detalladas de las funciones y características de estos instrumentos se dan a continuación.

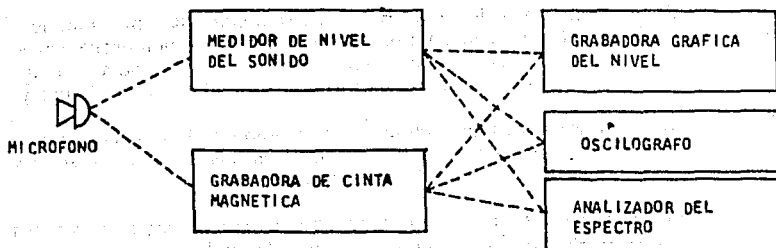


Figura 5. Instrumentación generalizada para mediciones de ruido.

A) **Micrófonos.** Más adelante se incluye un capítulo sobre micrófonos por lo que aquí se tratarán superficialmente, anotando solo sus principales características y los tipos básicos de los micrófonos.

Un micrófono es un transductor que convierte un sonido a una onda eléctrica. Que tanto se acerca un micrófono práctico a uno ideal es indicado por sus características, de las cuales las siguientes son importantes: respuesta o sensibilidad (factor de escala), variación de la respuesta con la frecuencia y con las condiciones de ambiente, directividad, distorsión no lineal, impedancia, respuesta transitoria, efecto de distorsión, tamaño, aspereza y el nivel de ruido inherente.

Tipos básicos de micrófonos.

Los micrófonos pueden ser clasificados en tres amplios grupos:

- 1) Micrófonos de presión, los cuales responden a la presión del sonido.
- 2) Micrófono de velocidad o de gradiente de presión, los cuales responden a una diferencia en presión entre dos puntos cercanamente espaciados, esta diferencia es ordinariamente proporcional a la velocidad de la partícula; y
- 3) Micrófonos que son una combinación de los primeros dos tipos, esto es, sus respuestas son funciones de la presión y de la velocidad de la partícula.

Los últimos dos tipos de micrófonos son direccionales, y son usados solo ocasionalmente en mediciones de ruido.

Calibración de micrófonos:

Muchos métodos de calibración de micrófonos han sido desarrollados. El método más ampliamente aceptado es el método de reciprocidad, el cual se usa generalmente para calibración de estándares de micrófonos; pero la mayoría de los micrófonos son calibrados por un método de sustitución en el cual un micrófono de referencia previamente calibrado es usado como un estándar de comparación. Otros diseños usados para calibración son por ejemplo, un impulsador electrostático, un disco de Rayleigh o un termófono.

a) **Calibración por reciprocidad:**

Este tipo de calibración depende en el uso de al menos -

dos micrófonos, uno de los cuales es reversible, eso es, uno de los micrófonos debe ser capaz de operar como un altavoz. La calibración es entonces obtenida en términos de las características del espacio en el cual las mediciones son hechas.

El primer paso es obtener la respuesta relativa de los dos micrófonos a y b, este paso es ejecutado colocando primero un micrófono en un campo sonoro y midiendo su voltaje de salida, entonces sustituyendo ese micrófono por el segundo se mide la salida de voltaje. La respuesta relativa M_a/M_b esta dada entonces por los voltajes de salida, donde M_a y M_b son las respuestas de los dos micrófonos según la relación de los voltajes de circuito abierto producidos por los micrófonos a las presiones de sonido en los diafragmas.

El micrófono reversible es usado en tal caso como una fuente sonora, manejado por una corriente eléctrica I_a con el otro micrófono estando en el campo sonoro, y su voltaje de salida e_b es medido. El producto de las dos sensibilidades de los micrófonos es proporcional a la relación e_b/I_a , con el factor de proporcionalidad, siendo una función de las características del espacio en el cual la medición es hecha. Con las relaciones M_a/M_b y $M_a M_b$ ambas conocidas, las respuestas absolutas de cada uno de los dos micrófonos pueden ser encontradas.

Un número de importantes precauciones debe ser tomado para hacer tal calibración, para simplificar alguna de estas precauciones es usual hacer la calibración por reciprocidad en una pequeña cámara cerrada llamada acoplador, usando tres micrófonos idénticos. La cámara es hecha suficientemente pequeña así que una característica respuesta-presión sera obtenida. La proporcionalidad básica esta entonces dada por la formula:

$$M_a M_b = \frac{2\pi f v}{\gamma P_0} \frac{e_b}{I_a}$$

donde:

γ = relación de calores específicos del gas en el acoplador.

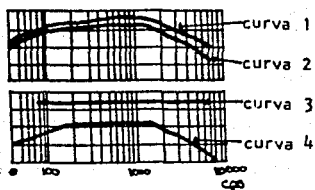
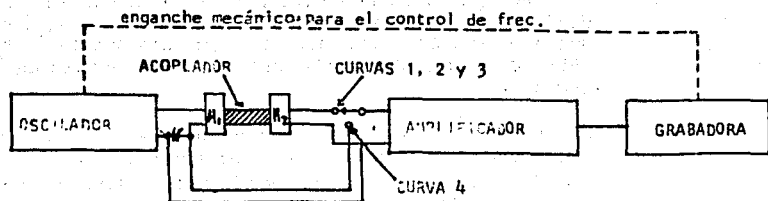
P_0 = presión ambiente, Nt/m^2

f = frecuencia, cps

v = volumen del acoplador, m^3

El volumen inclufra la contribución hecha por el micrófo

no como un resultado del movimiento de su diafragma. Es posible hacer una medición para obtener la gráfica respuesta vs. frecuencia como un resultado final. El proceso básico envuelto aquí es grabar cada valor medido como una función de la frecuencia. Un diagrama de esto se muestra en la figura 6.



Lista:

CURVA	1	2	3	4
H_1	M_a	M_c	M_a	M_a
H_2	M_a	M_b	M_b	

Figura 6. Diagrama y respuesta típica de la calibración de 3 micrófonos por el método de reciprocidad.

b) Método de sustitución.

Una medición de la respuesta relativa de un micrófono - estandar calibrado y del micrófono para ser calibrado dará una corrección para ser aplicada a la respuesta del estandar para obtener la respuesta del desconocido.

Esta respuesta relativa es obtenida usualmente en una cámara anecoica (condiciones de campo libre) de la siguiente forma: un tono puro es producido por un altavoz en la cámara, uno de los micrófonos es colocado a alguna distancia de la fuente, su salida es medida. Ese micrófono es entonces reemplazado por el segundo micrófono, con gran cuidado tomando como similares todas las condiciones, su salida es medida. La relación de las dos salidas corregidas para condiciones de circuito abierto es la respuesta relativa deseada.

En este tipo de medición también muchas precauciones deben ser tomadas para garantizar que se obtiene una medición exacta a altas frecuencias. Un altavoz muy bueno debe ser usado para evitar distorsiones peculiares del campo sonoro.

c) Técnica de insertación de voltaje.

En ningún método de calibración de micrófonos es conveniente expresar el voltaje desarrollado en terminos del voltaje de circuito abierto del micrófono. El valor equivalente de circuito abierto es ordinariamente obtenido por este método de sustitución. Esta técnica es usada también para obtener la respuesta eléctrica de un sistema conectado a un micrófono con el micrófono como la impedancia para la fuente. Un circuito típico es mostrado en la figura 7.

La técnica consiste de insertar un voltaje conocido en serie con el micrófono. Este voltaje es ordinariamente pequeño y es desarrollado a través de una resistencia de precisión teniendo una impedancia pequeña comparada con las otras impedancias del circuito. El voltaje conocido es obtenido de un oscilador, voltmetro, y un sistema atenuador calibrado, y el procedimiento es como sigue: el oscilador esta apagado, y una onda acústica es aplicada al micrófono. La indicación del medidor es anotada. La onda acústica es apagada, y el oscilador es prendido y puesto a la misma frecuencia y misma onda (usualmente onda senoidal) como la onda acústica. El atenuador su-

pliendo la resistencia de inserción es ajustado hasta - que la anotación del medidor es obtenida de nuevo. El - voltaje que aparece a través de la resistencia de inserción es entonces el equivalente deseado de voltaje de -- circuito abierto.

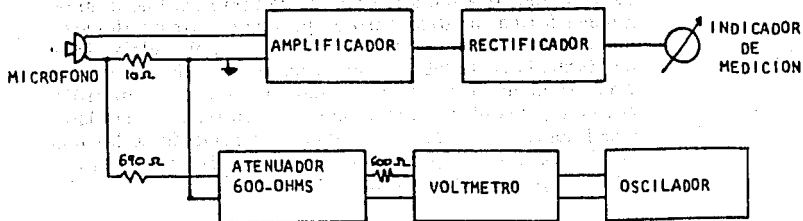


Figura 7. Arreglo del circuito típico para usar la técnica de inserción de voltaje para obtener la respuesta eléctrica de un sistema con el micrófono como la impedancia de la fuente. La impedancia del micrófono es grande comparada con 10 ohms.

B) Medidor de nivel de sonido.

El medidor de nivel de sonido es un sensitivo voltmetro electrónico usado para medir la señal eléctrica de un micrófono, en la figura 8 se muestra en diagrama de bloques. La señal eléctrica del micrófono es amplificada suficientemente de suerte que, después de una conversión por medio de un rectificador para corriente directa, pueda desviar una indicación en el medidor. Una conexión de salida que pueda suministrar la señal amplificada a otro instrumento para análisis es ordinariamente provista. Un atenuador controla toda la amplificación del instrumento, y la característica respuesta vs. frecuencia es controlada por circuitos eléctricos llamados redes pesadas. Estos elementos del medidor de nivel de sonido se describen a continuación.

a) Amplificador.

El amplificador en un medidor de nivel de sonido debe sa

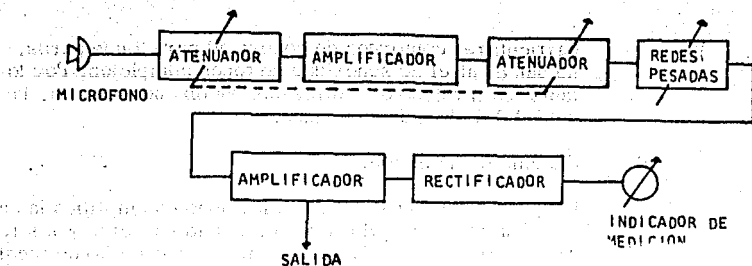


Figura 8. Diagrama de bloques simplificado de un medidor de nivel del sonido.

tisfacer muchos requerimientos. Debe tener una gran ganancia disponible en orden para medir la señal de un micrófono en una localización silenciosa. Deberá tener un ancho rango de frecuencia, usualmente es hecho del orden de 20 a 10,000 ó 20,000 cps, aunque el rango de frecuencia de 50 a 6,000 cps es el rango de más grande interés en mediciones de ruido. El fondo de ruido y el nivel de zumbido deberán ser bajos, también deberá ser estable en ganancia.

b) Atenuadores.

Los medidores de nivel de sonido son usados para mediciones de ruido que son de diferente nivel. Algún rango del nivel es cubierto por la deflexión relativa del indicador de medición; el resto del rango es cubierto por un atenuador ajustable, el cual es una red de resistencias eléctricas insertada en el amplificador electrónico para producir un cierto decrecimiento en el nivel de la señal. Para simplificar el cálculo del nivel es usual tener un atenuador ajustable en pasos de 10 db.

c) Redes pesadas.

La característica respuesta vs. frecuencia de un medidor de nivel de sonido es controlada por redes pesadas eléctricas. Tales redes en el circuito electrónico son algunas veces hechas para compensar la respuesta de micrófonos particulares de tal suerte que la respuesta neta es uniforme (plana) dentro de las tolerancias admitidas por los estándares. Aunque la red responde correspondientemente a

particulares contornos de sonoridad para tonos puros, - no dan el nivel de sonoridad de tonos complejos. Por lo tanto los niveles son expresados en db, no en fones, la unidad del nivel de sonoridad.

d) Sistema de medición.

Después de que la señal del micrófono es amplificada en acordancia con la colocación de los atenuadores y las redes pesadas, es usada para manejar un circuito de medición. Este circuito de medición indica un valor que es una característica de la onda aplicada a este. Los estándares sobre medidores de nivel de sonido especifican que el valor rms de la onda deberá ser indicado.

e) Salida.

La mayoría de los medidores de nivel de sonido incluyen una conexión de salida que suministra una señal eléctrica que es la salida amplificada de la señal del micrófono. Esta salida es usada para suministrar una señal a otros instrumentos, por ejemplo, grabadoras gráficas de nivel, oscilógrafos, o analizadores de espectro. El nivel de salida es usualmente del orden de 1 volt cuando la indicación del medidor esta deflectada al valor más alto de la escala. Esta salida es adecuada para manejar la mayoría de los analizadores y grabadoras.

C) Oscilógrafos.

El instrumento indicador en un medidor de nivel de sonido muestra solo una característica de la onda de ruido el nivel del sonido. Pero no da información acerca de la forma de la onda. Cuando uno desea conocer más acerca de la forma de onda, es posible usar un oscilógrafo de rayos catódicos (osciloscopio). El indicador en este instrumento es un tubo de rayos catódicos similar a un tubo de televisión. El rayo de electrones en el tubo es desviado ordinariamente por una señal de barrido de tal forma que el trazo sobre la pantalla se mueve para un rango uniforme en una dirección horizontal (llamado eje x). Cuando el trazo alcanza el final de la pantalla, la señal de barrido rápidamente lo regresa al comienzo, y el patron es repetido. Una señal para ser desplegada es aplicada para así producir una desviación del trazo en la dirección vertical (llamado eje y). La combinación del movimiento da como resultado un desplazamiento de la amplitud instantánea de la onda como una función del tiempo. Para mediciones acústicas es deseable seleccionar un oscilógrafo cuya característica respuesta vs, frecuencia es uniforme bajo corrien

te directa, la respuesta a altas frecuencias en casi todos los oscilógrafos de rayos catódicos se extiende bien más allá del rango de frecuencia audible.

D) Grabadoras.

Si una grabación permanente o una vista continua del nivel de sonido es deseable, el instrumento indicador de un medidor de nivel de sonido es a menudo reemplazado o complementado por una grabadora. Grabadoras de diferentes tipos han sido desarrolladas, pero la más comúnmente usada en mediciones de ruido es la grabadora gráfica de nivel del sonido.

a) Grabadora gráfica de nivel.

Una grabadora gráfica de nivel es un voltmetro registrador con una escala logarítmica. Es usualmente un servomecanismo, y un tipo trabaja siguiendo el principio mostrado en la figura 9. La señal de voltaje se conecta a un divisor de voltaje, llamado potenciómetro, y el voltaje de este es amplificado convertido a un voltaje dc proporcional a alguna característica, rms, promedio rectificado, o valor pico de la onda. Este voltaje de directa es amplificado y usado para manejar un anillo móvil en un fuerte campo magnético. Este anillo está mecánicamente acoplado a la armadura móvil en el potenciómetro y también a un apuntador el cual traza una indicación sobre papel.

El voltaje suministrado al anillo móvil es balanceado contra una referencia fijada de voltaje. Si el voltaje de dc producido por la señal es menor que la referencia de voltaje hay una corriente neta en el anillo la cual da como resultado una fuerza tendiente a mover la armadura (el brazo) del potenciómetro. El sistema está conectado de tal forma que la dirección de la fuerza maneja el brazo así como incrementa el voltaje de la señal hasta alcanzar un balance.

La posición del brazo del potenciómetro y, correspondientemente, la del apuntador son entonces medidas de la señal aplicada. Si el potenciómetro es colocado de tal forma que la división de voltaje sigue una relación logarítmica en posición, la escala sobre el papel puede ser uniformemente dividida para nivel en decibeles. El papel se mueve en una forma uniforme en una dirección perpendicular al movimiento de la pluma. La combinación del movimiento uniforme del papel en una dirección y el trazo del nivel de

go vol autor
 may lab 200

voltaje en una dirección perpendicular por el apuntador servo-controlado produce una grabación del nivel de voltaje como una función del tiempo en coordenadas rectangulares. Las escalas de las coordenadas son determinadas por la velocidad del papel y el rango del potenciómetro.

La grabadora gráfica de nivel, cuando es conectada a la salida de un medidor de nivel de sonido graba el nivel de presión del sonido como una función del tiempo. También puede ser usada para grabar otras variables, por ejemplo, si es conectada a la salida de un analizador de espectro y si el analizador está sintonizado sobre su rango como una función del tiempo, la grabación será un análisis de la salida del analizador.

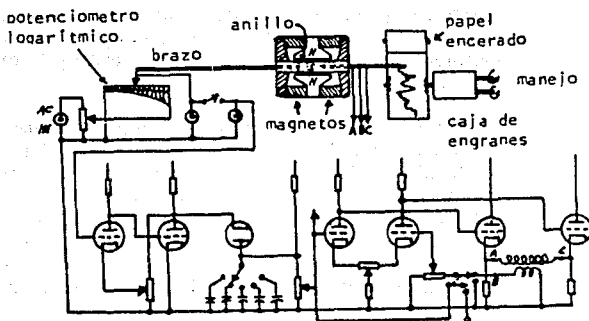


Figura 9. Esquema simplificado de una grabadora gráfica de nivel.

b) Grabadora de carrete movil.

Es un tipo comparativamente potente de magneto con un carrete movil, y en lugar de un apuntador lleva una pluma ligera que escribe sobre un papel. Estas grabaciones son normalmente hechas al tener una desviación -- que es directamente proporcional a la corriente de modo que no indica el nivel en db sobre una escala uniforme. Algun sistema rectificador que es usado con la grabadora debe ser incluido en la calibración final en el papel de grabación. Porque muchas de las grabadoras de celda movil de alta velocidad requieren de una alta corriente para dar una desviación apreciable, amplificadores de potencia son provistos con las grabadoras para hacerlas suficientemente sensitivas para aplicaciones generales. El rango de muestreo no es muy rápido, un máximo de dos por segundo, pero para grabaciones sobre largos periodos de tiempo es adecuado. Este tipo de grabadora tiene las ventajas de alta sensibilidad, de relativamente bajo costo, y de poco peso. Figura 10.

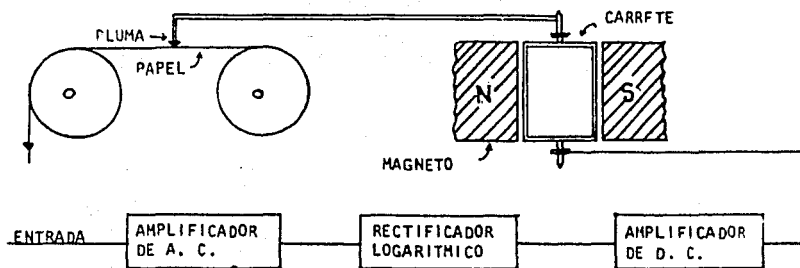
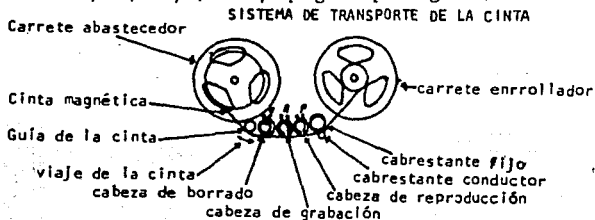


Figura 10. Diagrama simplificado de una grabadora de carrete movil.

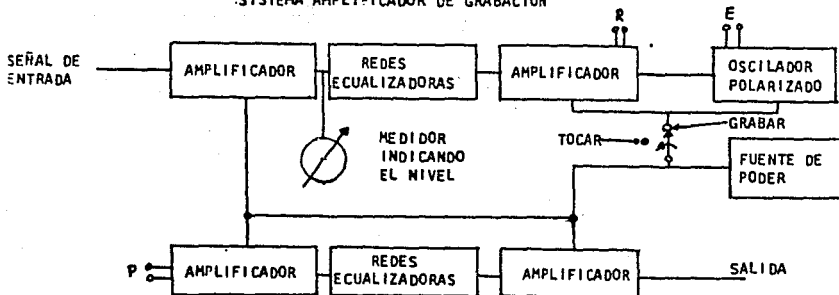
c) Grabadora de cinta magnética.

Es un diseño para almacenar una señal eléctrica. Almacena la señal como variaciones en el estado magnético de partículas de óxido de hierro finamente divididas sobre un lado de la cinta plástica. Como se muestra en la figura 11 consiste de las siguientes unidades básicas: - un mecanismo para transportar la cinta, una cabeza grabadora magnética, una cabeza reproductora, una cabeza borradora, un oscilador polarizado, amplificadores, y redes equalizadoras eléctricas.

La cinta es colocada en la grabadora de tal forma que - pasa por las cabezas magnéticas con el lado revestido hacia a ellas. Se desliza a través de pequeñas aberturas en los centros magnéticos de las cabezas como es jalada por un cabrestante del mecanismo transportador de un carrete a otro. La velocidad de la cinta es usualmente 30, 15, 7 1/2, o 3 3/4 pulgadas por segundo.



SISTEMA AMPLIFICADOR DE GRABACION



SISTEMA AMPLIFICADOR DE REPRODUCCION

Figura 11. Elementos básicos de una grabadora de cinta magnética.

La señal eléctrica para ser grabada es amplificada y también pasada a través de una red eléctrica para enfatizar la energía de alta frecuencia en la señal. La señal amplificada es entonces aplicada a la cabeza de grabación con una fuerte señal del oscilador, el cual usualmente opera a una frecuencia de 100 Khz o más alta para una más alta calidad de grabación. Antes de que una sección de la cinta sea grabada, se desliza a través de la cabeza borradora, la cual es excitada por energía de alta frecuencia del oscilador. Esta operación desmagnetiza las partículas magnéticas en la cinta de tal forma que una señal previamente grabada es borrada. Cuando la señal grabada va a ser reproducida, el oscilador es apagado de tal forma que la cinta no se borre cuando pasa a través de las cabezas. Como la cinta se desliza en la abertura en el centro magnético de la cabeza reproductora, un voltaje es inducido en el arrollamiento sobre el centro por el estado magnetizado de las partículas sobre la cinta. Este voltaje inducido es amplificado, y la ganancia relativa como una función de la frecuencia es modificada por las redes eléctricas para producir una respuesta vs. frecuencia que es razonablemente uniforme sobre el rango audible. Esta respuesta sobre todo el rango es la relación del voltaje de entrada del amplificador de grabación a la salida de voltaje del amplificador de reproducción.

Características:

Aunque la alta calidad de las grabadoras de cinta magnética es enteramente satisfactoria para muchas aplicaciones en problemas de control de ruido, sus características no son ideales. Algunas de sus limitaciones son consideradas a continuación:

- Respuesta vs. frecuencia. - La uniformidad de la característica respuesta vs. frecuencia para una cinta grabadora esta determinada por la velocidad de la cinta. La longitud de la abertura magnética, la alineación de la abertura, la naturaleza de la cabeza y el contacto de la cinta, el tipo de la cinta, la equalización y la respuesta de amplificación. Las grabadoras que usan una velocidad de cinta de 15 pulgadas por segundo usualmente estan ajustadas para tener cerca de 3 db en respuesta desde 50 a 15,000 cps, y algunas con velocidad de cinta de 7 1/2 pulgadas por segundo, también logran esa respuesta. De modo que la más alta velocidad de cinta es generalmente preferida ya que con esto se logra mantener una mejor respuesta a altas frecuencias.

Ondulación. - La cinta no se desliza por las aberturas magnéticas a una velocidad absolutamente uniforme, y la señal reproducida esta entonces modificada por fluctuaciones en la escala relativa del tiempo. Si un tono puro es grabado, estas fluctuaciones producen una variación en la frecuencia de salida que es llamada ondulación. A menos que tales fluctuaciones sean muy pequeñas, estas son audibles cuando ciertos tipos de sonidos son reproducidos. Así también pueden hacer difícil o imposible usar analizadores de banda estrecha en el registro de componentes discretas del sonido grabado. Para aplicaciones generales de grabaciones de ruido, por lo tanto, solo la mejor calidad de cintas grabadoras deberían ser usadas. Entonces es posible mantener por grandes períodos valores de ondulación menores que cerca de 1/4 por ciento, lo cual es ordinariamente satisfactorio.

- **Ruido inherente y zumbido.** - El ruido inherente en una grabadora de cinta magnética depende de muchos factores, tales como el diseño y ajuste del amplificador, la distorsión del oscilador de polarización, campos magnéticos extraviados, y el tipo de cinta usada. Una señal indeseable de la línea de poder, llamada "zumbido", también puede contribuir al ruido inherente a menos que se tome cuidado en el diseño de la grabadora, particularmente en el campo magnético de la cabeza reproductora.
- **Distorsión.** - El nivel máximo al cual esencialmente -- existe una operación lineal de grabación esta fijado por tales factores como el tipo de cinta usado, la señal del oscilador, la operación del amplificador, la equalización, y la distribución como una función de la frecuencia de la energía de la señal para ser grabada. Este nivel de distorsión fija un límite superior y el nivel de ruido inherente fija un límite inferior para el rango de niveles de señal que pueden ser manejados satisfactoriamente. Este rango es algunas veces llamado el rango dinámico; y en una cinta grabadora de alta calidad, es de 50 db o más, lo cual es adecuado para la mayoría de los propósitos de grabación de ruido. El límite de distorsión puede variar apreciablemente con la frecuencia por los sistemas de equalización usados. Cuando una grabadora que usa una velocidad de cinta de 7 1/2 pulg. por segundo es equalizada para dar una buena respuesta a 15 KHz, el rango dinámico a altas frecuencias puede ser apreciablemente menor que para una grabadora que use una velocidad de cinta de 15 pulg. por segundo.

usualmente llenados con un filtro paso bajas con un corte a 75 cps. y un filtro paso altas con un corte a 4800 cps.

Otra serie común de bandas de un octavo es la siguiente: 50 a 100, 100 a 200, 200 a 400, 400 a 800, 800 a 1600, - 1600 a 3200, y 3200 a 6400 cps.

- b) Analizadores de un medio de octava y un tercio de octava: cuando un análisis de octava de banda de un ruido no es suficientemente detallado un análisis con bandas estrechas es usualmente ensayado. Estas bandas pueden ser un medio de octava o un tercio de octava. Las bandas de un analizador de un tercio de octava son ordinariamente centradas sobre una preferida serie de números de: 1, - 1.25, 1.6, 2, 2.5, 3.15 (3.2), 4, 5, 6.3, 8, y estas series multiplicadas por una potencia entera de 10.
- c) Analizadores de banda estrecha con un ancho de banda -- proporcional: analizadores con paso-bandas que son hasta más estrechas que un tercio de octava son también usados, particularmente si una medición de componentes discretas es deseable. Cuando el nivel de ciertas componentes solo es deseable, puede ser de considerable ventaja usar un analizador que tenga muchas paso-bandas estrechas, particularmente si las componentes tienen frecuencias que están cerca de la que tiene que ser distinguida. Además el uso de un analizador de banda estrecha a menudo hace posible mediciones exactas de la frecuencia de una componente lo cual puede ser un guía de uso excepcional para seguir la fuente de ruido.
- d) Analizadores de ancho de banda constante: otro tipo de analizador tiene un ancho de banda constante en cps, y está hecho de modo que se pueda afinar sobre el rango audible por el principio heterodino. Los elementos de un analizador heterodino típico están mostrados en la figura 13. La señal de ruido es transformada en el mezclador electrónico así que las frecuencias de todas las componentes del ruido son incrementadas por una cantidad igual a la frecuencia de la señal del oscilador suministrado al mezclador. La señal transformada es entonces pasada a través de un filtro altamente selectivo, por ejemplo, un filtro centrado a 50,000 cps., cuyo ancho de banda sea 10 cps. La salida del filtro es medida por medio de un voltmetro electrónico sensitivo. La selectividad del analizador heterodino está determinada por las características del filtro establecido. En algunos instrumentos, este filtro es uno altamente selectivo usando cristales de cuarzo como elementos del filtro, en otros es una serie de filtros inductivos-capacitivos que son hechos más selectivos por el uso de una realimentación.

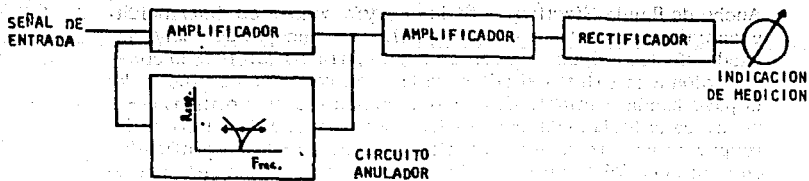


Fig. 12. Diagrama de bloques de un analizador usando un circuito anulador eléctrico en un lazo de realimentación negativa.

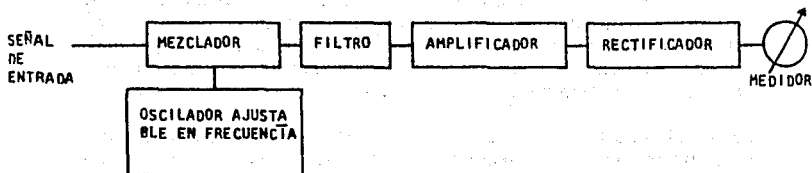


Fig. 13. Elementos básicos de un analizador heterodino.

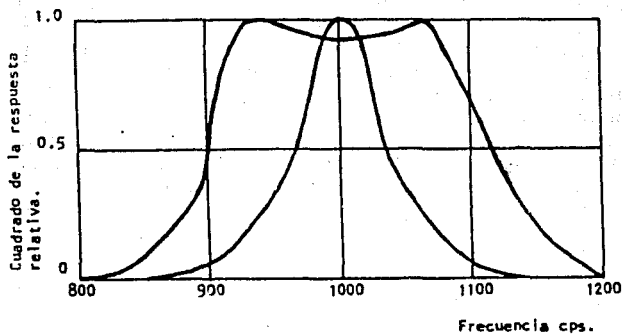


Fig. 14. Características de dos filtros diferentes y aplicados para mostrar el cuadrado de la respuesta relativa vs. frecuencia. El área bajo cada una de las curvas es entonces el ancho de banda efectivo de cada una.

Ancho de Banda Efectivo. - Si la energía sonora es distribuida esencialmente continua en frecuencia, el concepto de ancho de banda efectivo algunas veces es usado para contabilizar la contribución a la salida del filtro de las componentes de afuera de la paso banda nominal. El ancho de banda efectivo ordinariamente es calculado de una gráfica sobre papel aritmético de la respuesta vs. frecuencia del filtro. La respuesta es graficada en terminos del cuadrado de la relación de la salida relativa de voltaje a una frecuencia dada a la máxima salida relativa de voltaje, figura 14. El área bajo esta curva normalizada es entonces al ancho de banda efectivo del filtro.

Para los más modernos analizadores, el ancho de banda efectivo es solo ligeramente más grande que el citado ancho de banda nominal. Este ancho nominal ordinariamente es la diferencia entre las dos frecuencias a las cuales la respuesta es 3 db menos que la respuesta máxima en la paso banda.

Separación de Componentes. - Las limitaciones de un analizador para distinguir las componentes de un ruido pueden ser vistas de los siguientes ejemplos: Para un analizador de un octavo de banda, la fundamental y la componente de la segunda armónica ordinariamente pueden ser fácilmente distinguidas si están cada una en el centro de las bandas sucesivas. Pero estas podrían estar al final de cualquier banda, y entonces el nivel de los dos componentes no estaría claramente definido. Mediciones en bandas adyacentes, por lo tanto, ayudarían a separar las dos. Las componentes de segunda y tercera armónica podrían aparecer muy probablemente en el mismo octavo de banda, de manera que generalmente no podrían ser distinguidas. Sobre tales bases, clasificaremos el analizador de un octavo de banda como capaz de distinguir una fundamental y una segunda armónica. Sobre una base similar, un analizador de un medio de octava puede distinguir la segunda y tercera armónicas, y uno de un tercio de octava puede distinguir las componentes de tercera y cuarta armónicas. Como un ejemplo más, si es deseable distinguir las componentes de novena y décima armónicas sería deseable usar un analizador que tenga un paso banda de menos que el 10 por ciento del ancho total.

La habilidad de un analizador de ancho de banda constante para distinguir las componentes depende en la diferencia en frecuencia entre las componentes y no en la relación de frecuencias. Si un analizador es capaz de separar una componente de 30 cps. y su segunda armónica de 60 cps., podría también separar las 75ava. y 76 ava. armónicas a 2250 y 2280 cps. Naturalmente, asumiendo que estas componentes son presentadas a un nivel suficiente para ser observadas.

Grabación de la salida de un analizador. - Como se anotó anteriormente la salida de un analizador frecuentemente es grabada en una grabadora gráfica de nivel. La posición del papel de grabación esta sincronizada con la del analizador de manera que una grabación gráfica de la señal del analizador es obtenida.

La operación de sintonizar el analizador para dar esta grabación puede conducir a resultados erroneos si se hace un intento de barrer demasiado rápido a través del rango del analizador. Esta situación surge porque un filtro selectivo no puede cambiar su salida instantaneamente con los cambios de la entrada. Esto es, toma un tiempo limite para que un filtro alcance una salida continua cuando una señal es subitamente aplicada a esta; y, similarmente, cuando un filtro es sintonizado a una frecuencia diferente toma un tiempo para que la salida del filtro alcance un nuevo valor continuo. A menos que el filtro sea altamente selectivo, estos tiempos de respuesta del filtro son muy cortos.

Este problema del tiempo de respuesta cuando se esta switchando o entonando es completamente evitado en la grabación de algunos analizadores de la siguiente manera: separar las redes de filtros que son usados para cada paso banda deseada, por ejemplo, para cada tercio de octava desde 40 a 16000 cps. Estos filtros son todos simultaneamente abastecidos con la señal de ruido. Entonces las salidas de los filtros son conectados en sucesión a la grabadora para reducir la grabación gráfica del análisis. Puesto que el ruido siempre es presentado al filtro, no hay switcheo que produzca tiempo para limitar el valor de muestreo.

Esta técnica no puede ser aplicada a un analizador sintonizado continuamente. Tal analizador debe ser sintonizado a un valor más corto que un cierto valor crítico si resultados exactos quieren ser obtenidos. Este valor crítico es aproximadamente el cuadrado de ancho de banda en ciclos por segundo. Por ejemplo, un analizador con un ancho de banda de 4 cps. deberá ser entonado más lentamente que uno de 16 cps.

Algunos analizadores muestran la salida del sistema de filtrado como una deflexión del rayo de luz en la dirección vertical en un tubo de rayos catódicos. La deflexión horizontal es hecha proporcional a la frecuencia a la cual el analizador es entonado, de forma que el análisis es desplegado sobre la pantalla del tubo de rayos catódicos. El cruce de frecuencia ordinariamente es muy rápido, de manera que una resolución fina del detalle no se logra.

F) Instrumentos adicionales.

Otros instrumentos que también son usados en mediciones de rui

do son enumerados a continuación:

- a) Un autocorrelador ha sido aplicado para determinar la energía del sonido en varias bandas de frecuencia. Este instrumento es tan complicado que es todavía básicamente un equipo de investigación.
- b) Un instrumento que suministra un ruido para encubrir otro ruido, por ejemplo, un sonido de impacto, ha sido desarrollado para clasificar tales ruidos en una base psicacústica. Este instrumento evita algunos de los problemas de los medidores subjetivos; de tal forma que es usado como una herramienta de medición.
- c) Instrumentos para medición acústica del flujo de energía han sido desarrollados. Tales instrumentos tienen un rango dinámico limitado y son todavía herramientas de investigación.
- d) Medidores de frecuencia han sido usados para medir la frecuencia dominante en un sonido o en un sonido filtrado. Muchos de estos instrumentos no son ampliamente usados en mediciones de ruido porque se han encontrado que los analizadores son satisfactorios para mediciones de frecuencia.
- e) Métodos para determinar el tiempo de distribución de energía en un sonido han sido desarrollados. Estos pueden ser aplicados para medir la distribución de probabilidad de los niveles de amplitud de los ruidos o pueden ser aplicados para análisis de ruidos.

5. Gráficas de las Mediciones de Ruido.

- A) Un octavo de banda: la figura 15 es un ejemplo de un tipo de gráfica dibujada de las mediciones de ruido en octavas de banda sucesivas. Los límites de la banda particular son mostrados en la parte superior de la gráfica. El nivel de presión del sonido en cualquier octavo de banda es el nivel de presión del sonido por octava de banda o, brevemente, el nivel de octava de banda. Notecé, por ejemplo, que el nivel de presión del sonido en la banda de 600 a 1200 cps. fué medido como 64 db; este valor es graficado sobre la línea vertical al-centro de la banda dado por $\sqrt{600 \times 1200} = 850$ cps. Tal plano de la diferencia de niveles de octava de banda en relación a la frecuencia es llamado espectro. Los datos experimentales son representados por los puntos, conectandolos por medio de líneas son útiles para estimar los.

los niveles de octava tal que se obtiene la forma general de los niveles de octava a frecuencias intermedias y obtener la forma general del espectro.

En las figuras 16 y 17 respectivamente se muestran las gráficas obtenidas del ruido producido por la misma fuente de la gráfica de la figura 15 medido en bandas de un medio de octava y de un tercio de octava.

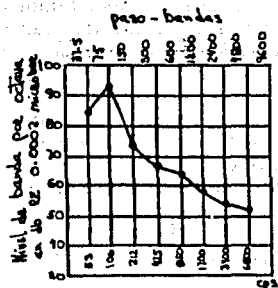


Fig. 15. Gráfica de una medición de ruido por bandas de octava.

La fuente de ruido era un soplador - manejado por un motor con un zumbido pronunciado.

Estos datos son - promedios de las mediciones hechas en un cuarto reverberante a distancias de 10 a 30 pies del motor.

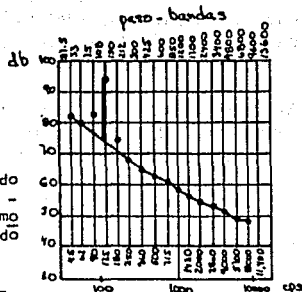


Fig. 16. Gráfica de mediciones de ruido por bandas de media octava.

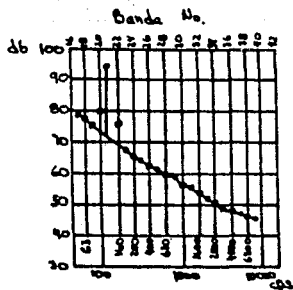


Fig. 17. Gráfica de mediciones de ruido por bandas de un tercio de octava.

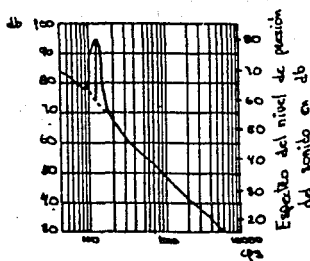


Fig. 18. Gráfica de mediciones de ruido por bandas de 20 cps.

Interpretación: consideré el nivel de presión del sonido observado cerca de 120 cps en las figuras 15 y 17. El nivel a esta frecuencia es el mismo, 94 db, independientemente del ancho de la paso-banda. Esto sucede cuando el sonido predominante dentro de la banda es un tono de una sola frecuencia. Tales tonos pueden ser identificados a menudo es escuchandolos o de información conocida de la frecuencia de la línea de energía.

Una línea vertical ha sido dibujada a 120 cps. en las figuras 16 y 17 - para indicar que este pico esta considerado como debido a un tono simple. La línea vertical representa una interpretación en contraste a los círculos, los cuales representan las mediciones hechas. Notecé también que en la figura 16, a 90 y 180 cps; y en la figura 17, a 100 y 160, las curvas han sido dibujadas bajo los puntos observados; esto también es un camino de interpretación.

Ancho de banda constante: otra forma de analizar un sonido, y de uso común en análisis de ruidos es aquella en la cual el ancho de la banda es fijado no muy ancho, acaso por el orden de 20 cps. La localización de la frecuencia de tal ancho de banda puede ser cambiada sobre el rango de la frecuencia de interés, por ejemplo, por rotación de un cuadro. La figura 18 muestra como aparece el ruido graficado en la figura 15 cuando es medido con un analizador que tiene una paso-banda de 20 cps.

Gráfica del nivel de espectro: una forma de comparar los datos obtenidos con analizadores de diferentes anchos de banda es reducir todas las observaciones obtenidas a un ancho de banda común de 1 cps. Esto puede ser efectuado por el uso del nivel de espectro de la presión del sonido. El nivel de espectro de un ruido puede ser calculado de mediciones en bandas anchas restando una conversión del nivel de banda observado. La conversión es diez veces el logaritmo del número de cps en la banda. Puede obtenerse graficamente por dos métodos diferentes de la figura 19.

El primer método depende sobre un conocimiento del ancho de la paso banda en cps. Suponiendo, por ejemplo, que la conversión es requerida para una paso banda de 20 cps. De la parte superior de la curva del ancho de banda en la figura 19, la conversión para un ancho de 20 cps es vista como 13 db. Esta conversión puede ser aplicada a los niveles de banda de 10 cps graficados en la figura 18. Por ejemplo, a 1000 cps el nivel de banda observado es 47 db; así el nivel de espectro calculado a 1000 cps es $47 - 13 = 34$ db. Este y otros valores del nivel de espectro pueden ser leídos directamente de la escala anexada en el lado derecho de la figura 18.

El segundo método de encontrar la conversión depende en el uso de una banda proporcional, tal como una octava, y la frecuencia central de la

banda. Suponiendo que el problema es computar el nivel de espectro a 1000 cps. habiéndose dado el nivel de media octava de banda de solo sobre 59 db, como se lee de la figura 16. De la figura 19 la conversión para una banda de media octava a 1000 cps es 25.4 db, así el nivel de espectro computado a esta frecuencia es cerca de $59 - 25 = 34$ db; el mismo resultado se obtuvo anteriormente para la banda de 20 cps.

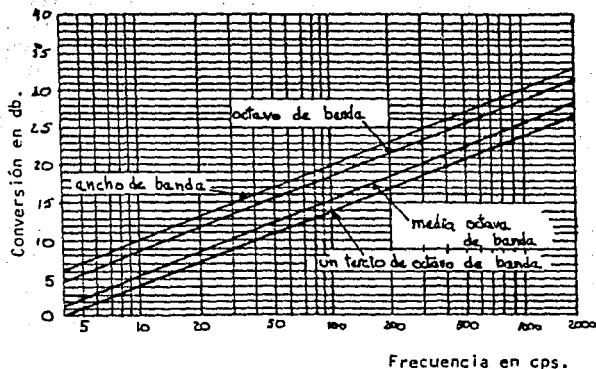


Fig. 19. Conversión en decibelios, para ser restada del nivel de banda para obtener el nivel de espectro.

6. Técnicas de Mediciones de Ruido.

Las más simples mediciones de ruido son aquellas del nivel sobre todos los sonidos y se requiere de solo un medidor de nivel del sonido. Si el campo sonoro es relativamente difuso, tales lecturas no dependerán significativamente en el ángulo del micrófono. Sin embargo -- cuando el sonido que es medido llega al micrófono desde una dirección definida las lecturas dependerán del ángulo de incidencia; entonces las características direccionales del micrófono y del medio ambiente deben ser tomadas en consideración.

En muchos casos una medición del nivel de presión del sonido no da suficiente información para el problema en mano. Entonces el ruido debe ser analizado para determinar su distribución espectral o la frecuencia de las componentes importantes. Los analizadores de este propósito pueden ser divididos en dos clases. Los primeros contienen filtros eléctricos ajustables o filtros que dividan el espectro de audio en series de octavas, media octava, o un tercio de octava. Los segundos usados para aplicaciones más especializadas, con teniendo analizadores ajustables en bandas estrechas los cuales admiten mediciones más exactas de la frecuencia y del nivel de componentes individuales del sonido. Los analizadores son generalmente operados en conjunción con medidores del nivel de sonido y pueden ser operados manual o automáticamente.

Cuando es inconveniente o impráctico hacer todos los análisis deseados de un ruido en un lugar, el ruido puede ser grabado en cinta magnética y analizado más tarde con alguno de los varios tipos de analizadores disponibles. La grabación en cinta magnética también provee una grabación permanente del ruido la cual puede ser escuchada más tarde para evaluación auditiva o sujeta a posteriores tipos de análisis.

A) Mediciones del nivel de presión del sonido.

El nivel de presión del sonido esta relacionada a la presión del sonido mediante la siguiente ecuación:

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} = 20 \log_{10} \frac{p}{0.0002} \text{ db}$$

donde p es la presión del sonido rms en microbars (dinas por cm^2) y p_0 es el valor rms de la presión de referencia, la cual es 0.0002 microbar. Las mediciones del nivel de presión del sonido son usualmente obtenidas de lecturas de un medidor del nivel de sonido, aunque otras combinaciones de micrófonos calibrados, amplificadores, y otros instrumentos de medición son algunas veces usadas, como ya se indico anteriormente.

- Datos de medición del nivel del sonido que deben ser anotados:

- a) Fuente de ruido que es medida, incluyendo información estadística pertinente.
- b) Una descripción del medio donde la fuente esta localizada, incluyendo la posición de la fuente.
- c) Condiciones de operación para las cuales fueron hechas las mediciones.
- d) Dato metereológico pertinente, si importa.
- e) Localización del micrófono, incluyendo ángulo de orientación del micrófono con respecto a la fuente.
- f) Equipo usado para hacer las mediciones: nombre, tipo, - marca y número de serie.
- g) Descripción de ruidos de fondo y sus fuentes.
- h) Correcciones aplicadas.

- corrección del cable del micrófono = $20 \log \left[1 + \frac{C_1}{C_2} \right]$ db

C_1 capacitancia del cable
 C_2 capacitancia del micrófono a la temperatura particular.

- corrección de onda estacionaria: para las ondas estacionarias, mover el micrófono por abajo y adelante a lo largo de una línea recta pasando a través de la fuente de sonido. Si una serie de máximos y mínimos es observada y la diferencia entre el máximo y el mínimo es menor que 3 db, se usa el promedio aritmético del máximo y el mínimo del nivel del sonido apropiado. Si la propagación es más grande que 3 db, el nivel de sonido medio deberá ser considerado como 3 db bajo el nivel de sonido máximo.

- corrección por las características del rectificador: - las normas de ASA especifican que el medidor de nivel del sonido debe ser calibrado para leer correctamente el valor rms de una forma de onda compleja. Por lo tanto, la mayoría de los medidores de nivel del sonido utilizan, para manejar el instrumento indicador, un --

rectificador el cual es más lineal. La mayoría de los rectificadores en general no usan diseños verdaderos - del promedio, la diferencia es del orden de 0.8 db; por lo que una corrección de 0.8 db debe ser incluida en las mediciones del nivel del sonido.

i) Redes pesadas.

j) Los datos obtenidos junto con los rangos de variación, - desviación estandar, o una más completa descripción es estadística.

k) Velocidad del instrumento indicador.

- velocidad rápida: esta velocidad es tal que el instrumento indicador alcanza su lectura final en aproximadamente 0.2 seg. y es inapropiado para medir pulsos de sonido cortos.

- velocidad lenta: muchos de los medidores de sonido también tienen un medidor de velocidad lenta, la acción retardada de la cual proveen un efecto promedio es útil en medición de sonidos de carácter continuo esencialmente pero varía en amplitud. Para un pulso de ruido de 0.5 seg. de duración tal medidor leéa 2 a 6 db inferior. No es satisfactorio para mediciones de sonidos intermitentes.

B) Mediciones con un Analizador del Sonido.

El tipo más común de analizador es el filtro paso-banda, el cual es útil en numerosas formas. El análisis de octavas de banda es el más simple y el más común, y requiere de un mínimo de tiempo, un analizador de este tipo incluye una serie de bandas de una octava en el rango de 75 a 4800 cps, una banda que contiene todas las frecuencias abajo de 75 cps., y otra para aquellas arriba de 4800 cps. Es necesario ajustar la sensibilidad del analizador de tal forma que cuando los filtros esten fuera del circuito la lectura sobre todos los sonidos sea la misma como en el medidor de nivel de los sonidos.

- Datos del análisis del sonido que deben ser anotados: en adición a los datos que normalmente son anotados en mediciones del nivel del sonido, los siguientes deben ser anotados cuando se hace un análisis del sonido:

a) Corrección aplicada en decibelios para cada banda de frecuencia, o para cada frecuencia.

- b) Descripción y características del equipo de análisis, incluyendo nivel de grabación y cinta de grabación.
- c) Una gráfica correcta de las mediciones.

C) Mediciones de la Potencia del Sonido.

Los siguientes métodos son usados en la medición de la producción total de potencia del sonido de una fuente:

- a) Método de campo libre.

Las mediciones de presión del sonido son hechas en un campo libre a una distancia fija de la fuente en varias direcciones angulares. De estos datos uno puede determinar la potencia que fluye en varias direcciones angulares desde la fuente, integrando sobre todos los ángulos, la potencia total es obtenida.

El nivel de potencia del sonido en decibeles (re 1 picowatt) de una fuente simple (una que radia uniformemente en todas direcciones) esta dada por

$$L_w = L_p + 20 \log_{10} r + 0.6 \text{ dbp}$$

donde: L_p es el nivel de presión del sonido a una distancia de r pies de la fuente.

Si la distancia r es medida en metros, entonces el nivel de potencia del sonido en db esta dado por:

$$L_w = L_p + 20 \log_{10} r + 10.9 \text{ dbp}$$

Estas formulas pueden ser usadas para determinar la potencia del sonido W de una fuente puesto que la potencia del sonido esta relacionada al nivel de potencia del sonido por:

$$\begin{aligned} L_w &= 10 \log_{10} W / 10^{-12} \text{ dbp} \\ &= 120 + 10 \log_{10} W \text{ dbp} \end{aligned}$$

donde L_w es el nivel de potencia del sonido expresado en decibeles re 10^{-12} watts (1 picowatt) y W es la potencia de la fuente en watts.

Cuando la fuente es direccional, su potencia total puede ser calculada convenientemente de mediciones del nivel de presión del sonido en un arreglo de puntos localizados sobre una esfera imaginaria alrededor de la fuente. De estas mediciones es posible computar un nivel de presión del sonido "promedio" el cual existiría si la fuente actual fuera reemplazada por una fuente puntual de igual potencia. Entonces la potencia radiada puede ser computada de la relación de la potencia promedio:

$$L_w = \bar{L}_p + 10 \log_{10} r + 0.6 \quad \text{dbp}$$

donde \bar{L}_p es el promedio del nivel de presión del sonido de una fuente a una distancia de r pies.

Para la más grande exactitud con una fuente altamente directiva, un arreglo de 20 puntos es recomendado. Las posiciones de los 20 puntos están dadas en la tabla 2.

El promedio del nivel de presión del sonido puede ser computado de mediciones hechas en un arreglo de puntos de la siguiente manera: cada medición de nivel de presión del sonido corresponde a un valor de potencia por unidad de área fluyendo a través de una esfera imaginaria. Por lo tanto para obtener el promedio de potencia por unidad de área, y de aquí el promedio de nivel de presión del sonido sobre la superficie de la esfera:

- (1) Combine todas las lecturas de nivel sobre una potencia base por medio de la figura 20. Esto puede ser hecho combinando las lecturas en los dos primeros puntos -- por ejemplo, si cada uno tuvo una lectura de 80 db, entonces el nivel combinado de la figura 20 será de 83 db y entonces combine este nuevo valor con la lectura tomada en el tercer punto, etc.
- (2) Reste de el total obtenido de niveles combinados en (1) una "constante promedio" N la cual depende en el número de puntos en los cuales las mediciones fueron hechas.

b) Método de campo reverberante.

Mediciones de presión del sonido son hechas en un cuarto altamente reverberante cuando condiciones difusas están aproximadas. Entonces el nivel de presión del sonido es aproximadamente el mismo en cualquier lugar del cuarto (excepto muy cerca de la fuente). Puesto que el nivel de presión del sonido y la potencia total producida por la ---

Tabla 25. Posiciones coordinadas en la superficie de una unidad de esfera en terminos de coordenadas cartesianas -- (x, y, z) con el origen en la fuente, para un arreglo de 20 puntos. La constante promedio N 20.

	x	y	z
	0	0.93	0.36
	0.58	0.93	-0.36
	0.58	0.58	0.58
	0.58	-0.58	-0.58
	0.93	0.36	0
	0.36	0	0.93
	0.36	0	-0.93
	0.93	-0.36	0
	0.58	-0.58	0.58
	0.58	-0.58	-0.58
	0	-0.93	0.36
	0	-0.93	-0.36
	-0.58	-0.58	0.58
	-0.58	-0.58	-0.58
	-0.93	-0.56	0
	-0.36	0	0.93
	-0.36	0	-0.93
	-0.93	0.36	0
	-0.58	0.58	0.58
	-0.58	0.58	-0.58

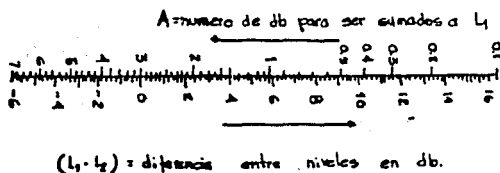


Fig. 23. Carta usada combinando los niveles de presión del sonido. La escala izquierda muestra el número de db -- A para ser sumados al nivel de presión del sonido L_1 para obtener el nivel resultante de la combinación de L_1 y L_2 .

fuente están relacionadas bajo estas condiciones, la potencia puede obtenerse de la fórmula:

$$L_w = \overline{L_p} + 10 \log_{10} a - 16.4 \quad \text{dbp}$$

donde: L_w es el nivel de potencia del sonido expresado en db re 10 watts (1 picowatt)

$\overline{L_p}$ es el promedio del nivel de presión del sonido de la fuente

a es la absorción total en el cuarto en "sabines", la cual es obtenida multiplicando el área total de cada superficie en el cuarto por su respectivo coeficiente de absorción.

Si la absorción total en el cuarto es expresada en metros cuadrados la ecuación quedará de la siguiente forma:

$$L_w = \overline{L_p} + 10 \log_{10} a - 6.1 \quad \text{dbp}$$

en estas ecuaciones se supone que la absorción del sonido por el aire es despreciable. A altas frecuencias, particularmente a ciertos valores de humedad relativa, esta aproximación es inexacta. Si los efectos de la absorción del aire se incluyen entonces se tendrá la ecuación.

$$L_w = \overline{L_p} + 10 \log_{10} (a + 4mV) - 16.4$$

donde: a es la absorción total en el cuarto en sabines

m es el coeficiente de atenuación para el aire

V es el volumen del cuarto de prueba en pies - cúbicos.

Los valores de L_w pueden ser computados para todas las bandas de frecuencia de interés por: (1) midiendo el promedio del nivel de presión del sonido $\overline{L_p}$ en el cuarto de prueba, y (2) determinando la absorción total en el cuarto de prueba.

Para obtener las condiciones difusas en el cuarto de prueba tres factores deben considerarse:

- Volumen del cuarto de prueba: el volumen mínimo que el cuarto debe tener depende de la frecuencia más baja a la cual las mediciones serán hechas.
- Absorción del cuarto de prueba: para que las condiciones difusas prevalescan, la absorción en el cuarto de

prueba debe ser lo suficiente pequeña de modo que las ondas del sonido sufran muchas reflexiones antes de decaer. Esta condición se obtendrá cuando el promedio del coeficiente de absorción no sea más grande que 5 ó 6 %, en efecto, el número total de unidades de absorción en la cámara (incluyendo la absorción del aire) no debe ser más grande que cerca del 5 o el 6 % del área total de paredes del cuarto.

- Forma del cuarto de prueba: la distribución de frecuencia de los modos normales de vibración del cuarto dependerá de sus proporciones relativas. Las proporciones usadas pueden depender del volumen y del espacio útil. Las proporciones 1:1.25:1.6 ó 2:3:5 son frecuentemente usadas.

- c) Método de campo semi-reverberante: la potencia de sonido de una fuente frecuentemente debe ser medida bajo condiciones de operación las cuales no están ni en campo libre ni en condiciones reverberantes. Bajo estas circunstancias, la potencia del sonido puede ser calculada muy aproximadamente de relaciones matemáticas en términos de mediciones de la presión del sonido en el cuarto generada por la fuente; una más exacta determinación puede ser hecha si el cuarto es "calibrado" por medio de otra fuente cuya potencia total ha sido previamente medida exactamente por el método de campo libre. Este método no es tan exacto como los dos anteriores.

7. Efectos psicológicos y fisiológicos del ruido.

El ruido es causa de interferencia en una gran parte de actividades como el estudio, el trabajo, el sueño y la recreación. También es causa de esfuerzo y fatiga, disminuye el apetito y produce dolor de cabeza. El ruido de alta intensidad tiene un efecto acumulativo adverso sobre el mecanismo de audición humana, que puede llegar a producir sordeza temporal o permanente. Psicológicamente, produce efectos adversos en la productividad de los trabajadores, disminuye su eficiencia y aumenta la posibilidad para cometer errores producidos por la distracción. Los ruidos producidos por las máquinas les causan desgastes y daños.

INTRODUCCION AL FUNCIONAMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS MUSICALES

1. La Música.

Es una sensación compleja proveniente de una sucesión o combinación agradable de diferentes tonos, y el ordenamiento de tales tonos para formar una estructura de melodía, armonía y ritmo aceptables. Es una experiencia altamente subjetiva debido a que el juicio del oyente es el único criterio para su valoración intrínseca. La música sigue sus propias leyes y tiene su propio lenguaje, el cual no es fácilmente traducible en términos físicos.











El tono de un sonido complejo (nota) queda determinado por la frecuencia del mismo o por la frecuencia fundamental en el caso de que no sea puro. La frecuencia fundamental correspondiente al tono más grave de una voz humana que canta es, aproximadamente de 60 Hz, mientras que el tono más agudo es alrededor de 1,300 Hz. La mayor parte de los cantantes puede manejar unas 20 notas.

El alcance de tonos para los instrumentos musicales es mucho mayor que para la voz humana. La frecuencia correspondiente al tono más bajo que el oído reconoce como sonido es, aproximadamente de 30 Hz, mientras que el tono más alto es alrededor de 4,186 Hz. En los instrumentos de orquesta la frecuencia más baja es producida por el arpa (32 Hz) y la más alta por el flautín (3,729 Hz).

La denominación de tono patrón concuerda con la Fig. 1, C medio (262 Hz) que en el piano se llama c_4 . Esto permite que la C más baja del piano sea c_1 . Cuando A medio (a_4) es tal que corresponde a una frecuencia de 440 Hz, entonces c_4 viene a ser 261.63 Hz.

Una orquesta sinfónica, generalmente, ubica sus violines, violas, cellos y arpas al frente, y los instrumentos de viento en la parte posterior junto con los instrumentos de metales y los tambores.

El lugar para la música se compone de 5 líneas horizontales, contadas de abajo hacia arriba, llamada pentagrama sobre el cual se escriben las notas musicales. El grado de un tono se indica por las siguientes notas:

		Negra o Cuarto	que dura 1 tiempo (seg).
		Blanca o Mitad	que dura 2 tiempos
		Redonda o Unidad	que dura 4 tiempos
		Corchea u Octavo	que dura 8 tiempos
		Doble Corchea	que dura 16 tiempos

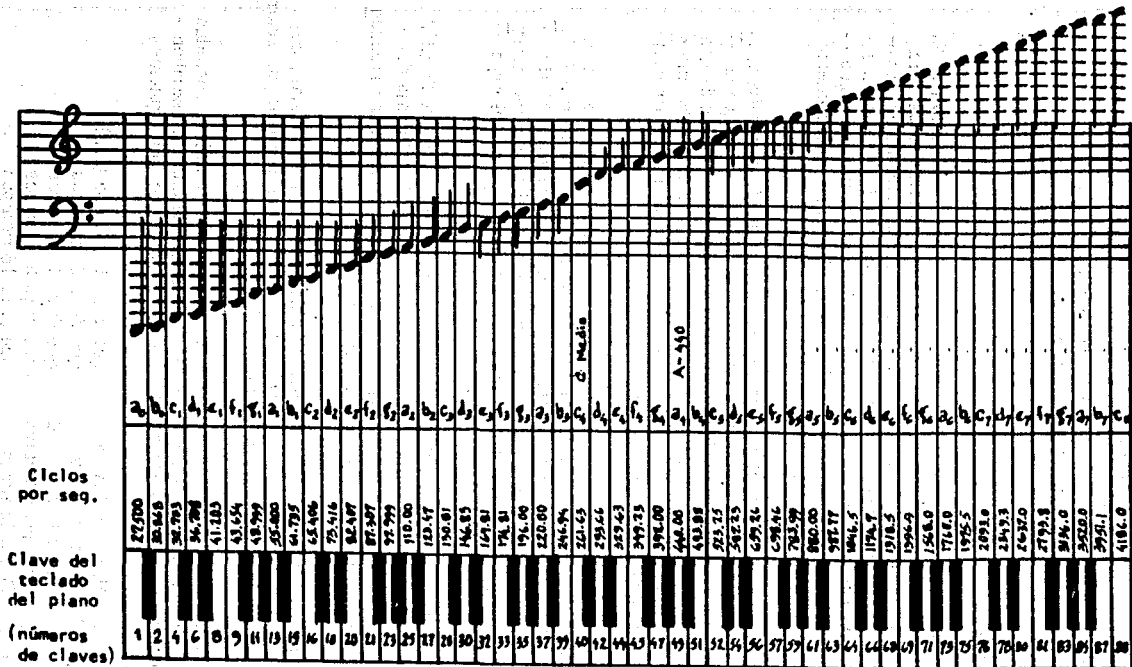


Figura 1



Triple Corchea que dura 32 tiempos
 Cuádruple Corchea que dura 64 tiempos

Para iniciar todo pentagrama se utilizan las llamadas llaves o claves - que son 2:



Llave de Sol, puesta en el 2o. renglón.
 Llave de Fa, puesta en el 4o. renglón.

En la figura 2 se aprecia el pentagrama, la llave de Sol y la relación entre las notas:

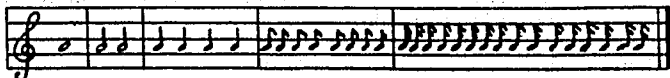
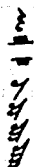


Figura 2

Existen en la música otros símbolos, a saber:



Silencio de negra	que dura 1 tiempo
Silencio de blanca	que dura 2 tiempos
Silencio de redonda	que dura 4 tiempos
Silencio de octava	que dura 8 tiempos
Silencio de dieciseisavo	que dura 16 tiempos
Silencio de treintaidsavo	que dura 32 tiempos
Silencio de sesentaicuatroavo	que dura 64 tiempos

La adición de un punto a la derecha de las notas, les aumenta la mitad de duración de tiempo:

$o. = o + \cdot$	$\text{J.} = \text{J} + \text{J}$
$\text{d.} = \text{d} + \text{d}$	$\text{q.} = \text{q} + \text{q}$
$\text{e.} = \text{e} + \text{e}$	$\text{a.} = \text{a} + \text{a}$

Lo mismo sucede con los silencios.

El compás representa como un quebrado; los compases más comunes son: 2/4, 3/4, 4/4 y 6/4, en donde el numerador indica el número de notas que entran en cada compás y el denominador, la figura de esas notas.

Las figuras 3 y 4 muestran las notas y el tiempo para un compás de - 2/4 y 3/4, respectivamente:

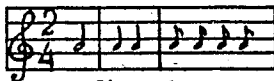


Figura 3

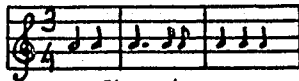


Figura 4

Aparte de los símbolos ya vistos, existen otros más:



Barra de compás que divide un compás de otro.



Barra final que indica que el trozo termina.



Barra punteada que indica que el trozo se repite.



Calderón, indica que la nota o silencio que lo lleva encima dura $1/2$ tiempo más.



Ligadura, se coloca entre notas del mismo nombre para evitar la repetición.

La figura 5 muestra la explicación de esto:

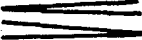



Figura 5

Para indicar la rapidez de un movimiento, es decir, para saber si el movimiento es lento, rápido o mediano, se utilizan las siguientes palabras:

Largo	= Muy lento o muy despacio.
Andante	= Moderadamente lento o despacio.
Moderate	= A velocidad media.
Allegro	= Moderadamente rápido.
Vivo	= Rápido.
Presto	= Muy rápido.

Para expresar la intensidad de un sonido, se emplean las siguientes palabras:

Pianisísimo (ppp)	= Tan suave como sea posible.
Pianísimo (pp)	= Muy suave.
Piano (p)	= Suave.
Mezzo piano (mp)	= Medio suave.
Mezzo forte (mf)	= Medio fuerte.
Forte (f)	= Fuerte.
Fortísimo (ff)	= Muy fuerte.
Fortisísimo (fff)	= Tan fuerte como sea posible
	= Cantar poco a poco más fuerte.
	= Cantar poco a poco más suave.

Finalmente, se emplean 2 símbolos más:

Sostenido, sube la nota $1/2$ tono de la nota anterior.

b Bemol, baja la nota $1/2$ tono de la nota siguiente.

La figura 6 muestra un teclado de piano, donde se muestra la relación que existe entre las notas bien lleven el símbolo # o b.

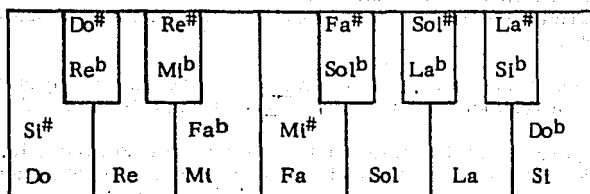


Figura 6

En la figura 7 se muestra el nombre de cada nota, de acuerdo a la posición en el pentagrama, así como su clave y frecuencia.

do	re	mi	fa	sol	la	si	do
c ₄	d ₄	e ₄	f ₄	g ₄	a ₄	b ₄	c ₅
261	293	329	349	392	440	493	523

do	re	mi	fa	sol	la	si	do
c ₃	d ₃	e ₃	f ₃	g ₃	a ₃	b ₃	c ₄
130	146	162	174	196	220	246	261

Figura 7

2. Intervalos.

Es la diferencia de frecuencias entre una nota y otra.

Por ejemplo, se dice que una nota está una octava más alta que otra - cuando su frecuencia es el doble de la frecuencia de la nota del mismo nombre perteneciente a la escala anterior; así, 200 Hz es la octava de 100 Hz, etc.:

La octava es el intervalo de altura entre 2 sonidos puros, cuyas frecuencias están en relación de 2 a 1 y se encuentra en todas las escalas.

El sonido puro, es decir, desprovisto de armónicos no existe. Los sonidos reales siempre van acompañados de cierto número de armónicos. Los armónicos de un sonido son aquellos cuyo número de vibraciones son el duplo, triplo, etc. del número de vibraciones de aquel, y se llaman, respectivamente, armónico de orden 2, de orden 3, etc.

La figura 8 muestra las formas de onda de las vibraciones de la 1a. y 2a. armónica y de ambas combinadas de un sonido cualquiera.

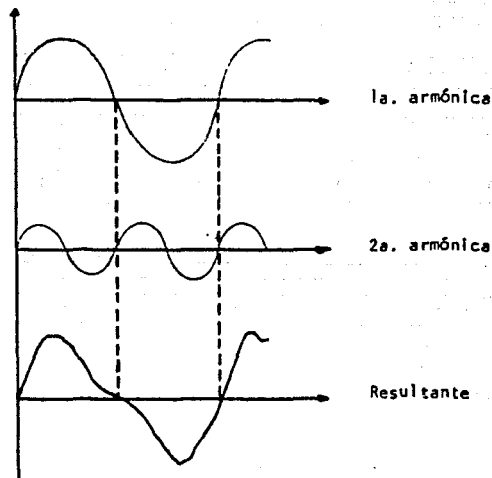


Figura 8

Generalmente, los intervalos están divididos en dos grupos:

- a) **Intervalos consonantes.** Son aquellos que producen un sentido de satisfacción estética y física, llamados mejores o suaves y que poseen razones de frecuencia entre la fundamental de dos tonos, expresables en números enteros pequeños.
- b) **Intervalos disonantes.** Son los considerados desagradables al oído, llamados burdos o asperos y que poseen razones de frecuencia que no son números enteros pequeños.

La diferencia de altura o intervalo de 2 sonidos es:

$$\text{Intervalo} = K \log \frac{f_2}{f_1}$$

Dando diversos valores a K, se obtienen las distintas unidades del intervalo. Si $K = 1/\log 2$, se obtiene la Octava.

El número de octavas es:

$$\frac{1}{\log 2} \times \log \frac{f_2}{f_1}$$

Si $f_2 = 2 f_1$, entonces:

$$\text{Intervalo} = \frac{1}{\log 2} \times \log 2 = 1$$

El número de octavas que percibe el oído humano es:

$$\# \text{ octavas} = \frac{1}{\log 2} \times \log \frac{20,000}{20} = 10$$

Ya que $f_2 = 20,000$ c/s y $f_1 = 20$ c/s son los límites de frecuencia audibles.

Si $K = 12/\log 2$, se obtiene un submúltiplo de la octava, llamado Semitono Medio.

El número de Semitonos Medios audibles es:

$$\# \text{ Semitonos Medios} = \frac{12}{\log 2} \times \log \frac{20,000}{20} = 120$$

En la siguiente tabla se observa los intervalos llamados perfectos, mayores, menores, disminuidos o aumentados; en donde, al intervalo de la octava se llama así porque hay 8 intervalos en esta escala entre el primero y el segundo miembro de la octava; la quinta es denominada así porque cubre 5 notas; la cuarta, 4 notas, etc.

Distancia Entre Notas	Nombre del Intervalo	Relación entre Frecuencias
---	Unísono	1:1
c ₄ -C#	Semitono Mayor	15:16
D - E	Tono completo menor	9:10
C - D	Tono Completo Mayor	8:9
C - E _b	Tercera Menor	5:6
C - E	Tercera Mayor	4:5
C - F	Cuarta Perfecta	3:4
C - F#	Cuarta Aumentada	32:45
C - G _b	Cuarta Disminuida	45:64
C - G	Quinta Perfecta	2:3
C - A _b	Sexta Menor	5:8
C - A	Sexta Mayor	3:5
C - B#	Séptima Menor Aumentada	4:7
C - B _{bb}	Séptima Menor Disminuida	9:16
C - B _b	Séptima Menor	8:15
c ₄ -c ₅	Octava	1:2

Se debe notar que, cuando los intervalos perfectos aumentan o disminuyen una cantidad llamada 1/2 grado en la escala diatónica, se llaman aumentados o disminuidos, respectivamente.

3. Escala

Es la sucesión de sonidos o notas que se utilizan en música. Las notas reciben los nombres de: Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si, en orden creciente de frecuencias. Terminada una escala sigue otra, cuyas notas llevan los mismos nombres pero son más agudas que las de la escala anterior. Además de las 7 notas enumeradas, existen otras 5 (negras) intercaladas en el intervalo de una octava como se ven en la Fig.1. -- Existen 3 tipos de escalas:

- a) Escala Mayor Justa. Es aquella en que ciertas combinaciones de 3 tonos, llamadas: triada mayor, son agradables y que se representan por las letras: CEG, FAC y GBD. Las frecuencias fundamentales de las triadas conservan las relaciones numéricas de 4:5:6. Así:

C	D	E	F	G	A	B	2C	2D
4		5		6				
			4		5		6	
				4		5		6

$$E/C = 5/4 \text{ o } E = 5/4 \times C$$

$$G/C = 6/4 \text{ o } G = 6/4 = 3/2 \times C$$

$$F/2C = 4/6, F/1C = 4/3 \text{ y } F = 4/3 \times C$$

$$A/2C = 5/6, A/1C = 5/3 \text{ y } A = 5/3 \times C$$

$$B/G = 5/4, B = 5/4 \times G \text{ pero } G = 3/2C, \text{ de este modo}$$

$$B = 5/4 \times 3C/2 = 15/8C$$

$$2D/G = 6/4, D/G = 3/4 \text{ o } D = 3G/4 \text{ pero } G = 3/2C, \text{ de este modo}$$

$$D = 3/4 \times 3/2C = 9/8C$$

De esta forma para C = 1, cada tono subrayado comparado con C es:

C	D	E	F	G	A	B	C
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1
1.000	1.125	1.250	1.333	1.500	1.667	1.875	2.000

Estas relaciones de frecuencia se convierten en las notas de la escala justa en C Mayor. Si se hallan las razones de frecuencia entre las notas sucesivas de la escala, se obtiene:

Nota	Intervalo	Razon	Cociente	Decimal
C-D	Tono Entero Mayor	9/8:1	9/8	1.125
D-E	Tono Entero Menor	5/4:9/8	10/9	1.111
E-F	Semitono Mayor	4/3:5/4	16/15	1.067
F-G	Tono Entero Mayor	3/2:4/3	9/8	1.125
G-A	Tono Entero Menor	5/3:3/2	10/9	1.111
A-B	Tono Entero Mayor	15/8:5/3	9/8	1.125
B-C	Semitono Mayor	2:15/8	16/15	1.067

Si se desea obtener el intervalo entre dos notas D y F se toma el intervalo entre D y E = 1.111 y se multiplica por el intervalo entre E y F = 1.067, con lo cual el intervalo D - F = 1.111 X 1.067 = 1.185, mientras que el intervalo D - G = 1.111 X 1.067 X 1.125 = 1.335

Para comenzar la escala mayor en otra nota distinta a C, se comienza con la nota deseada y luego se multiplica la frecuencia de su vibración fundamental por el cociente del primer intervalo; por ejemplo, 9/8 para obtener la próxima nota, luego por 10/9 para la siguiente, luego por 16/15 y, de esa manera hasta que se llegue a la octava.

En el siguiente cuadro se comparan las frecuencias de vibración de 3 escalas perfectas mayores, utilizando C = 264 Hz.

	C Mayor	D Mayor	E Mayor
c ₄	264		
D	297	297	
E	330	334+	330
F	352	371+	372
G	396	396	413+
A	440	445+	440
B	495	495	495
c ₅	528	557+	550+
d ₅	594	594	618+
e ₅	658	668+	658

Las notas señaladas con el signo + deben ser agregadas a la escala C Mayor para permitir ejecutar la transposición deseada.

B) Escala Diatónica Menor.

Es aquella que se construye sobre la triada con razones de frecuencia fundamental de 10:12:15 y cuyos intervalos son: $9/8 = 1.125$, $10/9 = 1.111$ y $16/15 = 1.067$. Así:

c ₄	D	E	F	G	A	B	c ₅	d ₅
10		12		15				
			10		12		15	
				10		12		15

La siguiente tabla muestra los incrementos de C mayor con respecto a la escala de C Menor, en donde los intervalos $9/8$, $10/9$ y $16/15$ suceden en orden diferente.

Notación	C. Mayor	C. Menor	Intervalos Multiplicadores para C Mayor
c ₄	264	264 X 1.125 (9/8)	1.125 (9/8)
D	297	297 X 1.067 (16/15)	1.111 (10/9)
E	330	317+ X 1.111 (10/9)	1.067 (16/15)
F	352	352 X 1.125 (9/8)	1.125 (9/8)
G	396	396 X 1.067 (16/15)	1.111 (10/9)
A	440	422+ X 1.125 (9/8)	1.125 (9/8)

B	495	475+ X 1.111 (10/9)	1.067 (16/15)
C ₅	528	528	

Las frecuencias señaladas con el signo + son notas nuevas que se deben agregar a la escala menor justa para obtener la trasposición deseada.

C) Escala Temperada o Templada.

Es la que se forma al agregar 5 nuevas notas, llamadas sostenidos o bemoles, a la escala exacta original, de forma que la octava es dividida en 12 notas y no en 8. Los 12 intervalos son espaciados en forma igual comenzando con $c_4 = 264$ Hz, y en la cual, el intervalo para una sola nota es 1.059.

Matemáticamente, esto se reduce a saber ¿cómo se puede tomar un número de manera que al multiplicarlo sucesivamente 12 veces con la misma fracción se duplique a sí mismo (la octava); o ¿qué número multiplicado por sí mismo 12 veces es igual a dos ($n \times n \times \dots = 2$ ó $n^{12} = 2$)? Esto da:

$$n = (2)^{1/12} = 1.059$$

Esta nueva escala posee un tono entero mayor y un semitono y elimina el tono entero menor. Luego la sucesión de los intervalos en la escala mayor son dos tonos enteros mayores seguidos por el semitono, luego tres tonos enteros mayores seguidos por un semitono. La sucesión de los intervalos de la escala menor son: tonos enteros, semitono, tonos enteros, semitono, 1 1/2 tonos enteros, semitono, a la cual se le llama Armónico Menor.

Con esta escala, es posible que instrumentos con entonación fija (piano y clarinete por ejemplo), puedan tocar en un concierto con instrumentos de entonación no fija (como violín o la voz humana).

La siguiente tabla muestra la comparación del intervalo y la frecuencia de la escala justa con la temperada.

Notación	Frecuencia Justa	Intervalo de una nota justa	Intervalo Justo Total	Intervalo Temperado Total	Frecuencia Templada
C	264	1.000	----	1.000	262
C#, D _b	---	----	----	1.059	277

D	297	1.125	1.125	1.122	294
D#, E _b	---	---	---	1.189	311
E	330	1.111	1.250	1.260	330
F	352	1.067	1.333	1.335	349
F#, G _b	---	---	---	1.414	370
G	396	1.125	1.500	1.498	392
G#, A _b	---	---	---	1.587	415
A	440	1.111	1.667	1.682	440
A#, B _b	---	---	---	1.782	466
B	495	1.125	1.875	1.888	494
C	528	1.067	2.000	2.000	528

El siguiente cuadro muestra los tipos de instrumentos musicales:

A. INSTRUMENTOS DE CUERDAS

1. Cuerdas punteadas:

- | | | | |
|----|--------|----|-----------|
| a. | Lira | e. | Guitarra |
| b. | Laúd | f. | Mandolina |
| c. | Arpa | g. | Banjo |
| d. | Cítara | h. | Balalaika |

2. Cuerdas frotadas o arqueadas:

- | | | | |
|----|--------|----|-------------|
| a. | Violín | c. | Violoncello |
| b. | Viola | d. | Contrabajo |

3. Cuerdas golpeadas o percutidas:

- | | | | |
|----|-------|----|------------------------|
| a. | Piano | b. | Clavecín y Clavicordio |
|----|-------|----|------------------------|

B. INSTRUMENTOS DE VIENTO:

1. Tubos abiertos:

- | | | | |
|----|---------------------------|----|---------|
| a. | Silbato | e. | Ocarina |
| b. | Tubo de órgano | f. | Flauta |
| c. | Flagelot o flauta de caña | g. | Piccolo |
| d. | Recorder | h. | Fife |

2. Tubos de caña simple:

- | | | | |
|----|------------------|----|-----------------|
| a. | Tubo para órgano | e. | Saxofón |
| b. | Acordión | f. | Gaita |
| c. | Armónica | g. | Flauta de pan |
| d. | Clarinete | h. | Corno de Basset |

3. Tubos de caña doble:
- | | |
|-----------------|----------------|
| a. Oboe | d. Fagot |
| b. Corno inglés | e. Contrafagot |
| c. Bassoon | f. Sarrosófano |
4. Organo (combinación de estos tubos)
5. Tubos de embocadura:
- | | |
|------------------|---------------------|
| a. Bugle | e. Trombón |
| b. Trompeta | f. Tuba u oficleide |
| c. Corno francés | g. Clarón |
| d. Corneta | h. Cornetín |
6. Voz Humana (cuerda vocal)

C. INSTRUMENTOS DE PERCUSION.

1. Barras metálicas y de madera:
- | | |
|-------------|--------------|
| a. Diapasón | d. Triángulo |
| b. Xilófono | e. Timbre |
| c. Marimba | f. Celesta |
2. Placas metálicas y de madera:
- | | |
|-------------|---------------------------|
| a. Campana | c. Platillos |
| b. Carrilón | d. Castañuelas o crótales |
3. Membranas apergaminadas y templadas:
- | | |
|-------------------|--------------------|
| a. Timbales | d. Pandero |
| b. Tamborín | e. Bombo |
| c. Tambor militar | f. Gongu o tam-tam |

4. Instrumentos de cuerda.

La ecuación que representa la frecuencia de una cuerda estirada en vibración es:

$$f = (C/Ld) (F/\rho)^{1/2}$$

donde:

- C = constante de proporcionalidad.
 L = longitud de la cuerda.
 d = diámetro de la cuerda.

F = fuerza de alargamiento.
 ρ = densidad de la cuerda.

Esta ecuación puede ser determinada experimentalmente o mediante análisis, lográndose a obtener:

$$f = (1/Ld) (F/\rho)^{1/2}$$

Se puede obtener una relación equivalente teniendo en cuenta que, cuando una cuerda vibra, presenta un nodo en cada extremo y en general.

$$L = (n/2) \lambda$$

donde:

λ = longitud de onda.

n = número entero que se refiere al modo de vibración: 1 para la fundamental, 2 para el 2o. armónico, etc.

como:

$$f = V/\lambda$$

donde:

V = velocidad de la onda.

entonces:

$$f = (n/2) V/L$$

La velocidad de la onda en una cuerda estirada está dada por:

$$(F/\mu)^{1/2}$$

donde:

μ = masa de la cuerda por unidad de longitud.

La figura 9 muestra una cuerda desplazada en diferentes puntos (5 modos de vibración).

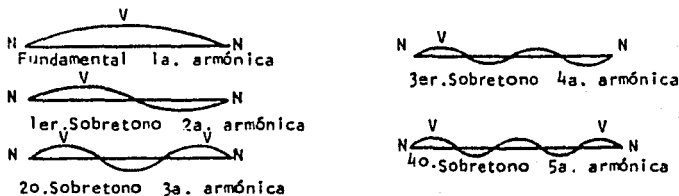


Figura 9

En los instrumentos de cuerda se pueden utilizar todas las variables anteriores para cambiar su frecuencia, y por lo tanto, su tono. Por ejemplo, se aumenta la masa por unidad de longitud de la cuerda de violín enrollando una cuerda de tripa con un alambre fino. La tensión se varía con las clavijas y la longitud con la presión de los dedos.

En los instrumentos de la familia del violín las cuerdas son de igual longitud y en las de piano no lo son, sino que varía el diámetro al avanzar de una cuerda a otra. En el arpa se utilizan pedales que enganchan las cuerdas y mediante su estiramiento se eleva su tono. Los instrumentos como el banjo, guitarra y mandolina están provistos de surcos ligados a diferentes partes del mango.

De los párrafos anteriores se concluye que, mientras una cuerda es más larga, gruesa, pesada y débilmente tendida, sus vibraciones son más lentas y por lo tanto, el sonido es más grave; en tanto que una cuerda mientras es más corta, fina, delgada y fuertemente tendida, sus vibraciones son más rápidas y por lo tanto, el sonido es más agudo.

Otras variables que afectan la afinación de los instrumentos son la humedad y la temperatura. La elevada humedad tiende a contraer la mayoría de los materiales empleados en la construcción de los instrumentos como son la madera y cuerdas de tripa, lo cual hace que el tono se eleve considerablemente. Las cuerdas de metal aumentan su longitud con temperaturas crecientes y este efecto produce una disminución en el tono.

5. Tipos de vibración de una cuerda.

Una cuerda puede ser puesta en vibración de 3 formas diferentes:

- a) **Cuerdas Pulsadas.** Si se pulsa la cuerda con un objeto fino y agudo, se produce en la cuerda una pequeña quebradura que genera ondas. Cuando se produce un chillido, es debido al número de sobretonos. Por otro lado, si se pulsa la cuerda con el dedo (no con la uña) la onda resultante será menos retorcida y formará una onda compuesta de pocas componentes elevadas, por ello, el tono será menos brillante y chillón.

En la fig. 10 se observan 2 tipos de cuerdas pulsadas por un objeto agudo: (a) ondas que se desplazan en 2 direcciones para el banjo; (b) ondas de desplazamiento compuesto para el arpa, en las cuales se observa un gran número de sobretonos muy agudos.

que vibran con el mismo período del arco, pero con una amplitud del doble.
 Cuando una cuerda es tocada por un arco que se mueve hacia adelante, la parte de la cuerda que está en contacto con el arco se mueve hacia adelante con la misma velocidad que el arco. Si la fuerza de tensión de la cuerda es mayor que la fuerza de fricción que la arrastra, la cuerda resbala después del paso del arco, aun si éste está todavía en movimiento hacia adelante y entonces es arrastrada nuevamente, después de que la cuerda ha sobrepasado la posición de reposo.

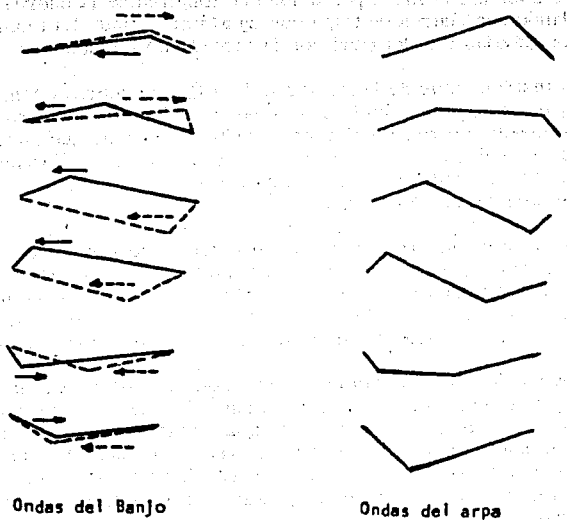


Figura 10

b) Cuerdas Arqueadas.

Cuando un arco es empujado perpendicularmente a través de la cuerda, ésta es arrastrada a la misma velocidad del arco hasta que el componente transversal de la tensión de la cuerda sea mayor que la fuerza de fricción que la arrastra. La cuerda resbala después del paso del arco, aun si éste está todavía en movimiento hacia adelante y entonces es arrastrada nuevamente, después de que la cuerda ha sobrepasado la posición de reposo.

El movimiento de la cuerda, complicada por las vibraciones de torsión y longitudinales, origina una vibración similar a la onda de dientes de

sierra, lo cual eleva el tono con un gran número de componentes superiores. Por lo general, la cuerda de metal del mismo tono posee un tono más brillante que una cuerda más gruesa de tripa.

- c) . Cuerdas Golpeadas. Cuando un martillo golpea la cuerda le provoca un desplazamiento que hace correr la onda en ambas direcciones. Estas ondas se pueden reflejar en el puente y volver al martillo antes o después que se complete el golpe. El lugar donde golpea el martillo, el hecho que el martillo sea suave o fuerte, ancho o angosto y la resistencia del mismo, sean factores que hacen que la vibración de las cuerdas son difícil de entender que la de las cuerdas pulsadas.

El lugar donde golpea el martillo, cuando la cuerda es puesta en vibración en el piano, es generalmente, de $1/7$ a $1/9$ de la longitud de la cuerda. Si se coloca el martillo cerca, pero no a $1/8$ de su longitud, refuerza al fundamental y da un fuerte tono entero. La fuerza con la cual el martillo golpea la cuerda es un factor en el número de componentes agudos. Por ejemplo: en un piano de tono g_2 , un golpe leve excita todas las componentes hasta el armónico 16, mientras que uno fuerte las eleva hasta el armónico 25.

La calidad del sonido se debe a la fuerza y número de armónicos, éstos varían con la velocidad en la cual el martillo golpea la cuerda. Cuando se golpean varias cuerdas simultáneamente y en sucesión, el intervalo de tiempo entre ellas determina la calidad del tono producido, En general, la duración de un armónico depende de su intensidad y por lo tanto, los armónicos débiles se apagan más rápido que los fuertes.

6. Instrumentos de Viento.

Se consideran 3 tipos fundamentales de tubos de viento:

- a) Tubos abiertos. Los tubos abiertos en ambos extremos pueden hacerse resonar si se coloca un diapasón vibrando a la frecuencia apropiada cerca de un extremo.

La fig. 11 muestra el modo de vibración de un tubo abierto, cuya frecuencia resonante fundamental es:

$$f_1 = \frac{c}{2l} = \frac{c}{\lambda}$$

donde:

- l = longitud del tubo,
- c = velocidad del sonido.
- λ = longitud de onda.

y la resonancia de los sobretonos es:

$$f_2 = 2f_1; \quad f_3 = 3f_1; \quad \text{etc.}$$

La relación general $\lambda = 2L/n$ da la longitud de una onda que puede haber en un tubo abierto de longitud L . El número n puede ser 1, 2, 3, etc. - para hallar la resonancia de los sobretonos (como se ve arriba).

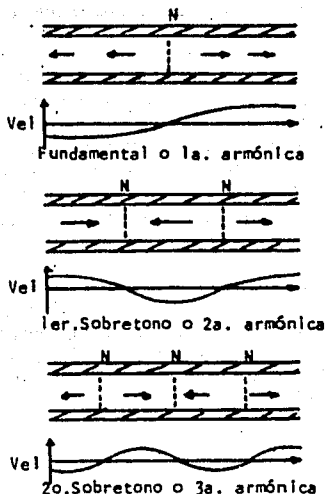


Figura 11

b) Tubos Cerrados.

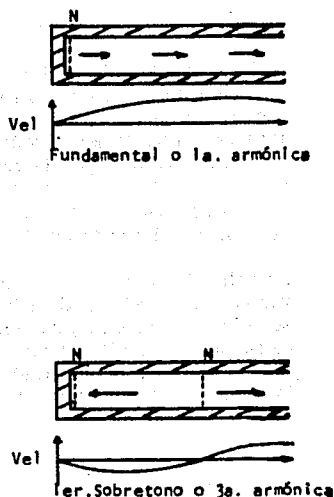


Figura 12

Estos tubos cerrados también pueden hacer se resonar, aunque la posición de los nodos es diferente al de los tubos abiertos.

La fig. 12 muestra el modo de vibración de un tubo cerrado, cuya frecuencia resonante fundamental es:

$$f_1 = \frac{c}{4l} = \frac{c}{\lambda}$$

La relación general $\lambda = 4L/n$ da la longitud de una onda que puede haber en un tubo cerrado de longitud L . Como las frecuencias correspondientes a esas longitudes están en la relación de 1, 3, 5, etc., entonces, las frecuencias de resonancia de los sobretonos son:

$$f_2 = 3f_1; \quad f_3 = 5f_1; \quad \text{etc.}$$

Los órganos poseen para su resonancia tubos (abiertos y cerrados), cuyas longitudes difieren para cada nota. En el cañón del tubo de órgano, el aire a una presión de 0.35 kg/cm^2 , llega al tubo de órgano como una lámina delgada. Esta lámina de aire, al dirigirse al labio del tubo, se rompe en remolinos y genera un sonido de tono elevado. Las variables que afectan los tonos agudos son la presión del aire, la anchura de la lámina de aire, el ángulo que forma dicha lámina con el labio superior del tubo, y la temperatura del aire.

La fig. 13 muestra la sección de un cañón de madera de un tubo.

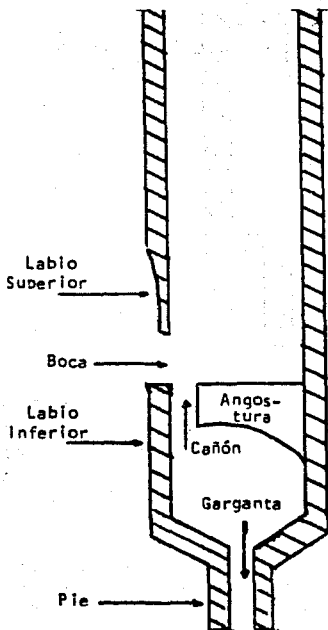


Figura 13

- c) **Tubos de Lengüeta.** En estos tubos la vibración se origina por una lengüeta de metal C que oscila frente a una abertura en un disco de metal. De este modo, una serie de golpes de aire pasa a través de la abertura.

En la figura 14 se muestra la sección de un tipo de estos tubos. El aire de la caja de viento entra por E a la caja D, a la cual se liga el extremo inferior del tubo en F. El extremo F posee una parte de sus lados planos para que se pueda separar una hendidura rectangular larga y delgada. Esta se cubre con una lengüeta de latón C. Un alambre móvil B se apoya contra la lengüeta C y proporciona un medio para afinar dicho instrumento.

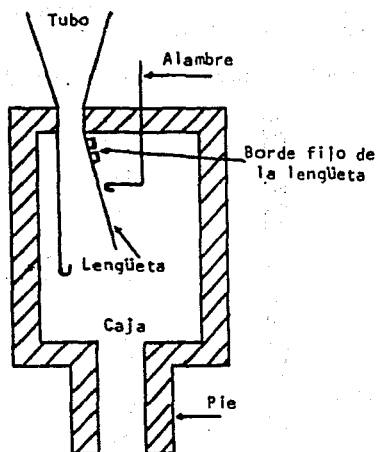


Figura 14

La curvatura de la lengüeta impide que se cierre repentinamente y le otorga un movimiento, al aire, de rotación para cerrar; este tipo de lengüeta se denomina pulsador. Cuando la lengüeta es muy flexible, como por ejemplo, la lengüeta fina del clarinete, la nota producida depende completamente de la longitud del tubo. En la práctica, los tubos de órgano poseen lengüetas y tubos de aproximadamente el mismo tono.

Se logra una gran variedad de timbres con tubos de diferente tamaño, escalas, materiales y formas, pero una variable que no puede ser cambiada es la sonoridad de los tubos.

7. Instrumentos de Percusión.

Basan su funcionamiento en la vibración producida por barras, membranas y placas circulares.

a) **Vibración de Barras.** Las barras pueden vibrar en forma longitudinal y transversal.

I. En la vibración longitudinal se presentan 2 casos:

El primero, se sujeta una barra en un extremo y en el otro se golpea, por lo cual la barra actúa como un tubo cerrado. La longitud de onda fundamental del sonido es:

$$\lambda = 4L$$

donde: L = longitud de la barra.

Para obtener la frecuencia se utiliza:

$$f = v/\lambda$$

donde: v = velocidad del sonido en la barra.

El segundo, se sujeta una barra en el centro y se golpea en un extremo, por lo cual, la barra se comporta como un tubo abierto. Su longitud de onda fundamental es:

$$\lambda = 2L$$

En la figura 15 se muestra los modos de vibración longitudinal de una barra sujeta en el centro. Las flechas indican la dirección de movimiento.

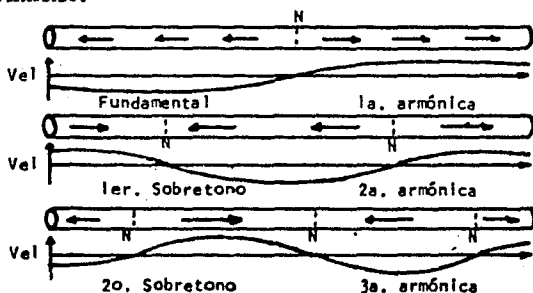


Figura 15

- II. La vibración transversal ocurre cuando una barra se fija en uno de los extremos y luego se golpea con una bola en una dirección perpendicular al eje de la barra.

Las barras musicales suspendidas y golpeadas en uno de sus extremos producen sonidos de tono elevado. Los sonidos musicales de los diapasones, campanillas, kilófonos, marimbas, etc. son producidos por este tipo de vibración.

En la figura 16 se muestra los modos de vibración transversal de: (a) barra sujeta en un extremo; (b) barra sostenida por 2 apoyos cerca de sus extremos y golpeada en el centro.

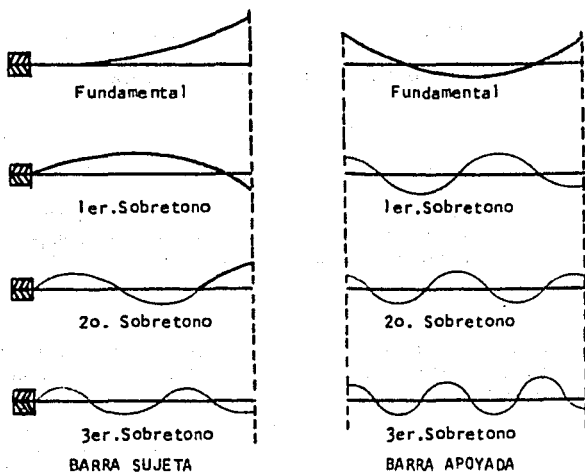


Figura 16

Si se resuelve la ecuación del movimiento para una barra sostenida en un extremo, su frecuencia para la vibración transversal será:

$$f = (\pi Ck/8L^2) (1.194^2, 2.988^2, 5^2, 7^2, \dots)$$

donde:

$C = (Y^1/2)/\rho$ = velocidad de la onda.

Y = módulo de Young.

ρ = densidad.

k = constante = $a/2$ para una barra circular de radio a , $1/12$ para una barra rectangular que tenga un grosor de t^2 .

- Para el caso de una barra sostenida en ambos extremos, la ecuación de la frecuencia es:

Y para el caso de una barra libre en ambos extremos, la ecuación de la frecuencia es:

$$f = (\pi CK/8L^2) (3.0112^2, 5^2, 7^2, 9^2, \dots)$$

En las siguientes tablas se muestra los valores calculados de frecuencia para barras sostenidas o libres.

Barra fija en un extremos

Frecuencia	Posiciones de los nodos (cm. del extremo)
f_1	0
$6.267f_1$	0, 77.4
$17.55f_1$	0, 50.0, 86.8
$34.39f_1$	0, 35.6, 64.4, 90.5

Barra libre en ambos extremos

Frecuencia	Posiciones de los nodos (cm. del extremo)
f_1	27.4, 77.6
$2.756f_1$	13.2, 50.0, 86.8
$5.404f_1$	9.4, 35.6, 64.4, 90.6
$8.933f_1$	7.3, 27.7, 50.0, 72.3, 92.7

- b) **Vibración de Membranas.** La frecuencia fundamental de una membrana flexible, uniforme, delgada y que se estira uniformemente en todas direcciones es:

$$f_1 = 2.405/2\pi a(T/\sigma)^{1/2}$$

donde:

a = radio de la membrana.

T = tensión.

σ = densidad superficial.

Los sobretonos son:

$$f_2 = 2.295f_1; \quad f_3 = 3.60f_1; \quad f_4 = 4.90f_1$$

La membrana circular posee un interés musical, ya que se utiliza en el tambor común. Al sonar, el aire se expande y comprime alternativamente. El efecto que ejerce es endurecer la cabeza del tambor y elevar, por lo tanto, el tono de la fundamental y de los sobretonos. La rigidez depende de la cantidad de aire y la tensión de la cabeza del tambor.

La figura 17 muestra los modos de vibración de una membrana circular estirada.

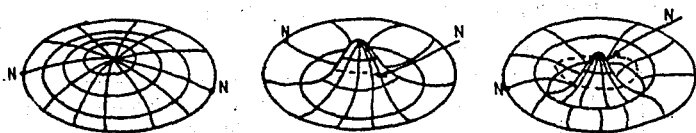


Figura 17

c) Vibración de Placas.

Se considera un vibrador con dos dimensiones principales, largo y ancho; se dividen en 2 tipos: Uno es la placa circular delgada en la cual la rigidez es la fuerza de restitución dominante, como los diafragmas para teléfonos y campanas. El otro es la membrana circular uniformemente estirada, donde la función es la fuerza dominante de restitución, como en los tambores y diafragmas para micrófonos especiales.

Las líneas nodales se forman de diferente manera, según la forma en que la placa sea excitada por el arco. Dos placas de distinto grosor, pero de la misma forma, material y tamaño, poseen frecuencias que varían inversamente al grosor de la placa.

Los modos de vibración se muestran en las conocidas figuras de Chladni o semejantes a las figuras de arriba, sólo que la frecuencia fundamental viene dada por:

$$f_1 = \frac{0.467 \cdot t}{R^2} \sqrt{\frac{Q}{\rho(1-\sigma^2)}}$$

donde:

- t = espesor de la placa.
- R = radio de la placa.
- ρ = densidad.
- σ = razón de Poisson.
- Q = módulo de Young.

y los sobretonos por:

$$f_2 = 3.91f_1; \quad f_3 = 8.75f_1$$

Se utilizan las placas para dos tipos de aparatos: los que son movidos por conductores para producir sonido, como los altavoces, y los que son puestos en movimiento, como los micrófonos.

Las campanas se consideran placas, suspendidas en su centro y curvadas hacia abajo. Los tonos de campanas de la misma forma varían en forma inversa a sus diámetros. La nota emitida por una campana es inversamente proporcional a la raíz cúbica de su peso.

CAPTULO VI

AUDICION

1. Anatomia del oído humano.

Para su estudio se divide en tres secciones: Oído Externo, Medio e Interno, ver figura 1.

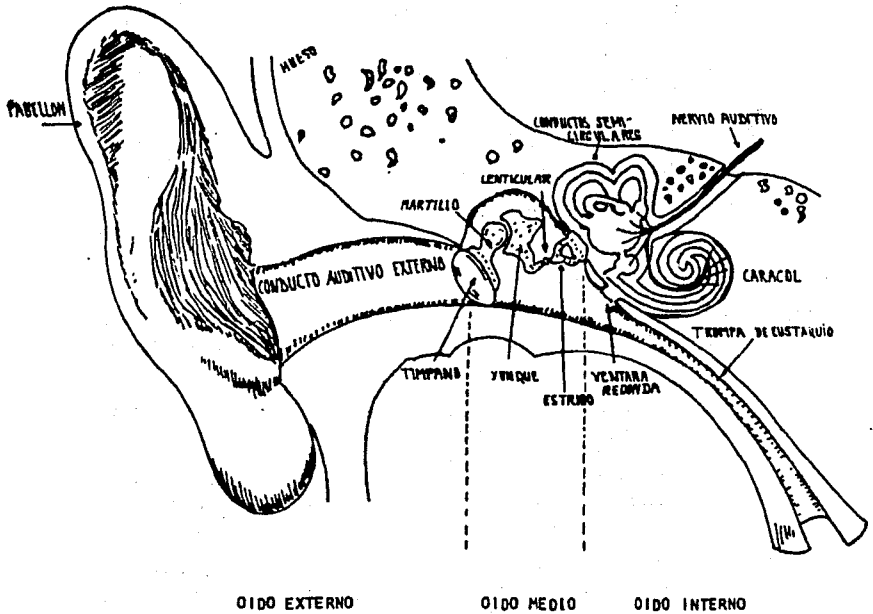
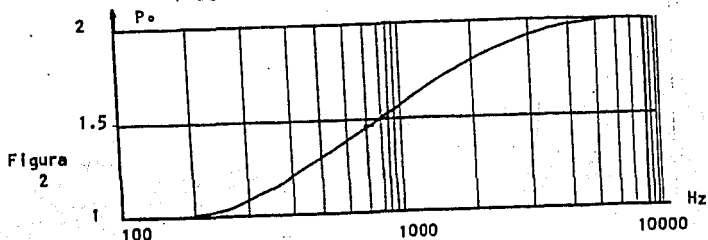


Figura 1

A) Oído Externo: Comprende el pabellón (oreja) y el conducto auditivo.

- a) Pabellón: es la parte externa del oído en forma de pantalla, cuya función es la de captar los sonidos y transmitir los después de reforzarlos, lo cual depende de la intensidad de los sonidos, la fase de las ondas y el tiempo que tarda la onda en llegar al cerebro.

La figura 2, muestra el refuerzo de la presión sonora por el pabellón auricular, (según Von Bekesy).



- b) Conducto Auditivo: Mide 2.5 cm. de longitud y 7 mm. de diámetro; su función es reforzar aún más la presión por reflexiones de las ondas a lo largo de las paredes del mismo, lo cual depende de la frecuencia del sonido.

B) Oído Medio: Está compuesto por el tímpano, la cadena ósea -- (martillo, yunque, lenticular y estribo), los músculos y las ventanas oval y redonda.

- a) Tímpano: Es el tabique que separa el conducto auditivo externo del oído medio (caja del tímpano). Está constituido por una membrana cónica, su posición es oblicua y dirigida hacia adelante; mide 10 mm. de diámetro vertical, 9 el anteroposterior, 0.1 mm. de espesor y una superficie total de 85 mm².
- b) Martillo: Va unido al tímpano por lo que puede llamarse mango, y por lo tanto, es inseparable del mismo. Su peso es de unos 2 mg.
- c) Yunque: Es un huesecito más pesado que el anterior, pesando aproximadamente 27 mg.
- d) Lenticular: Es un huesecito muy pequeño que une al yunque con el estribo.

- e) **Estribo:** Tiene un peso medio de 2.5 mg. y su superficie es de 3.2 mm².
- f) **Los músculos del martillo y del estribo reducen la amplitud de las oscilaciones y protegen al oído interno contra los sonidos intensos de baja frecuencia, lo cual mejora la audición de sonidos agudos y disminuye el efecto enmascarador de los sonidos graves.**
- g) **Ventana Oval:** La presión timpánica se transmite a la platina del estribo incrementada al pasar por la cadena ósea. Los movimientos de la platina son los que originan las vibraciones en los líquidos del oído interno, los que a su vez estimulan las células sensoriales.
- h) **Ventana Redonda:** A los movimientos de la ventana oval corresponden otros de la ventana redonda en oposición de fase con éstos y debidos a la incomprensibilidad de los líquidos.
- i) **Trompa de Eustaquio:** Mide de 3 a 4 cm. de largo y es óseo cerca de la caja timpánica y cartilaginosa después. Todo el interior de dicha trompa está recubierto por epitelio vibrátil.
- C) **Oído Interno:** Consta de el laberinto óseo y membranoso, vestíbulo óseo, canales semicirculares, cóclea o caracol y los conductos nerviosos auditivos.
- a) **Laberinto óseo:** Es el que comunica el oído medio con el interno por medio de las ventanas oval y redonda.
- b) **Laberinto membranoso:** Consiste en un saco membranoso cerrado, que en su mayor parte se adapta a los repliegues del óseo, el cual se suelda al nivel de las ventanas oval y redonda. El laberinto membranoso se encuentra lleno de un líquido llamado Endolinfa y entre los laberintos óseo y membranoso se halla otro líquido llamado Perilinfina.
- c) **Vestíbulo Óseo:** Es una cavidad de forma piramidal que en su cara externa presenta la ventana oval y en la interna el conducto auditivo interno, que contiene el nervio auditivo, y se comunica con el caracol.
- d) **Conductos Semicirculares:** Son 3 semicirculos excavados en el hueso y que en su interior contienen los conductos semicirculares membranosos los cuales se comunican con el vestíbulo óseo.

e) **Cóclea:** Es un conducto de 30 mm. de longitud enrollado sobre un eje oblicuo; su forma exterior es de una concha de caracol dividido en 2 partes llamadas Rampas. La rampa vestibular comunica con el vestíbulo óseo y la rampa timpánica comunica la cavidad subvestibular con la caja timpánica por medio de la ventana redonda.

f) **Conductos Nerviosos:** Son los nervios auditivos unidos a los canales semicirculares y a la cóclea que van dirigidos al cerebro.

2. La Cóclea.

La separación de la cóclea se consigue por medio de una membrana fibrosa, la membrana basilar, constituida por unas 24,000 fibras transversales cuya longitud varía entre los 0.15 y los 2 mm. Las 2 rampas se comunican por la parte superior o cúpula por un orificio llamado he licotrema. La lámina espiral y la membrana basilar llegan hasta unos 2 mm. de la cúpula.

La figura 3 representa el corte de la cóclea, colocando el eje vertical, la base en la parte baja y la cúpula en alto.

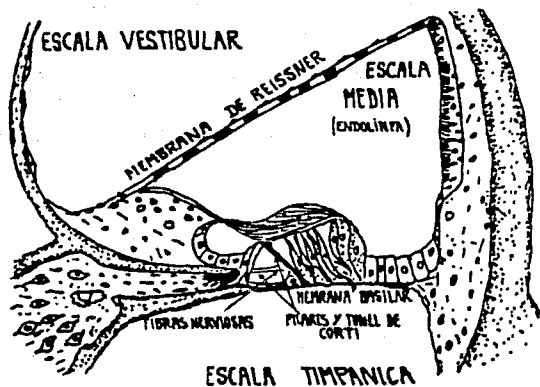


Figura 3

El canal de la cóclea presenta una pared inferior constituida por la membrana basilar, la pared periférica constituida por el ligamento espiral y la pared superior constituida por la membrana de Reissner. Estas paredes tapizadas por un epitelio cúbico, constituyen el Órgano de Corti, órgano sensorial con cilios. El órgano de Corti está cubierto por la membrana tectoria y descansa sobre las células ciliadas sensoriales. Todo este conjunto está bañado por el líquido endolinfático.

3. Sistema Nervioso Central.

Está constituido por un conglomerado de células y fibras nerviosas, cuyo elemento funcional es la neurona que está formada por un cuerpo celular con prolongaciones protoplasmáticas de 2 clases: los dendritos, por los que el impulso nervioso llega hasta la célula, y por el cilindroeje o axona, que transmite la excitación a otras neuronas o a un músculo.

Entre las neuronas hay un punto de articulación llamado sinapsis. Tres neuronas entre el órgano de Corti y las áreas auditivas corticales forman una cadena que transmite la excitación. El impulso nervioso circula por los nervios en forma de tren de oscilaciones de frecuencia limitada. El nervio responde a una excitación cuando ésta alcanza una cierta intensidad, la respuesta que se obtiene es siempre completa. El estímulo origina una despolarización de la membrana nerviosa, cuyo potencial tiene un valor determinado, llamado potencial de acción. Al aumentar la intensidad de dicho estímulo se origina un aumento de las descargas nerviosas, es decir, del número de potenciales de acción. La frecuencia de estas descargas en el hombre alcanza valores de un millar por segundo ya que la fibra nerviosa necesita un cierto tiempo de recuperación para recobrar su equilibrio.

El oído traduce las variaciones de intensidad sonora en variaciones de frecuencia de los impulsos nerviosos en cada fibra y en un aumento de las fibras en servicio. En definitiva, es el número de impulsos nerviosos que llegan al córtex por unidad de tiempo, lo que determina la intensidad de la sensación. ver fig. 4.

4. Aparatos de la Audición.

Desde el punto de vista fisiológico de la audición, el oído humano puede representarse por 3 aparatos: Aparato de Recepción, de Transmisión y de Percepción que corresponden al Oído Externo, Medio e Interno, respectivamente.

La figura 5 muestra la representación diagramática de la transmisión de las vibraciones del oído externo al oído interno.

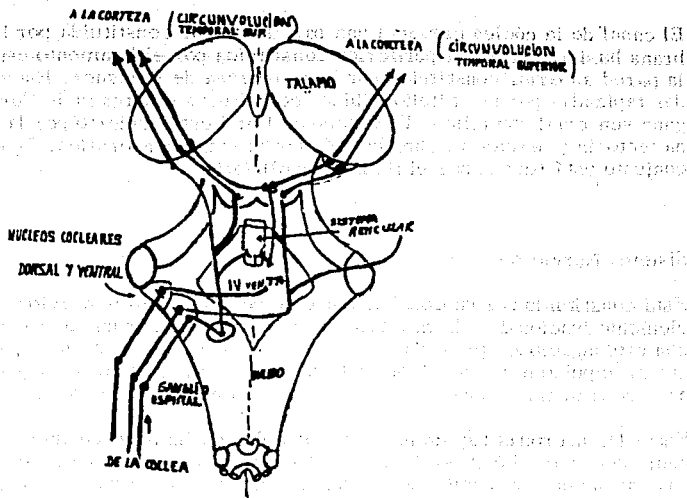


Figura 4 . DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LAS PRINCIPALES VIAS AUDITIVAS EN LA CARA DORSAL DEL TALLO CEREBRAL

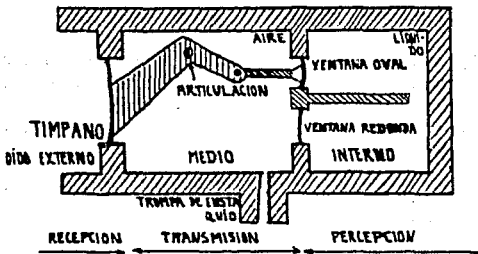


Figura 5

5. Proceso Auditivo.

El oído convierte a las ondas sonoras del medio ambiente en potenciales de acción de los nervios auditivos. Las ondas pasan a través del conducto auditivo externo y son transformadas por el tímpano y por los huesecillos del oído medio en movimiento de la base del estribo. Estos movimientos originan ondas en el líquido del oído interno. La acción de las ondas en el órgano de Corti genera potenciales de acción en las fibras nerviosas.

Como respuesta a los cambios de presión producidos por las ondas sonoras en su superficie externa, la membrana del tímpano se mueve hacia dentro y hacia fuera. La membrana funciona por lo tanto, como un resonador que reproduce las vibraciones de la fuente de sonido y deja de vibrar cuando termina la onda sonora, esto es, se comporta como si estuviera críticamente amortiguada. Los movimientos de la membrana timpánica son impartidos al manubrio del martillo y éste gira sobre un eje que pasa a través de la unión de su apófisis larga y corta, de manera que ésta última transmite las vibraciones del manubrio al yunque. El yunque ahora se mueve de tal manera que las vibraciones son transmitidas en la cabeza del estribo. Los movimientos de la cabeza del estribo desplazan a la base, hacia uno y otro lado, como una puerta prendida en el borde posterior de la ventana oval. Así los huesecillos del oído funcionan como un sistema de palancas que convierten a las vibraciones resonantes de la membrana timpánica en movimientos del estribo contra la escala vestibular, llena de perilinfa, de la cóclea. Este sistema aumenta la presión del sonido que llega a la ventana oval porque la acción de palanca del martillo y del yunque multiplica la fuerza 1.3 veces y el área de la membrana timpánica es mucho mayor que el área de la placa del pie del estribo. Hay pérdidas de energía sonora debido a la resistencia, pero se ha calculado que, a frecuencias inferiores a 3,000 hz. 60 % de la energía sonora que incide sobre la membrana del tímpano es transmitida al líquido de la cóclea.

Los movimientos de la base del estribo originan una serie de ondas que viajan en la perilinfa de la escala vestibular.

La figura 6 muestra el tipo de ondas viajantes en la perilinfa. Arriba: la línea continua y la de guiones cortos representan a la onda en dos instantes de tiempo; la línea de guiones largos muestra la envolvente de la onda concetando los picos en instantes sucesivos. Abajo: Desplazamiento de la membrana basilar por las ondas generadas por la vibración del estribo a las frecuencias señaladas en el vértice de cada curva.

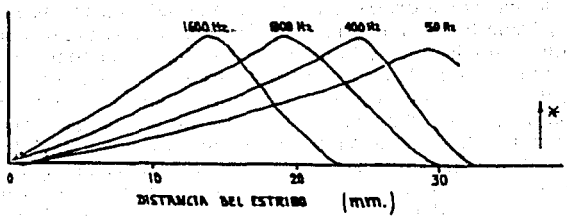
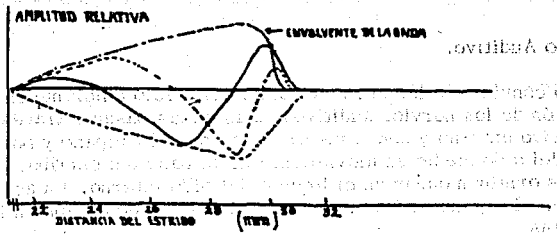


Figura 6 . # Desplazamiento de la membrana basal

Quando la onda remonta la cóclea, su altura crece hasta un máximo y luego desciende rápidamente. La distancia desde el estribo hasta el punto máximo varía con la frecuencia de las vibraciones que inician la onda. Los sonidos agudos generan ondas que alcanzan su máximo cerca de la base de la cóclea; en cambio, los sonidos graves generan ondas con el máximo cerca del vértice. Las paredes óseas de la escala vestibular son rígidas, pero la membrana de Teissner es flexible. La membrana basal no se encuentra tensa y también es fácilmente deprimida hacia la escala timpánica por los máximos de las ondas de la escala vestibular. Los desplazamientos del líquido en la escala timpánica son disipados en el aire en la ventana redonda. Por lo tanto, los sonidos producen distorsión de la membrana basal y el sitio en el cual esta distorsión es máxima está determinado por la frecuencia de la onda sonora.

La parte superior de las células ciliares del órgano de Corti es mantenida rígida por la lámina reticular y sus cilios son alojados en la membrana tectorial. Cuando la membrana basal es deprimida el movimiento de la membrana tectorial relacionado con la lámina reticular dobla los cilios. Este doblamiento genera de algún modo los potenciales de acción en los nervios auditivos.

La figura 7 muestra el efecto del movimiento sobre el órgano de Corti, en donde la acción de deslizamiento entre 2 estructuras rígidas, la membrana tectorial y la lámina reticular, dobla las prolongaciones de las células ciliares.

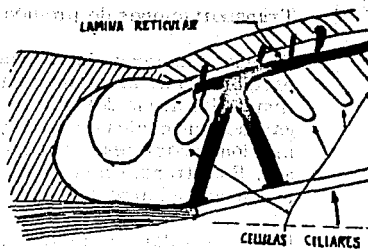
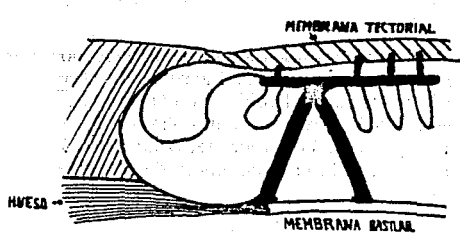


Figura 7

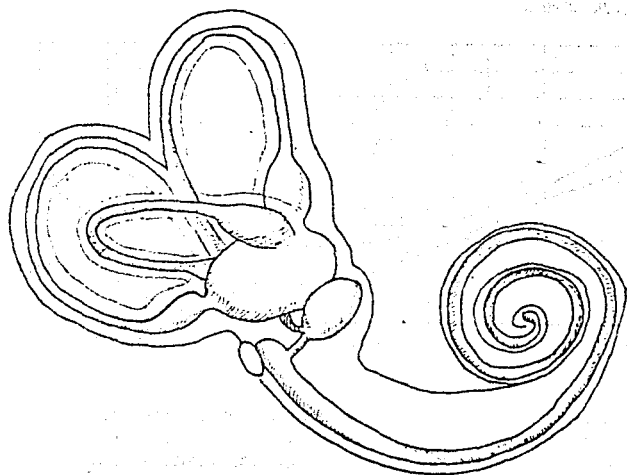


FIGURA 8.

6. Transportaciones de presión.

El oído transforma las presiones sonoras en sensaciones auditivas, no percibiendo de la misma forma todas las frecuencias. La relación afectiva de las áreas del tímpano y de la ventana oval multiplicada por la ganancia mecánica de alrededor de 1.3 a 1, provee un aumento de la presión sonora desde el tímpano al líquido de la cóclea del orden de 15 a 1. Esta transformación es ventajosa para la transferencia de las vibraciones del aire al líquido coclear.

Existe un valor de presión sonora eficaz mínima que debe tener una señal dada para despertar una sensación auditiva. Es el umbral de audibilidad, el cual se expresa en db, referidos a 0.0002 microbar. El umbral de audibilidad varía de persona a persona por diversos factores. En la figura 9 se muestra una curva típica de umbrales de audibilidad en función de la frecuencia.

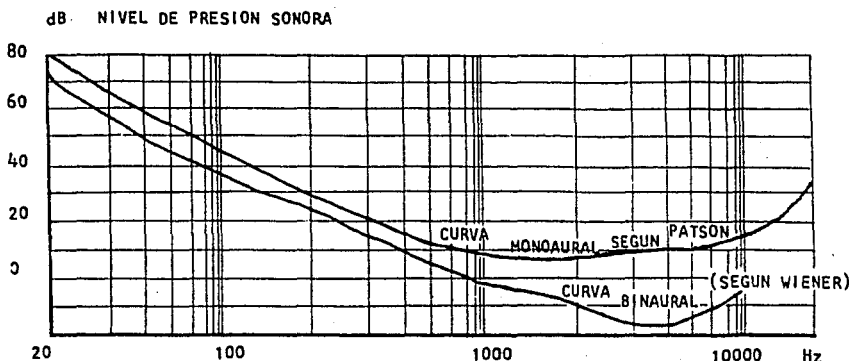


Figura 9

El oído percibe solo los sonidos con frecuencias comprendidas entre 20 y 15000 Hz. Algunas personas jóvenes pueden oír hasta los 20000 Hz. si el tono tiene la intensidad necesaria. El campo auditivo, o zona de sensibilidad del oído, está limitado por la zona de los infrasonidos, ultrasonidos, el umbral de audibilidad y el del dolor. Los primeros dos aspectos se refieren a la frecuencia y los dos últimos a los niveles sonoros.

La sensibilidad del oído es máxima para sonidos de frecuencias entre 500 y 5000 Hz. y se atenúan fuertemente para las frecuencias bajas.

Cuando oímos un sonido juzgamos a menudo su 'sonoridad', es decir, si se compara con un sonido patrón podremos decir si es más sonoro.

o menos sonoro. Podemos ahora hablar de un nivel de sonoridad de sonido. La figura 10 nos muestra contornos de igual sonoridad para tonos puros. Como sonido patrón se ha elegido un tono de 1000 c/seg. En la figura podemos ver, por ejemplo, que un sonido de 20 db a 1000 Hz percibido por el oído, dará la misma impresión de nivel sonoro que un sonido de 40 db a 200 Hz. y los dos puntos estan situados en la misma curva o contorno.

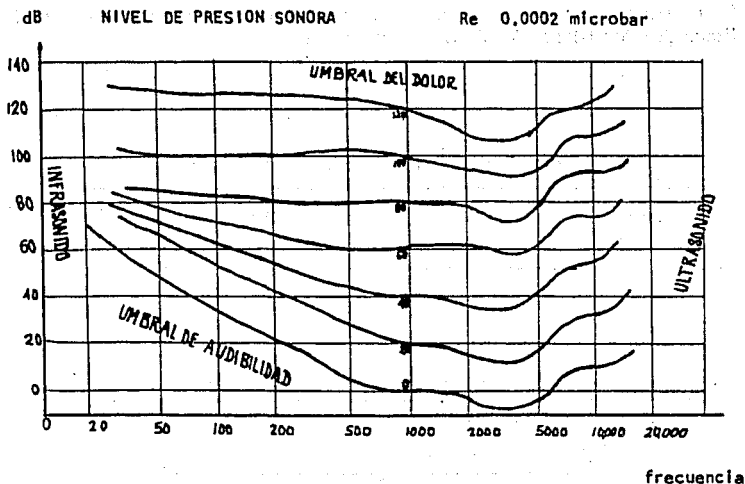


Figura 10

El oído interpreta las presiones y les da una importancia mayor o menor, según que éstas sean emitidas en las frecuencias medias, graves o agudas.

La figura 11 muestra las frecuencias medias, graves y agudas por bandas de octava y tercios de octava.

La sensación sonora percibida por el oído corresponde a los niveles -sonoros denominados fisiológicos. Para medir los niveles fisiológicos en los aparatos eléctricos (sonómetros), se han introducido filtros que reproduzcan sensiblemente las curvas del oído.

Las curvas de ponderación son curvas que representan las correcciones aportadas por los filtros, en función de las frecuencias. Los filtros están limitados a 3. El primero representa el comportamiento del oído para los niveles bajos, entre 0 y 55 db, llamado filtro A; el segundo para los niveles medios, entre 55 y 85 db, y es el filtro B; por encima de 85 db, se utiliza el filtro C.

La figura 12 muestra las correcciones en función de la frecuencia facilitada por los filtros A, B, C del sonómetro.

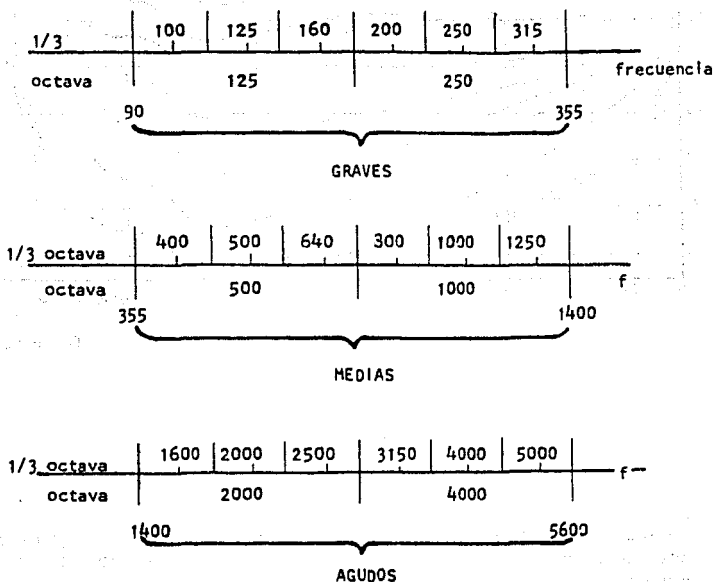
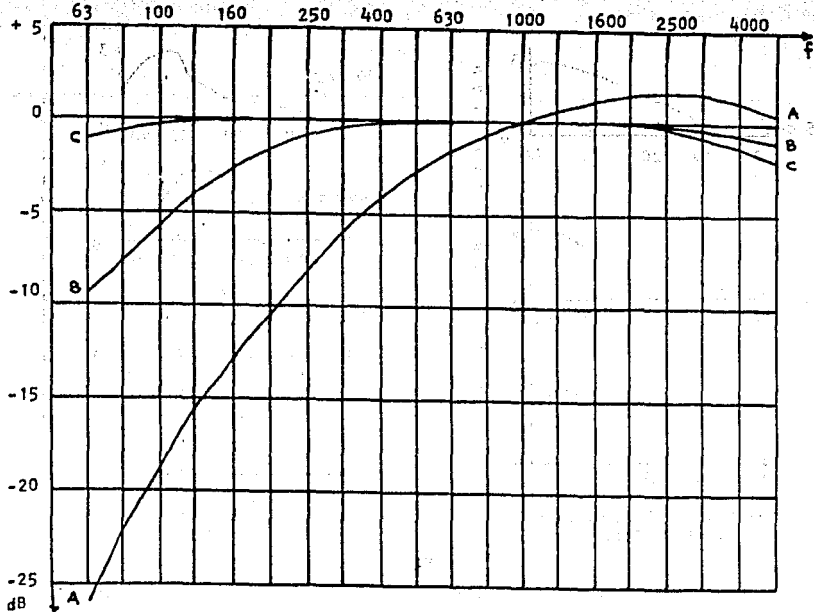


Figura 11



COMPORTAMIENTO DEL OIDO PARA LOS NIVELES BAJOS, MEDIOS Y ALTOS EN FUNCION DE LA FRECUENCIA. FILTRO A, ENTRE 0 y 55 dB ; FILTRO B, ENTRE 55 y 85 dB; FILTRO C, POR ENCIMA DE 85 dB.

Figura 12

7. Localización de Frecuencias.

El extremo de la membrana basilar más próximo a la ventana oval, re suena a las frecuencias más altas, mientras que el otro extremo lo ha ce a las frecuencias más bajas. La membrana basilar se considera un filtro mecánico que descompone parcialmente los sonidos complejos en sus componentes. Por consecuencia, un grupo particular de nervios es excitado más violentamente que los demás, según la frecuencia.

La figura 13 muestra las gráficas de las amplitudes relativas de vibra ción de la membrana basilar para varias frecuencias.

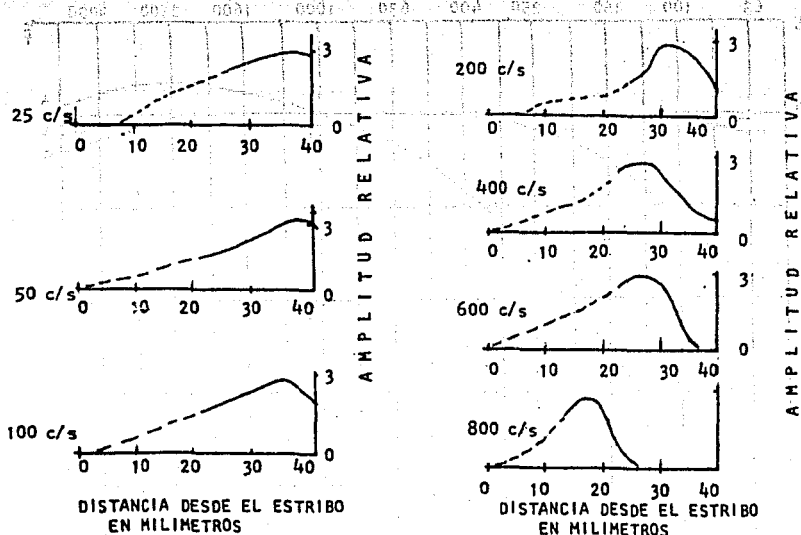


Figura 13

La figura 14 muestra la coordenada de posición "x" de dos grupos de nervios auditivos a lo largo de la membrana basilar, en función de la frecuencia. La ordenada 0 de la izquierda coincide con la parte más ancha de la membrana basilar y la ordenada 100 con el estribo. La -- distancia medida desde el estribo de la posición de máxima vibración está dada por la ordenada de la derecha.

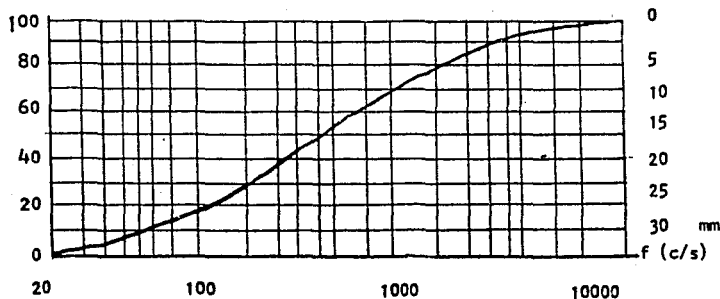


Figura 14

8. Enmascaramiento.

El oído humano tiene la propiedad de poder reconocer e identificar un determinado sonido entre otros varios. La presencia, al mismo tiempo, de varios sonidos conduce a notables perturbaciones, pudiéndose llegar, en algunas circunstancias al enmascaramiento de un determinado sonido.

Considerando la presencia simultánea de 2 sonidos puros en el oído, - si uno de ellos se va debilitando cada vez más se llega al punto de no ser percibido, no obstante su existencia en el campo sonoro. Sin embargo, si se elimina o reduce convenientemente el otro sonido, se puede lograr que el primero sea percibido de nuevo.

Este fenómeno de enmascaramiento, definido como el número de decibels en que se eleva el umbral de audibilidad para un sonido en presencia de otro, depende de la frecuencia y de la potencia.

Por ejemplo, se tiene un tono cuya frecuencia es de 1,500 c/s y se le puede oír hasta que su nivel desciende hasta un mínimo de 1 db. Esto es, el umbral de audibilidad de este tono es 1 db. Se produce un segundo tono a una frecuencia de 1,200 c/s y un nivel de 80 db. Se encuentra que el primer tono no es audible a menos que su nivel se eleve aproximadamente 54 db. El enmascaramiento del primer tono por el segundo es de 54 menos 1 db, es decir, 53 db.

El efecto de enmascaramiento es siempre mayor por arriba de la frecuencia del tono que por debajo. Por ejemplo, el enmascaramiento de un tono puro de frecuencia f producido por una banda estrecha de ruido o por un tono de 400 c/s con un nivel de presión sonora eficaz de 80 db. tiene los valores indicados en la figura 15.

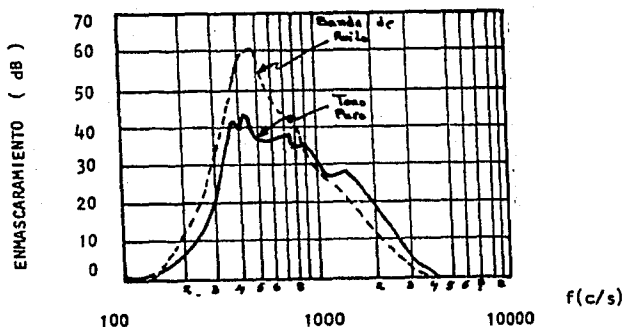


Figura 15

9. Audición Bi-Aural.

La capacidad del oído humano para identificar y localizar la dirección de una fuente sonora con gran exactitud se denomina Audición Bi-aural o localización auditiva y es debida a la intensidad sonora en los 2 oídos causada por la difracción y la diferencia de fase del sonido que llega en tiempos diferentes a los 2 oídos.

Al reconocer un tono en presencia de ruido, el mecanismo auditivo rechaza el ruido fuera de la banda crítica centrada en el tono puro como si fuera un filtro de onda, lo cual se representa en función de la frecuencia.

La figura 16 muestra los anchos de banda críticos para la audición determinados por el reconocimiento de tonos puros en presencia de ruido blanco aleatorio. La ordenada de la izquierda es f_c en c/s y la de la derecha $10 f_c$ en db.

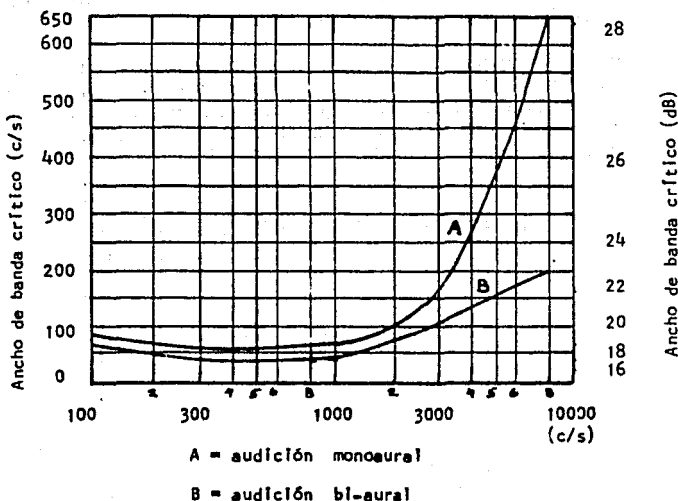


Figura 16

10. Defectos en la audición.

El mecanismo de la audición es altamente elástico a cambios de intensidad y puede sobrecargarse. La sordera se mide por la cantidad de audición que se ha perdido en db. La Sordera Conductiva es el deterioro de la audición debido a la obstrucción o anomalías del oído medio. La Sordera Patológica es la pérdida de la audición causada por defectos en un nervio o los nervios. La primera de ellas es fácilmente corregible canalizando las ondas sonoras a través del camino del oído medio no operativo, de manera que alcancen la cóclea directamente a través de los huesos de la cabeza. La segunda es mucho más grave. Se estima que aproximadamente entre el 5 % y el 10 % de la población sufren en cierta medida de fallas en la audición.

La figura 17 representa un audiograma de la zona auditiva de una persona que posee una audición pobre a altas frecuencias; la pérdida está representada por la zona fuertemente sombreada.

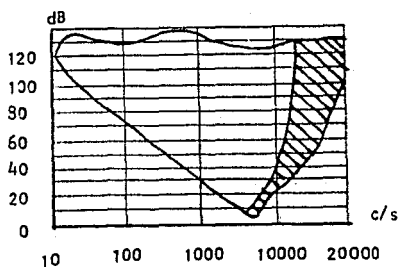


Figura 17

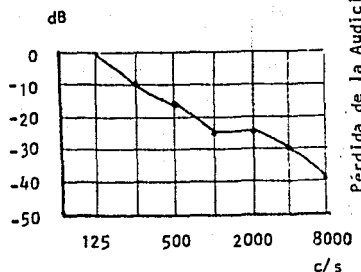
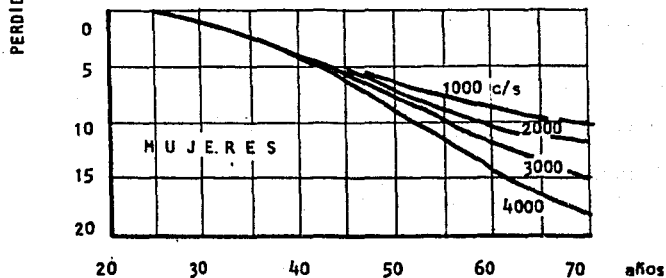
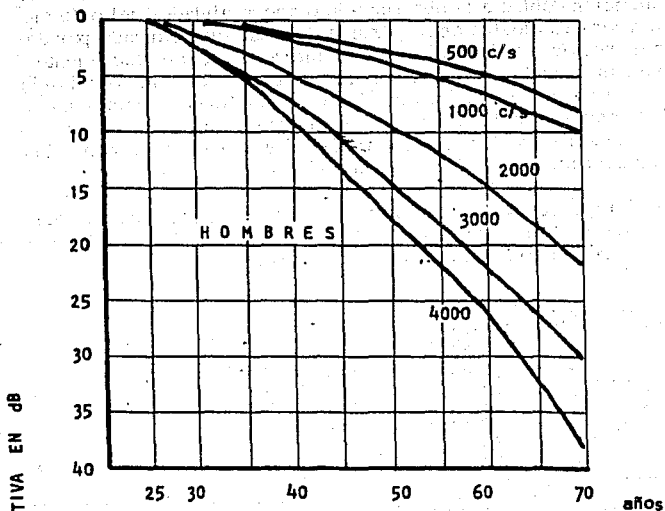


Figura 18

En un examen de audición se emplean audiómetros, atenuadores, interruptores y audífonos para determinar el umbral de audición, los defectos y deterioros de la audición.

La figura 18 muestra la curva de audibilidad para una persona con una pérdida de la audición en la gama de alta frecuencia.

En las figuras 19 se muestra el desplazamiento del umbral medio de audibilidad con la edad, en función de la frecuencia, para hombres y mujeres.



CAPITULO VII

MICROFONOS

1. Teoría General.

Como ya se ha visto, el sonido se genera debido a una perturbación de tipo periódico u oscilación mecánica de un medio material. Finalmente, el sonido es percibido por el oído.

Los micrófonos son el equivalente electroacústico de nuestro órgano auditivo, es decir, puede establecerse un cierto paralelismo entre ambos.

Así, el micrófono consta de un elemento receptor o acústico, semejante al oído externo; un elemento conversor o mecánico, homólogo al oído medio, y un dispositivo emisor o eléctrico, equivalente al oído interno.

a) Transducción Electromecánica.

Un dispositivo capaz de transformar las oscilaciones mecánicas mencionadas antes, en oscilaciones de una corriente eléctrica, o viceversa, constituirá un oscilador electromecánico. Gracias a este dispositivo se posibilitará la conversión del sonido en impulsos eléctricos (micrófonos y fonocaptadores) o la generación de ondas sonoras a partir de oscilaciones eléctricas (altavoces).

Los micrófonos sirven también como instrumentos de medición, convirtiendo las señales acústicas en señales eléctricas que pueden medirse por medio de instrumentos indicadores. Se puede estar interesado, por ejemplo, en la medición de la velocidad o la presión de las partículas.

En algunas aplicaciones, los micrófonos deben soportar grandes variaciones de temperatura y presión sin sufrir cambios apreciables en sus características. En otras, por ejemplo el teléfono, el bajo costo, la durabilidad y una elevada salida eléctrica son factores más importantes que la fidelidad de reproducción.

b) Características Direccionales.

La característica direccional de un micrófono es la respuesta en función de la dirección de la onda sonora incidente con respecto a algún eje de referencia del micrófono.

Un micrófono cuya respuesta sea independiente de la dirección de donde provenga el sonido será un micrófono omnidireccional o no direccional. Su característica direccional está representada en la figura 1.

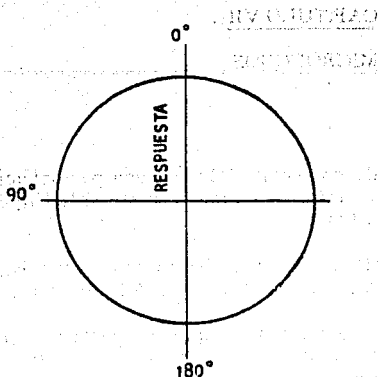


Figura 1.

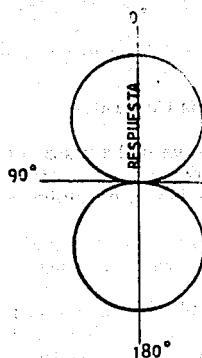


Figura 2.

En la figura 2, podemos ver la característica de un micrófono bidireccional. Su expresión matemática es:

$$R_D = \cos \theta$$

donde:

R_D = respuesta para el ángulo θ

θ = ángulo entre la dirección de la onda sonora y el eje mayor del micrófono.

La respuesta direccional de un micrófono unidireccional que tiene como patrón una curva limacón, se muestra en la figura 3. Su expresión matemática es:

$$R_D = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cos \theta$$

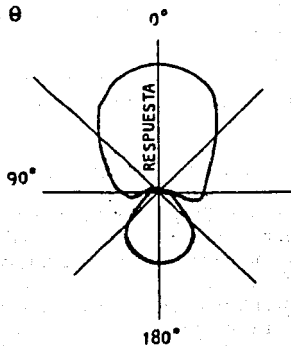


Figura 3.

Existen características direccionales que siguen aproximadamente la figura de un cardiode. La figura 4 muestra características de micrófonos unidireccionales de orden uno, dos, tres, cuatro, que cumplen con la expresión general:

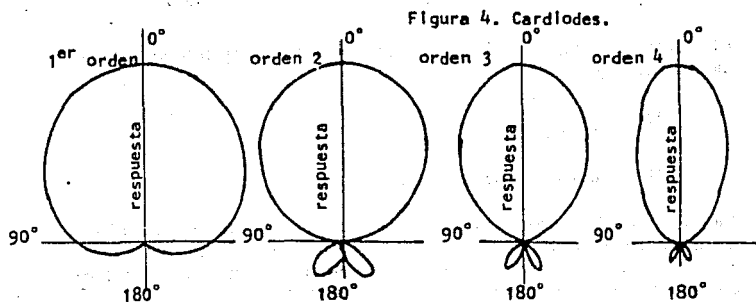
$$R_D = \frac{(1 + \cos \theta) \cos^{n-1} \theta}{2}$$

donde:

R_D = respuesta para el ángulo θ

θ = ángulo entre la dirección de la onda sonora y el eje del micrófono.

n = orden del gradiente, es un entero positivo.



La característica direccional de un micrófono bidireccional de orden n , está dada por:

$$R_D = \cos^n \theta$$

donde:

$n = 0, 1, 2$, etc. Para $n=0$, la característica es igual a la representada en la figura 1. Para $n=1$, es igual a la figura 2. La figura 5 muestra los patrones obtenidos para cuando $n=2, n=3, n=4$.

- c) Eficiencia Direccional, Factor de Directividad y Ganancia Direccional o Índice de Directividad.

La relación de la energía de respuesta de un micrófono direccional a la energía de respuesta de un micrófono no direccional, es conocida como la eficiencia direccional. Esta última es una medida de la energía de respuesta a la reverberación y ruido indeseable.

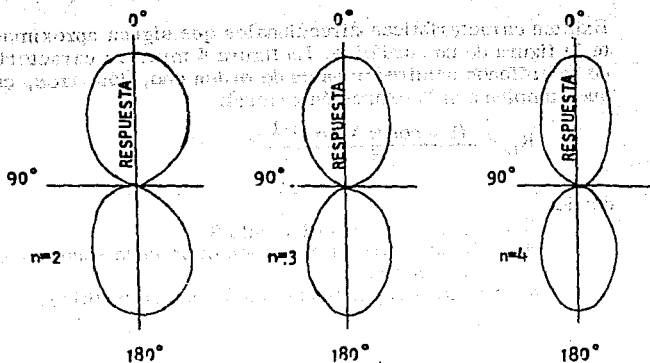


Figura 5.

El factor de directividad es el recíproco de la eficiencia direccional (E.D.)

$$Q = \frac{1}{E. D.}$$

Q = Factor de Directividad

La ganancia direccional comprende el hecho de que un micrófono direccional puede ser operado a \sqrt{Q} veces la distancia a la que puede ser operado un micrófono no direccional para igual relación de señal a ruido aleatorio, reverberación, etc.

2. Clasificación.

Para fines de su discusión, primero veremos dos grandes clases de micrófonos, los micrófonos de presión y los micrófonos de velocidad. Posteriormente veremos combinaciones de los anteriores. Después veremos los tipos de micrófonos que cumplen con características unidireccionales. Al final del capítulo se estudiarán micrófonos para aplicaciones especiales.

2.1 Micrófonos de Presión.

Los micrófonos de presión son aquellos en los cuales la respuesta eléctrica corresponde a las variaciones de presión sonora. Un ejemplo común es el formado por un diafragma flexible, una de cuyas caras cubre una cavidad cerrada. Ver figura 6. Un orificio practicado a través de la pared sirve para mantener la presión media dentro de la cavidad igual a la presión atmosférica. Empero, los cambios rápidos de presión, como los producidos por una

onda sonora, hacen que el diafragma se mueva hacia dentro o afuera.

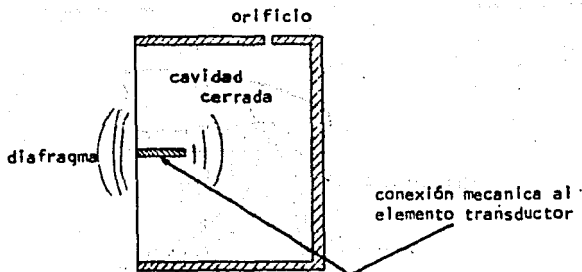


Figura 6.

Los más comunes micrófonos de presión son los micrófonos de carbón, de condensador, de cristal, dinámicos y magnéticos.

- a) **Micrófonos de Carbón.** Estos son micrófonos en los cuales su operación depende de las variaciones de una resistencia de contactos de carbón. (ver figura 7) La resistencia decrece cuando el movimiento del diafragma comprime los gránulos de carbón y se incrementa en cuanto el movimiento del diafragma expande el volumen ocupado por los gránulos. En la figura 7 podemos ver también el circuito eléctrico formado por el micrófono (resistencia eléctrica r_{el}), batería y carga. Así, la corriente será una función inversa de la resistencia del micrófono de carbón, y el voltaje a través de la resistencia fija es proporcional a la corriente.

Un uso muy extendido del micrófono de carbón se encuentra en las comunicaciones telefónicas, debido a su alta sensibilidad. En la figura 8 vemos la característica de la respuesta a la frecuencia de tal micrófono.

- b) **Micrófono de Condensador (Electrostático).** Este es un micrófono cuya operación depende de las variaciones en la capacitancia eléctrica entre dos placas conductoras. Consiste de un diafragma separado de una placa perforada posterior. El diafragma puede ser una placa de metal o de metal cubierto con cerámica. El voltaje de polarización es suministrado por una fuente de alto voltaje. Ver figura 9.

Algunos plásticos con propiedades de electreto pueden ser usados para polarizar al diafragma. La respuesta a la frecuencia de este micrófono falla o decae rápidamente cuando su impedancia eléctrica llega a ser mayor que la impedancia de carga. En estas condiciones, un amplificador que presente en la entrada la impedancia de un FET, será muy adecuado para este micrófono. En la figura 10, vemos la característica de su respuesta a la frecuencia. El límite a altas frecuencias está determinado por la frecuencia de resonancia fundamental, arriba de la cual, la respuesta decaerá rápidamente. La respuesta de la figura 10 es para presión sonora constante sobre el diafragma.

La característica direccional de este micrófono es no direccional, previendo que el diámetro del micrófono sea menor que un cuarto de la longitud de onda. Para frecuencias arriba de ese rango el micrófono es direccional.

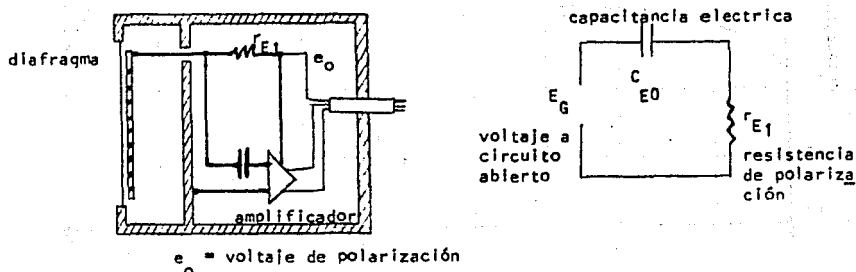


Figura 9.

- c) Micrófonos de cristal y de cerámica. La operación de estos micrófonos depende de la generación de un voltaje por medio de la deformación de un cristal o elemento de cerámica que tenga propiedades piezoeléctricas. Tanto la humedad como las variaciones de temperatura afectan su eficacia. La sal de Rochelle exhibe la mayor actividad piezoeléctrica de todos los cristales conocidos. Elementos de cerámica de bario-titanio o amonio-dihidrógeno fosfato, etc., pueden ser usados en lugar de la sal de Rochelle con alguna reducción en sensibilidad. Los elementos de cerámica pueden operar a más altas temperaturas que la sal de Rochelle.

otras aplicaciones de este tipo de transductores.

Una vista seccional y el circuito eléctrico del micrófono de cristal se muestran en la figura 11. Los elementos esenciales del micrófono consisten de un diafragma acoplado a una esquina del cristal. Las otras tres esquinas están sujetas al casco. El movimiento del diafragma de forma el cristal y genera un voltaje. El voltaje a circuito abierto desarrollado por el cristal está dado por:

$$e_G = Kx$$

donde:

- e_G = voltaje a circuito abierto en stavolt
- x = amplitud de la deformación del cristal
- K = constante del cristal

La capacitancia del elemento de un micrófono de cristal o cerámica es del orden de 500 picofarads. Por lo tanto un cable relativamente largo de baja capacitancia puede ser usado para conectarlo al amplificador.

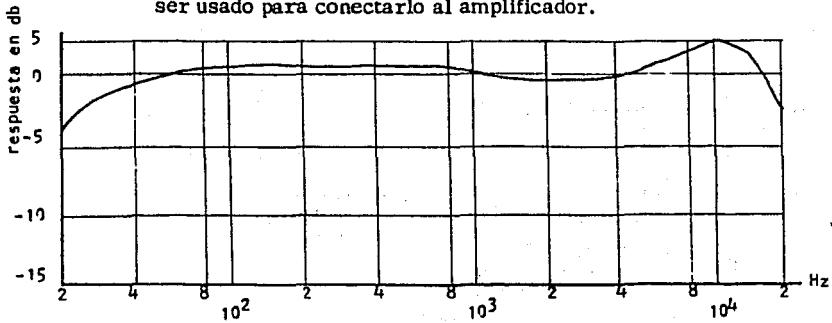
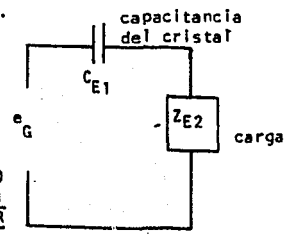


Figura 10.



VOLTAJE
GENERADO
A CIRCUITO
ABIERTO.

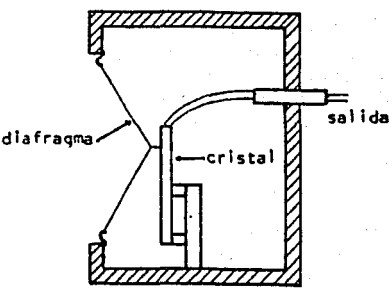
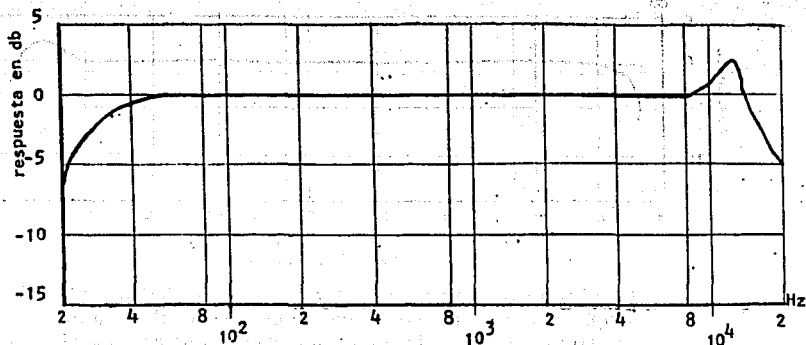


Figura 11.

Figura 12.



La característica de la respuesta en frecuencia del micrófono de cristal está representada en la figura 12.

- d) **Micrófono Dinámico.** Este es un micrófono en el cual la salida es el resultado del movimiento de un conductor dentro de un campo magnético. Una vista seccional, circuito eléctrico y característica de respuesta en frecuencia de un micrófono dinámico, se muestran en la figura 13.

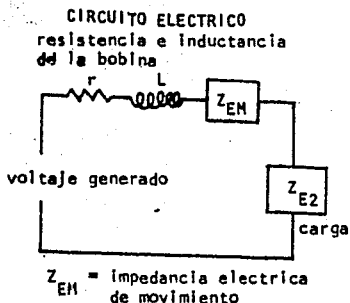
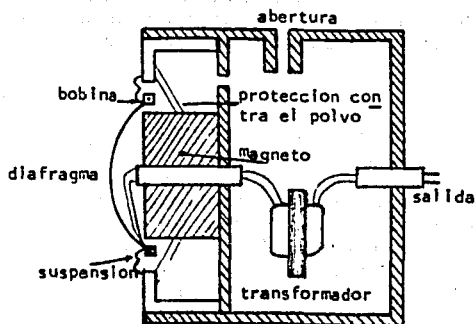


Figure 13.

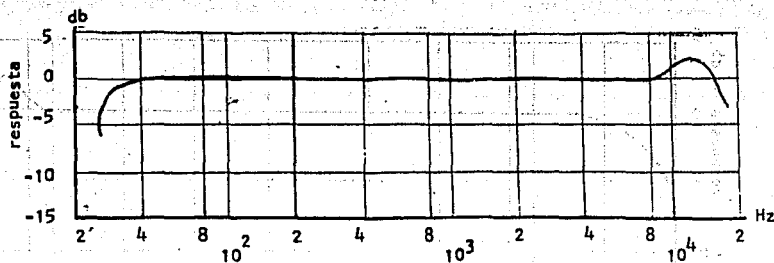


Figura 13. (cont.)

El micrófono dinámico está formado por un diafragma acoplado a la bobina de la voz, la cual se localiza en el campo magnético. Tiene además, una resistencia mecánica para controlar el movimiento del sistema vibrante. El voltaje desarrollado en la bobina de la voz está dado por:

$$e_G = Blx$$

donde:

e_G = voltaje, en abvolts

B = densidad de flujo en el hueco, en gauss

l = longitud de la bobina en centímetros

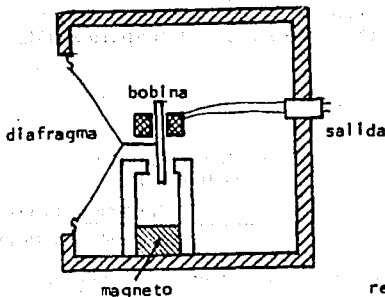
x = velocidad de la bobina en cm/seg.

El circuito eléctrico de la figura 13 consiste del voltaje a circuito abierto, en serie con la impedancia eléctrica de la bobina (aprox. 10 ohms), y la carga eléctrica. El transformador es usado para elevar la impedancia al valor adecuado para transmisión en una línea larga o cable.

- e) **Micrófono magnético.** Este es un micrófono cuya operación depende de las variaciones en la reluctancia de un circuito magnético. Consiste de un diafragma conectado a una armadura en un circuito magnético polarizado. El flujo magnético estacionario es suministrado por un imán permanente. El movimiento de la armadura produce un cambio en el flujo que atraviesa, lo cual induce un voltaje en la bobina. El voltaje desarrollado en el arrollamiento es proporcional a la velocidad de la armadura, por lo tanto, las condiciones para obtener una respuesta uniforme a la frecuencia son: debe haber una relación constante entre la velocidad de la bobina y la presión sonora actuante. Una vista seccional del micrófono, su circuito eléctrico y una respuesta a la frecuencia típica se ven en la figura 14. El rango de frecuencia en el que la respuesta

es satisfactoria sirve para la reproducción de voz con un alto orden de inteligibilidad.

El micrófono magnético es de tamaño pequeño y ligero de peso y con sensibilidad relativamente alta. Es particularmente adecuado para comunicación oral y aplicaciones de ayudas auditivas.



VISTA SECCIONAL

CIRCUITO ELECTRICO

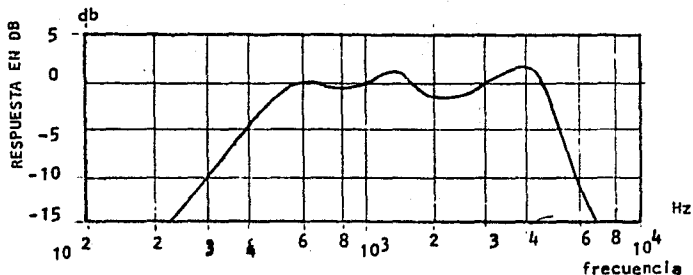
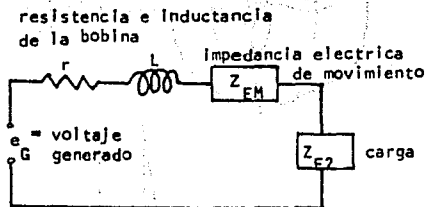
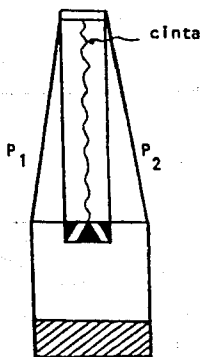
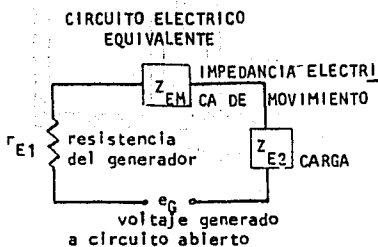
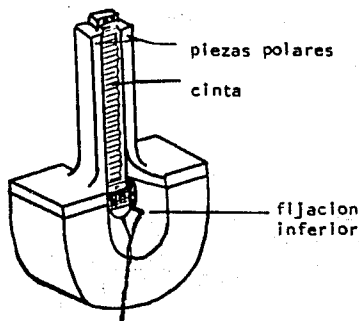


Figura 14.

2.2 Micrófonos de Velocidad.

Los micrófonos de velocidad son aquellos en los cuales la respuesta eléctrica corresponde a la velocidad de las partículas producida por una onda sonora. El micrófono de velocidad más común es el de tipo de cinta, el cual consideraremos aquí. En la figura 15 se ilustra la construcción típica de este micrófono de velocidad, junto con su circuito eléctrico y respuesta en función de la frecuencia. La cinta es manejada por la diferencia en la presión sonora P_1 y P_2 , a ambos lados de la misma. La cinta posee muy baja frecuencia de resonancia y está suspendida en la ranura de una pantalla deflector. Hay campo magnético transversal a la cinta, de modo que el movimiento de ésta causa la aparición de una d.d.p. entre sus extremos.



VISTA SECCIONAL

Figura 15.

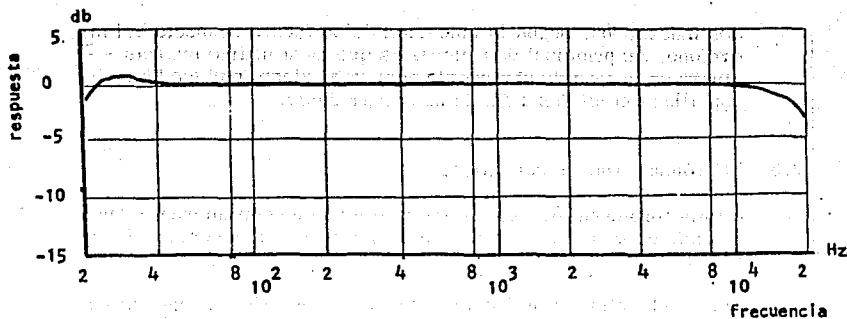


Figura 15. (cont.)

El movimiento de la cinta se explica así: Las magnitudes de las presiones sonoras sobre los dos lados de la cinta son iguales. Sin embargo, la diferencia en presión sonora es debida a la diferencia en fase entre las presiones mencionadas. La diferencia en fase se debe a la diferencia en la trayectoria del sonido entre los lados de la cinta. En la figura 16 se ilustra la diferencia en la trayectoria del sonido para los dos lados de la cinta, cuando la onda incide a 0, 45 y 90 grados.

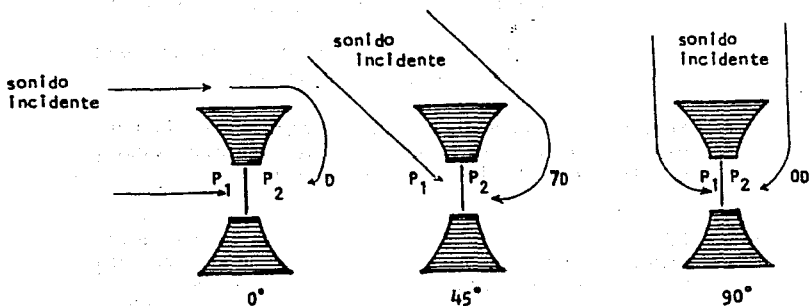


Figura 16.

La diferencia en presión entre los dos lados de la cinta es una función coseno del ángulo formado por la dirección de la onda incidente y la normal al plano de la cinta. El micrófono de cinta tiene aproximadamente la misma sensibilidad e impedancia que el de bobina móvil cuando se le usa con un transformador adecuado. Tiene una característica direccional como la mostrada en la figura 5, y se usa mucho en estudios de radiodifusión y en instalaciones de sonorización para eliminar ciertos soni-

dos indeseados, según la ubicación de su fuente respecto del micrófono. Su principal desventaja es que para usarlo puertas afuera es necesario protegerle contra el viento por medio de pantallas especiales a fin de no captar ruido.

2.3 Micrófonos Unidireccionales.

Un micrófono unidireccional es un micrófono con un patrón sustancialmente unidireccional sobre el rango de frecuencias de su respuesta.

- a) **Micrófono Unidireccional Combinado.** Este es uno de los primeros micrófonos unidireccionales que fueron creados. Consiste de un micrófono de velocidad bidireccional y un micrófono de presión. El voltaje de salida del micrófono combinado está dado por:

$$e_v = e_p + e_v \cos \theta$$

donde:

e_v = voltaje de salida del micrófono unidireccional

e_p = voltaje de salida del elemento de presión

e_v = voltaje de salida del elemento de velocidad
para $\theta = 0$

θ = ángulo entre la dirección del sonido incidente y el eje principal del micrófono.

Si $e_p = e_v$, entonces la característica direccional es el cardioide de la figura 4. Si $e_p = 0.3e_v$, entonces la característica direccional es la de la figura 3.

- b) **Micrófono unidireccional de cinta.** Consiste de un micrófono de gradiente de presión de cinta con un sistema apropiado de retardo acústico. Una vista en perspectiva de este tipo de micrófono se ve en la figura 17. Un tubo doblado amortiguador cubre un lado de la cinta. La diferencia en presión entre los dos lados de la cinta es debida a la diferencia en fase entre las dos presiones p_1 y p_2 tanto como el corrimiento de fase debido a la red mecánica formada por el tubo y la abertura de éste. La red mecánica introduce una diferencia en fase entre p_1 y p_2 de la figura 18.

En la figura 18 se puede ver el circuito eléctrico equivalente y la característica de la respuesta a la frecuencia. En la figura 19 se describe la diferencia en la trayecto-

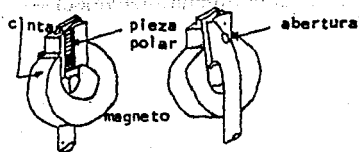
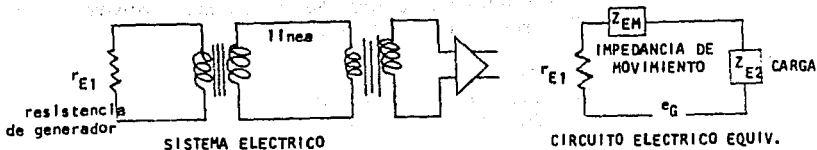
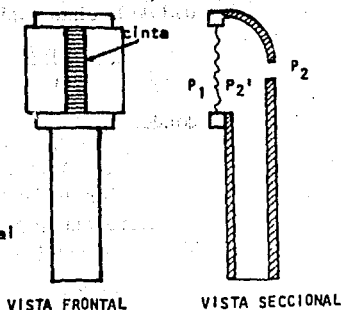


Figura 17. Micrófono unidireccional de cinta



e_G = voltaje generado

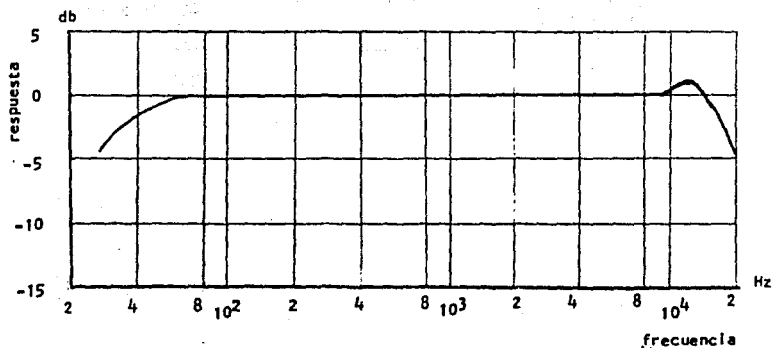


Figura 18.

ria acústica entre los dos lados de la cinta para 0, 90 y 180 grados, por lo que se vé es la misma. La velocidad de la cinta está dada por:

$$\dot{x} = \frac{\Delta p A}{Z_m}$$

donde:

Δp = diferencia de presión en microbars

A = área de la cinta en centímetros cuadrados

Z_m = impedancia mecánica en ohms mecánicos

La diferencia de presión para la característica direccional de cardioide está dada por:

$$P = 2 P_m (\cos wt) \text{ sen } (kD \frac{1 + \cos \theta}{4})$$

donde:

P_m = amplitud de la presión sonora en microbars

D = trayectoria acústica en cm

$k = 2\pi/\lambda$

$w = 2\pi f$

λ = longitud de onda en cm

f = frecuencia en hertz

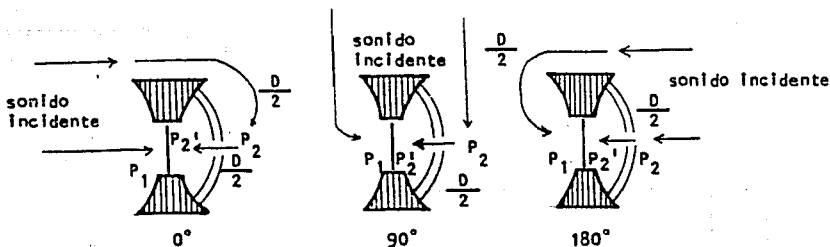
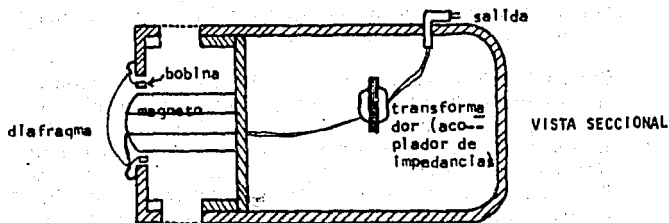


Figura 19.

- c) **Micrófono Unidireccional Dinámico.** Una vista seccional y el circuito eléctrico de este micrófono se muestran en la fig. 20. Su funcionamiento es similar al micrófono de la sección anterior. Cualquier patrón de directividad unidireccional puede ser obtenido, desde el cardioide hasta el limacón de más alta directividad de la figura 3 si es adecuada la selección de los parámetros del micrófono. En la figura 21 se tiene la gráfica que describe una típi-

ca característica de respuesta a la frecuencia contra voltaje a circuito abierto para presión sonora constante en el espacio libre.



CIRCUITO ELECTRICO

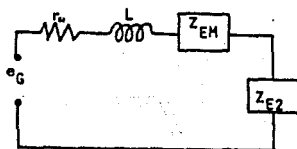


Figura 20.

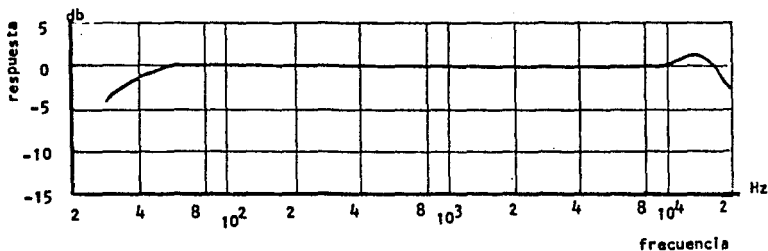


Figura 21.

2.4 Micrófonos para Aplicaciones Especiales.

a) **Micrófono con reflector parabólico.** Como se ve en la figura 22, la superficie del reflector parabólico es colocada de forma tal que las ondas sonoras incidentes paralelas al eje son reflejadas hacia un punto llamado el foco. Para obtener una apreciable ganancia de presión en el foco, el reflector debe ser grande comparado con la longitud de onda del sonido incidente. Este requerimiento de tamaño debe también ser satisfecho a fin de obtener marcadas características direccionales.

El tipo de micrófono colocado en el foco es de presión y la ganancia a altas frecuencias es considerablemente más grande que a frecuencias medias. Para bajas frecuencias, el tamaño del reflector sería inconveniente. Las características direccionales de este micrófono se ven en el figura 23, donde se observa que el diámetro del reflector debe ser más grande que la longitud de onda para obtener alguna directividad útil.

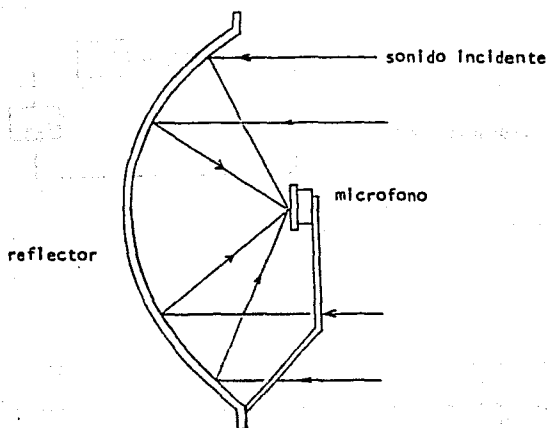


Figura 22. Micrófono con reflector parabólico

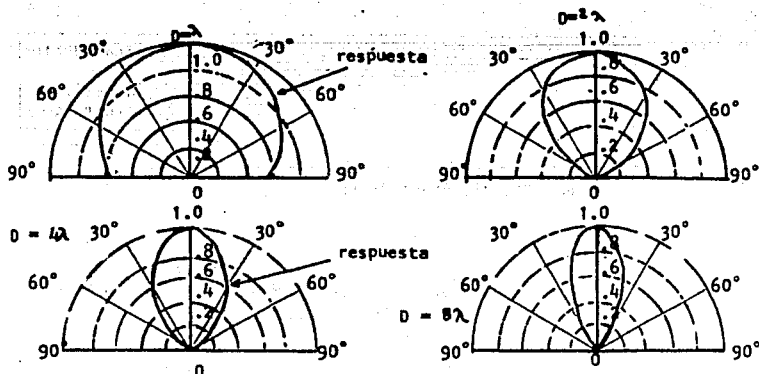


Figura 23. Características direccionales de un micrófono con reflector parabólico.

- b) **Micrófonos de línea.** Consiste de una serie de puntos fo nocaptoreos colocados a lo largo de una línea con las sa lidas conectadas a un transductor acústico-eléctrico. -- Una forma del micrófono de línea consiste de una serie de tubos con un extremo abierto y el otro conectado al tr ansductor como se ve en la figura 24. La caracterfsti ca direccional está dada por:

$$R_D = \frac{\text{sen} \left(\left(\frac{r}{\lambda} \right) (L - L \cos \theta) \right)}{\left(\frac{r}{\lambda} \right) (L - L \cos \theta)}$$

donde:

R_D = respuesta para el ángulo θ

L = longitud de la línea en cm.

λ = longitud de onda, en cm.

θ = ángulo entre la dirección de la onda sonora y el eje de la línea.

El micrófono de línea es útil para coleccionar sonidos que lleguen en direcciones cuyo ángulo sea pequeño. Se usa como micrófono ambiental. El diámetro de los tubos debe ser $\approx 0.1 \lambda$

Las características direccionales del micrófono de la figura 24 para varias relaciones de longitud de la línea a la longitud de onda se muestran en la figura 25. $\theta = 0$, corresponde al eje de la línea.

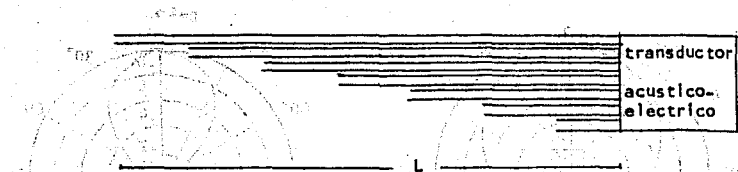


Figura 24. Micrófono de línea.

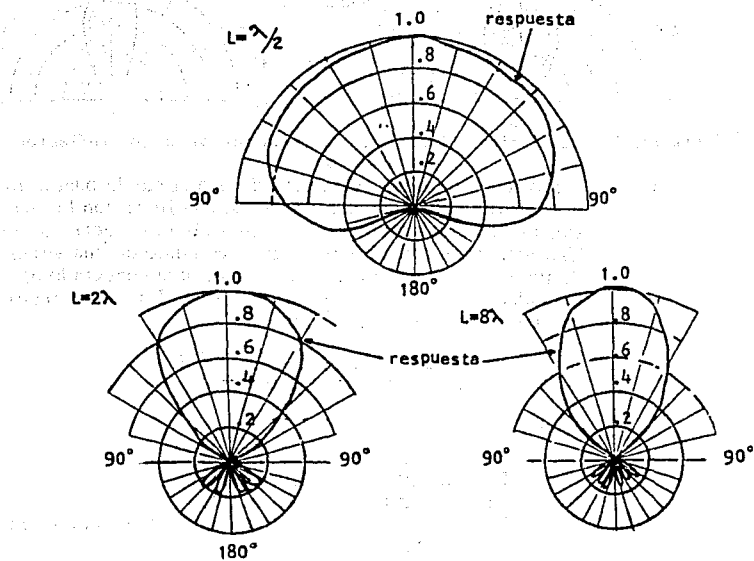


Figura 25. Características direccionales del micrófono de línea.

3. Requerimientos de los micrófonos para la reproducción de SONIDO en Alta Fidelidad.

El término reproducción de sonido en alta fidelidad, es usado para designar una calidad superior de funcionamiento. Y las características involucradas en el funcionamiento de un micrófono son: respuesta a la frecuencia, directividad, distorsión no lineal, respuesta transitoria, impedancia eléctrica, sensibilidad y ruido.

A) Respuesta a la Frecuencia.

La respuesta a la frecuencia de un micrófono es el voltaje de salida a circuito eléctrico, en volts, para presión sonora constante en un campo sonoro no alterado, cuando el sonido llega sobre el eje del micrófono, como una función de la frecuencia. Empleando micrófonos dinámicos, de cinta, de cristal o de transductor electrostático, no hay problema en lograr una respuesta uniforme sobre un rango de frecuencia aceptable. Sin embargo, hay algunas aplicaciones donde una limitada respuesta a la frecuencia es indicada.

B) Directividad.

La característica direccional polar de un micrófono es la respuesta como una función del ángulo de la onda incidente con respecto a algún eje del micrófono. No existe problema en lograr una característica direccional uniforme en un micrófono de alta calidad.

C) Distorsión No-Lineal.

La distorsión no lineal generada en un micrófono es despreciable para niveles de sonido encontrados en el rango de audio.

D) Respuesta transitoria.

La respuesta transitoria de un micrófono se refiere a la fidelidad de respuesta a un súbito cambio en el sonido de entrada. Para micrófonos de alta calidad con respuesta uniforme sobre el rango completo de frecuencias de audio, la respuesta transitoria es excelente.

E) Impedancia eléctrica.

La impedancia eléctrica característica de un micrófono es la --

impedancia como una función de la frecuencia. La EIA (Electrical Industry Association) da como norma una impedancia estándar de 150 ohms. Otras impedancias comunes son de 30 y 250 ohms.

F) Sensibilidad.

La sensibilidad de un micrófono es el voltaje de salida a circuito abierto, en volts, para una presión sonora a campo libre, de un microbar. La EIA Standard define el Nivel de Salida efectivo de un micrófono como el voltaje de salida a circuito abierto a la impedancia de salida nominal, en decibeles (dBm) relativa a un volt, para una presión sonora de 10 microbar.

G) Ruido.

La agitación térmica generada en los conductores o resistencias de polarización generan un ruido, para el rango de audiodfrecuencias, del orden de una presión sonora equivalente a 10 dB. Por lo tanto esta clase de ruido no influye mucho en el funcionamiento del micrófono. Es de importancia el sumido proveniente de campos producidos por c. a.

Los micrófonos usados en exteriores son frecuentemente excitados por el ruido del viento. Las amplitudes de las componentes del ruido son inversamente proporcionales a la frecuencia, por lo tanto, atenuando la respuesta a bajas frecuencias se reduce la respuesta al ruido del viento. Se usan también pantallas de tela plástica porosa para reducir la excitación producida por el viento.

ALTAVOCES

1. Transductor.

Es un dispositivo que recibe energía de uno o varios sistemas o medios de transmisión y que suministra a uno o a otros sistemas o medios, una energía correspondiente a la que él recibe. Se distingue en particular el transductor electroacústico destinado a recibir energía de un sistema eléctrico y suministra energía a un sistema acústico o la inversa.

2. Altavoz.

Es un dispositivo electroacústico que convierte la energía eléctrica en energía acústica. Esta transformación no se lleva a cabo directamente, sino que en realidad los altavoces transforman la energía eléctrica en mecánica y, en segundo lugar, la energía mecánica en energía acústica. Se utilizan para reproducir y amplificar sonido.

Los altavoces se pueden clasificar de diferente manera:

- A. Según los elementos eléctricos:
 - a) Altavoces dinámicos.
 - b) Altavoces electrodinámicos.
 - c) Altavoces electrostáticos.
 - d) Altavoces piezoeléctricos.

- B. Según los elementos mecánicos:
 - a) Altavoces de bobina móvil.
 - b) Altavoces de hierro móvil.

- C. Según los elementos acústicos:
 - a) Altavoces de membrana metálica.
 - b) Altavoces de membrana cónica de cartón.
 - c) Altavoces de aire comprimido.

- D. Según la banda de frecuencias reproducidas:
 - a) Altavoces de uso general.
 - b) Altavoces especiales para tonos graves.
 - c) Altavoces especiales para tonos medios.
 - d) Altavoces especiales para tonos agudos.

2.1. Altavoces Dinámicos.

Es el más utilizado en alta fidelidad, ya que reúne unas características generales muy superiores a los demás tipos; tienen la bobina de-

voz dentro de un campo magnético fijo generado por un imán permanente. Está constituido por las siguientes partes:

1. Cono, diafragma o membrana.
2. Campana.
3. Yugo.
4. Imán permanente.
5. Bobina móvil.
6. Araña.
7. Tapa de retención de polvo.
8. Cables de conexión de la bobina móvil.
9. Bornes de entrada.
10. Suspensión.

La fig. 1 muestra un tipo de este altavoz.

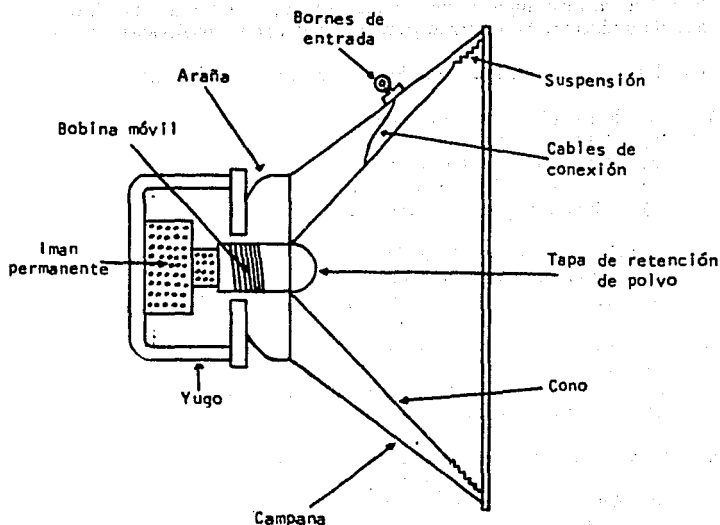


Figura 1

Cono. Está fabricado de material fibroso y liviano con el fin de que -- ofrezca la menor inercia posible. Su forma es muy diversa, según el margen de frecuencia que ha de reproducir, las características de direccionalidad y la potencia admisible del altavoz.

Campana. Está fabricada con chapa muy delgada, cuya rigidez mecánica se aumenta mediante nervaduras de refuerzo. Su finalidad es múltiple, ya que además de servir como soporte a todas las piezas constitutivas del altavoz, posee una serie de orificios en su contorno para la sujeción del altavoz al baffle, mediante tornillos. La campana está cubierta por una delgada capa galvanoplástica que evita su oxidación.

Yugo. Aloja en su interior al imán permanente. Está fabricado con material de alta permeabilidad, para evitar pérdidas del campo magnético proporcionado por el imán.

Imán Permanente. Es el sistema de excitación del altavoz, y va alojado en el interior del yugo. Consiste de un imán cilíndrico de alta inducción fabricado con óxido ferromagnético, lo que permite inducciones magnéticas muy grandes y un peso bastante bajo.

Bobina Móvil. Está constituida por un devanado montado sobre un tubo cilíndrico. Este tubo es capaz de soportar los esfuerzos que se originan durante el bobinado así como los provocados por la araña durante el movimiento vibratorio de la bobina; está fabricado con un material de espesor muy reducido a fin de reducir al mínimo el entrehierro. El soporte de la bobina se recubre con barniz para resistir los ataques de la humedad. El grueso del hilo depende de la carga que debe admitir el altavoz y su aislamiento debe ser de gran calidad para evitar cortocircuitos entre espiras. La bobina se adhiere a su soporte mediante un cemento especial capaz de resistir las vibraciones a que será sometido y para que no ataque el esmalte aislante de la bobina.

Araña. Es la que centra la bobina móvil en el entrehierro, a fin de que no se produzcan rozamientos de la bobina con el imán permanente ni con el yugo. Se coloca en el cuello del diafragma, uniendo a éste con la bobina móvil.

Tapa de retención de Polvo. Evita la acumulación de polvo en el entrehierro y se inmovilice, con el tiempo, la bobina móvil. Se coloca en el interior del cono; son planas o semiesféricas.

Cables de Conexión. Son dos hilos que, por la parte posterior del cono, une los bornes de la bobina con los bornes situados sobre la campana por la parte posterior.

Principio de Funcionamiento.

Si por la bobina móvil circula una corriente alterna de audiofrecuencia i , actúa sobre ella en el campo magnético B una fuerza en sentido axial:

donde: $F = Bli$.

donde:

- B = inducción magnética.
- l = longitud de la bobina en el campo magnético.
- i = corriente alterna.

con ello, se producen en el cono los movimientos correspondientes - que provocan en el aire ambiente, las correspondientes fluctuaciones de la densidad que se hacen audibles como sonido. Una membrana de centraje conduce la bobina móvil en el estrecho entrehierro de imán y suministra al mismo tiempo la fuerza de retroceso que lleva al cono nuevamente a su posición de reposo.

Junto con su masa, las fuerzas de retroceso y diferentes resistencias de fricción, el cono forma un sistema oscilante cuya frecuencia de resonancia es:

$$w_0 = \sqrt{D/M}$$

donde:

M = masa.
D = rigidez.

La fuerza excitadora produce en este sistema oscilaciones con la aceleración:

$$a = \frac{F}{\sqrt{R^2 + (wM - D/w)^2}}$$

donde:

R = resistencia de fricción.

La potencia acústica producida por el cono es:

$$P = \frac{1}{2} R_r a^2$$

donde:

R_r = resistencia de radiación.

En el caso de que la longitud de onda del sonido sea grande, en comparación con el diámetro del cono, la resistencia de radiación se puede calcular por la expresión:

$$R_r = \frac{2\rho}{c} r^4 w^2$$

donde:

c = velocidad del sonido en el aire.

ρ = densidad del aire.

Por debajo de la frecuencia de resonancia, la potencia acústica disminuye proporcionalmente a la cuarta potencia de la frecuencia. Por encima de la frecuencia de resonancia la potencia acústica es independiente de la frecuencia. Por lo tanto, por debajo de la frecuencia de resonancia el altavoz no produce prácticamente potencia acústica alguna, por lo cual, los altavoces destinados a reproducir tonos graves deben tener una frecuencia de resonancia lo más baja posible.

Al aumentar la frecuencia y llegar a 1,000 Hz, la resistencia de radiación queda constante y la potencia debe de crecer con $1/w^2$. A esta frecuencia, la membrana no se comporta con rigidez. Al crecer la frecuencia, por la no rigidez del diafragma, la parte vibrante se reduce paulatinamente, hacia la parte central, con lo que se reduce la masa vibrante. Al disminuir la masa, tanto menor será la disminución de la potencia, por aumentar la velocidad.

En la figura 2 se muestra que al crecer la frecuencia, se produce una mayor concentración de la radiación, por lo que puede decirse que, en el eje de la membrana la potencia irradiada permanece prácticamente constante.

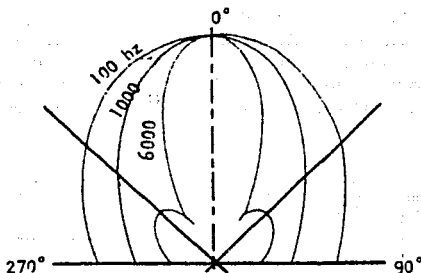


Figura 2

2.2. Altavoces Electrodinámicos.

Este altavoz está basado en los mismos principios que el dinámico. La única diferencia entre ambos estriba en que, mientras en el dinámico el campo magnético necesario para la reacción de la bobina móvil está creado por un imán permanente, en el electrodinámico dicho campo está creado por el electroimán. Está constituido por las siguientes partes:

1. Yugo.
2. Bobina móvil.
3. Núcleo del electroimán.
4. Devanado del electroimán.

La fig. 3 muestra un tipo de este altavoz.

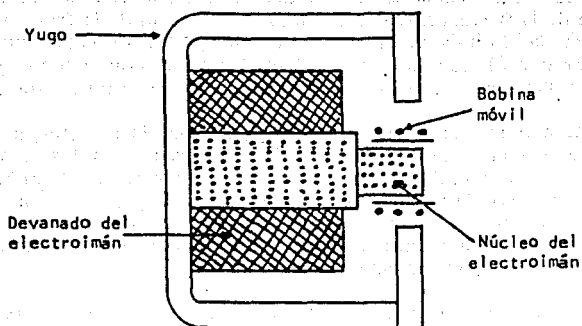


Figura 3

Dado que la polaridad del electroimán debe ser invariable, éste se -- excita a partir de la corriente continua de alta tensión proporcionada - por el circuito rectificador. Al mismo tiempo, la bobina de excitación del altavoz actúa como inductancia de filtrado de la corriente continua rectificada, tal como se muestra en la fig. 4. Aunque en la actualidad este tipo de altavoz está totalmente fuera de uso en los equipos de alta fidelidad.

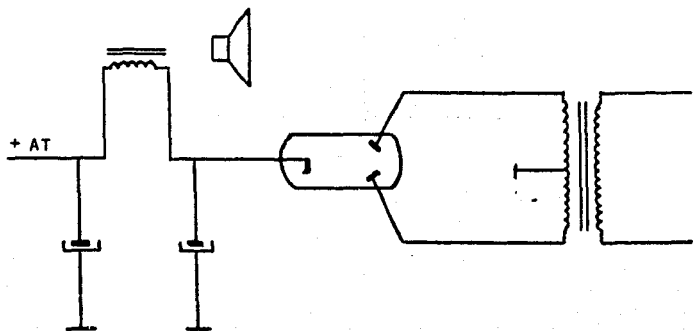


Figura 4

2.3. Altavoces Electroestáticos.

Es un transductor sensible al voltaje y que tiene una alta impedancia. El principio de funcionamiento está basado en la variación de la distancia de las placas de un condensador, una fija y otra móvil. Las tensiones de frecuencia variable hacen variar la atracción entre un diafragma y una placa, haciendo mover el diafragma, tal como se muestra en la fig. 5.

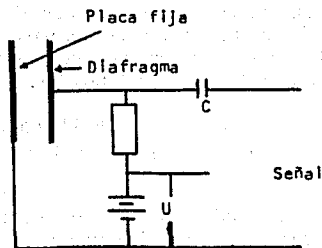


Figura 5

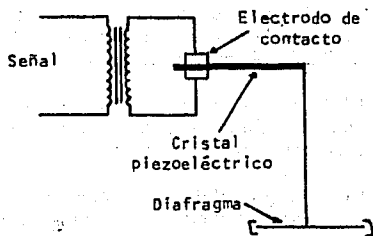


Figura 6

El condensador C tiene por misión el bloqueo de la tensión continua de polarización U, ofreciendo una impedancia despreciable a las señales que excitan el altavoz.

Estos altavoces tienen una respuesta de frecuencia mucho más amplia que los altavoces piezoeléctricos, pudiendo reproducir toda la gama de audio. Sin embargo, no son apropiados para bajas frecuencias de operación debido a la pequeña separación de los electrodos.

2.4. Altavoces Piezoeléctricos.

El principio de funcionamiento se basa en las deformaciones que sufren los cristales piezoeléctricos cuando se les aplica una tensión alterna entre dos de sus caras.

La tensión modulada de la etapa de salida del amplificador se aplica a las caras laterales de una lámina de cristal piezoeléctrico, mediante unos electrodos de contacto. El cristal va unido mecánicamente a un diafragma, el cual entra en vibración con las deformaciones sufridas por el cristal, tal como se muestra en la figura 6.

Este tipo de altavoz, únicamente se utiliza en algunos equipos profesionales para la reproducción de los agudos.

2.5. Altavoces para Tonos Graves.

Estos altavoces poseen una frecuencia de resonancia muy baja, de modo que puedan reproducir las notas más graves de audio. Como la frecuencia de resonancia disminuye al aumentar las dimensiones del diafragma, entonces, estos altavoces son los que poseen mayores dimensiones en el cono.

La curva de respuesta debe presentar el máximo hacia los 20 Hz (límite inferior de las frecuencias de audio), existiendo altavoces en el comercio con frecuencia de resonancia mucho más pequeña. La parte --recta de la curva de resonancia idealizada no debe extenderse más allá de 3,000 Hz para presentar una frecuencia de corte de 4,000 Hz.

El diámetro de estos altavoces debe ser, como mínimo, de 12" (30 cm), aunque existen unidades con dimensiones inferiores que proporcionan excelentes resultados.

El diafragma debe ser rígido pero de suspensión suave, razón por la cual estos altavoces poseen unas corrugaciones muy delgadas y flexibles en el extremo superior del diafragma.

2.6. Altavoces para Tonos Medios.

Estos altavoces poseen una respuesta en frecuencia comprendida entre una frecuencia de resonancia no superior a los 200 Hz y una frecuencia de corte entre los 6 y 8 kHz.

Puede emplearse como altavoz para estos tonos, altavoces cuyo diámetro esté comprendido entre 5 y 10 pulgadas. Estos altavoces no presentan ninguna característica especial que se deba mencionar.

2.7. Altavoces para Tonos Agudos.

La frecuencia de resonancia de estos altavoces está situada entre los 1,000 y 4,000 Hz, con una frecuencia de corte situada en ocasiones --por encima de los 20 kHz (límite superior de las frecuencias audibles).

Estos altavoces emplean diámetro pequeño en su diafragma, por lo ---cual se dice que cuanto menor sea el diámetro del diafragma mejor se rá la reproducción de los agudos.

Los altavoces especialmente diseñados para altas frecuencias, son --del tipo trompeta como el mostrado en la siguiente figura.

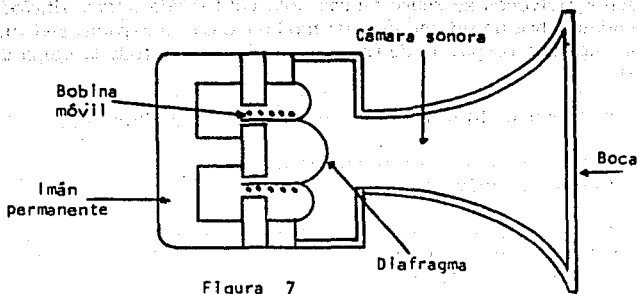


Figura 7

2.8. Altavoces Elípticos.

Es el resultado de la combinación de 2 altavoces de diámetros diferentes. Así, el altavoz elíptico representado con línea gruesa equivale a dos altavoces, uno de diámetro D para graves y otro de diámetro d para agudos, representados con líneas delgadas, tal como se muestra en la siguiente figura.

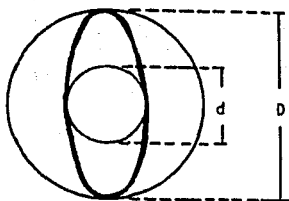


Figura 8

La sección del diafragma es exponencial, a fin de favorecer la respuesta a altas frecuencias. Este tipo de altavoz no soluciona totalmente la reproducción de toda la gama de audio, ya que su respuesta a las notas graves es diferente.

Se utiliza mucho en los aparatos cuyo espacio es reducido y en los que no se exige gran calidad en la reproducción del sonido, como televisores, radios, etc.

A fin de obtener una buena distribución de la energía acústica, el altavoz debe instalarse de modo de que el diámetro mayor quede en posición vertical.

2.9. Altavoces Coaxiales.

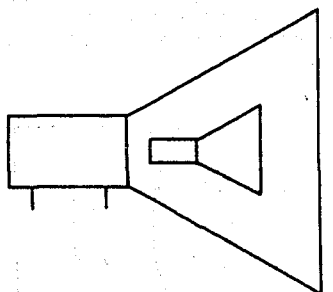
En estos altavoces se reúne en una sola unidad dos o tres altavoces - montados sobre un mismo eje, de modo que en un espacio reducido, - se obtenga una respuesta de frecuencia plana para toda la gama de -- audio.

Existen 2 formas diferentes de conexión de estos altavoces:

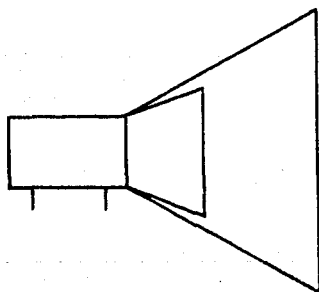
- a) Con bobina móvil independientes.
- b) Con bobina móvil común.

Con estos altavoces se puede obtener una reproducción completa de toda la gama de audiofrecuencia, con resultados más satisfactorios que con los altavoces elípticos.

En las siguientes figuras se muestran las 2 diferentes maneras de conexión de estos altavoces.



Bobinas móviles independientes



Bobinas móviles en común

Figura 9

3. Conversión de Energía.

La transformación de energía eléctrica en energía acústica se hace en 3 etapas:

- Transformación de energía eléctrica en mecánica (Bobina).
- Transformación de energía mecánica en acústica (Diafragma).
- Acoplamiento de la impedancia de carga a la impedancia interna del altavoz (Bocina).

Atendiendo a estas características, se pueden dividir los órganos constituyentes de un altavoz en las siguientes partes:

- Parte electromagnética. Constituido por el imán y la bobina móvil. En esta parte la energía eléctrica llega a la bobina móvil situada dentro del campo magnético del imán, y por tanto, se produce el movimiento de la bobina-móvil.
- Parte mecánica. Constituida por el cono y su suspensión. Sobre el cono está montada la bobina móvil, la cual al moverse, arrastra al primero haciéndolo vibrar.
- Parte acústica. Es la que transmite al recinto de audición la energía sonora desarrollada por el cono.

4. Analogía Electroacústica.

Los sistemas acústicos se representan y analizan mediante analogías electro-acústicas equivalentes, las cuales se obtienen comparando las ecuaciones diferenciales de movimiento para ambos sistemas. Los sistemas acústicos y eléctricos son análogos si sus ecuaciones diferenciales de movimiento son similares entre sí.

Hay 2 analogías eléctricas para sistemas acústicos: la de voltaje-presión y la de corriente-presión, como se muestra en la siguiente tabla:

SISTEMA ACUSTICO		SISTEMA ELECTRICO	
		Voltaje-Presión	Corriente-Presión
p	Presión (nt/m^2)	v	Voltaje (V)
M_a	Inertancia (Kg/m^4)	L	Inductancia (h)
X	Desplaz. Volum. (m^3)	q	Carga (Culomb)
X	Vel. Volumétr. (m^3/s)	i	Corriente (a)
R _a	Resistencia ($\text{nt-g}/\text{m}^3$)	R	Resistencia (Ω)
C _a	Capacitancia (m^5/nt)	C	Capacitancia (f)
Z _a	Impedancia (Ω)	Z	Impedancia (Ω)
		i	Corriente (A)
		C	Capacit. (f)
		$\int v dt$	Impulso (v-s)
		v	Voltaje (v)
		1/R	Conduct. (σ)
		L	Inductanc. (h)
		1/Z	Admitanc. (σ)

La inercia acústica se define como:

$$M_a = \frac{\text{presión acústica}}{\text{tasa de cambio de la vel. volumétrica}} = \frac{p}{dX/dt}$$

La resistencia acústica se define como:

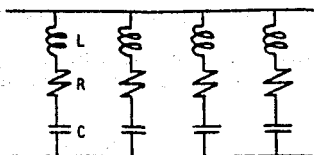
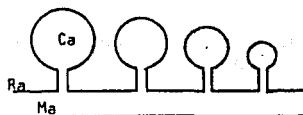
$$R_a = \frac{\text{presión acústica}}{\text{velocidad volumétrica}} = \frac{p}{dX/dt}$$

La capacitancia acústica se define como:

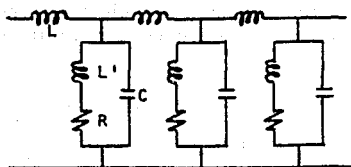
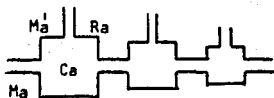
$$C_a = \frac{\text{desplazamiento volumétrico}}{\text{presión acústica}} = \frac{\dot{X}}{p}$$

Ejemplos de circuitos eléctricos equivalentes de sistemas acústicos:

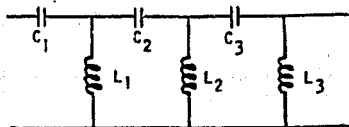
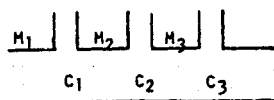
A) Serie de resonadores de Helmholtz.



B) Filtro acústico de paso bajos.



C) Filtro acústico de paso altas.



5. Condiciones Necesarias.

Todo altavoz debe cumplir con:

- Intensidad uniforme de sonido para todas las frecuencias audibles.
- Ausencia de resonancias capaces de responder a una frecuencia diferente de las transmitidas.
- Posibilidad de producir una combinación de frecuencias, en una intensidad proporcional a la inicial.
- Ausencia de distorsiones.
- Potencia acústica de salida que viene dada por:

$$W = \frac{\Phi^2 R_r I^2}{Z_{mI}^2} = \frac{\Phi^2 R_r E^2}{Z_{mI}^2 Z_I^2} \quad (\text{watts})$$

donde:

$$\Phi = BL.$$

B = densidad de flujo magnético (weber/m²)

L = longitud de la bobina de voz (m).

R_r = resistencia de radiación (Kg/seg).

Z_{mI} = resistencia mecánica total (Kg/seg).

Z_I = impedancia eléct. total de entrada (Ω)

I = corriente (A).

E = voltaje aplicado (V).

6. Características de los Altavoces.

- Impedancia. Es la resistencia a la corriente alterna de la bobina móvil, la cual depende del tipo y de su forma constructiva. - Los factores determinantes son:
 - La resistencia óhmica del hilo de la bobina móvil, dependiente de la longitud, sección y material del hilo.
 - La reactancia inductiva de la bobina móvil, dependiente de la frecuencia aplicada y del coeficiente de autoinducción de la misma.
 - Las corrientes inducidas en la bobina móvil, a causa de sus desplazamientos dentro del campo magnético de excitación del imán permanente.

Este tercer factor es el más difícil y delicado de mantener constante, pues como la bobina móvil arrastra en su movimiento al diafragma y a la masa de aire que lo rodea, dichos desplazamientos estarán condicionados por la forma constructiva del altavoz.

Los fabricantes de altavoces procuran que el diseño de los mismos afecte lo menos posible a la impedancia, ya que su variación provoca una variación de la recta de carga de la válvula o transistor amplificador de salida, y como consecuencia, un aumento de la distorsión. Indican la impedancia de los altavoces para una frecuencia dada y ya preestablecida internacionalmente, cuyo valor es de 1 kHz. Para esta frecuencia, la impedancia de los altavoces dinámicos oscila entre 2 y 800 ohms, siendo los valores más usuales los de 4 y 8 ohms.

- b) Frecuencia de Resonancia. Esta marca el límite inferior de la curva de respuesta del altavoz, es decir, el altavoz es inoperante para frecuencias inferiores a la de resonancia. Se define como la frecuencia natural de vibración del diafragma y de la bobina móvil.

La siguiente figura muestra la curva de impedancia de un altavoz en función de la frecuencia y en la que se señala la frecuencia de resonancia f_r ; es decir, el valor de frecuencia para la cual la impedancia es máxima, se denomina frecuencia de resonancia.

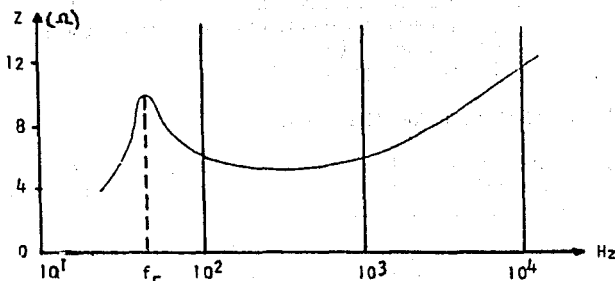


Figura 10

La frecuencia de resonancia depende esencialmente de las características constructivas del altavoz, tales como el sistema mecánico de montaje, masa del cono, carga acústica, etc., y es inversamente proporcional al diámetro del diafragma, es decir, cuanto mayor es el diámetro del diafragma, mayor es la frecuencia de resonancia del altavoz.

La siguiente figura muestra las diferentes curvas de impedancia en función de la frecuencia y en la cual se ve que cuanto menor es el diámetro del altavoz, mayor es la frecuencia que necesita aplicarse al altavoz para que su impedancia sea máxima.

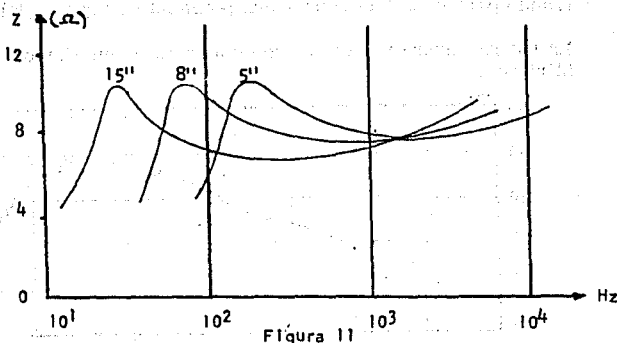


Figura 11

No sólo el diámetro, sino también la rigidez y suspensión del -- diafragma influye sobre el valor de la frecuencia de resonancia. Así, un diafragma muy rígido tiene una frecuencia de resonancia más elevada que un diafragma suave y cuanto más fuerte sea la suspensión del diafragma, mayor será la frecuencia de resonancia.

Para determinar la frecuencia de resonancia de un altavoz se -- emplea el siguiente diagrama. El generador G es un oscilador -- con potencia de salida independiente de la frecuencia que permite definir en un voltmetro los valores máximo y mínimo, proporcionales a los correspondientes valores de impedancia de la bobina móvil.

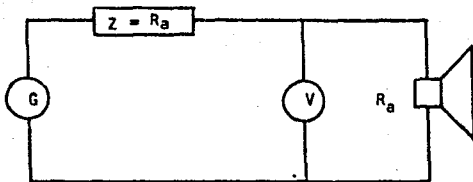


Figura 12

- c) **Curva de Respuesta de Frecuencia.** Es una de las características más importantes, pues mediante ella se puede conocer la intensidad sonora proporcionada por el altavoz para cada una de las frecuencias de audio que debe producir. Se obtiene suministrando para cada frecuencia una potencia siempre igual al altavoz.

La figura muestra la curva de respuesta de un altavoz: AD 6980/M Miniwatt.

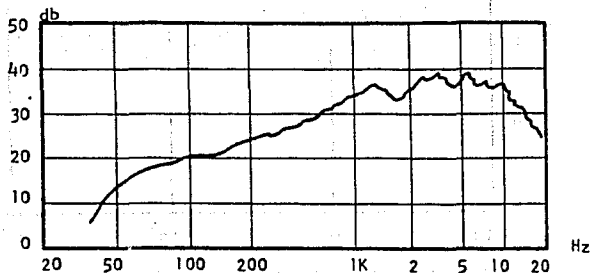


Figura 13

Al inicio de la curva, en las bajas frecuencias, se encuentra un máximo. Este máximo es el de la frecuencia de resonancia del diafragma. A continuación la curva oscila en mayor o menor grado, para llegar en su extremo derecho a la denominada frecuencia de corte. Las oscilaciones carecen de importancia siempre que entre una cresta y un valle próximos de la misma, no exista una diferencia de intensidades sonoras mayor de 10 db.

Un altavoz entra dentro de la categoría de alta fidelidad, cuando el máximo de la frecuencia de resonancia no excede en más de 5 db al mínimo que le sigue.

La frecuencia de corte es aquella para la que la intensidad sonora proporcionada por el altavoz es aproximadamente de 3 a 5 db inferior a una recta imaginaria, sustitutiva a la curva de respuesta para el centro de la banda.

- d). **Potencia Admisible.** Es el valor máximo de potencia eléctrica que puede aplicarse al altavoz, durante un corto intervalo de tiempo sin que éste se deteriore, la cual depende de sus dimensiones y forma constructiva.

No debe confundirse la potencia admisible con la potencia de régimen, la cual es la potencia máxima que puede aplicarse a un altavoz en forma continua. Normalmente, los fabricantes dan ambos datos.

En las figuras siguientes se muestran las formas de los altavoces con diafragma cónico de sección recta que admiten mayores potencias, a igualdad de diámetro, y altavoces con diafragma de sección elíptica o plana que admiten menor potencia.



Figura 14

- e) **Directividad o Radiación.** Es la energía acústica proporcionada por el altavoz que no es enviada omnidireccionalmente al espacio, sino que se envía a todas las direcciones según unas características de direccionalidad bien determinadas. Para conocer la directividad de un altavoz, se recurre a los diagramas de radiación, los cuales se trazan para diversas frecuencias, ya que ha medida que crece la frecuencia, para un mismo diafragma, - el altavoz se hace más directo.

En la siguiente figura se muestran 2 curvas de directividad de un altavoz AD 0160/T Miniwatt, para 2 frecuencias diferentes. Se considera al altavoz de cara a la dirección 0°.

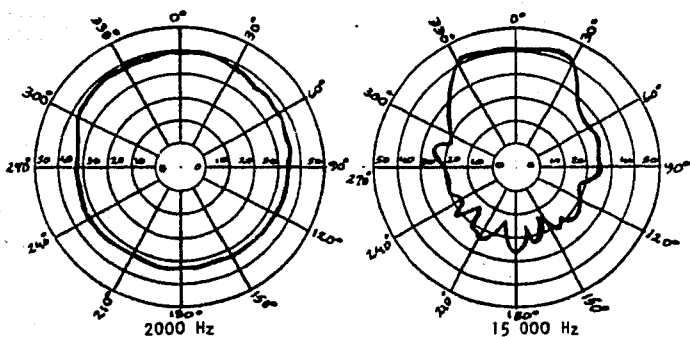


Figura 15

f) Resistencia de la Bobina Móvil. Es la resistencia, en corriente continua, del hilo que constituye el devanado de la bobina móvil y es la que determina la potencia disipada en calor por efecto Joule. Normalmente, su valor oscila entre 2 y 8 ohms. Estos valores se encuentran en catálogos elaborados por los fabricantes, siendo este valor de resistencia, uno de los datos importantes que debe conocerse.

g) Campo Magnético del Imán Permanente. Las 3 características más importantes de este imán son:

i) El material constituyente, normalmente Ferroxdure, su diámetro y las densidades de flujo proporcionado por el imán.

ii) La densidad de flujo es proporcionada por el fabricante y se mide en Teslas.

iii) La densidad de flujo magnético oscila, para la mayoría de los altavoces, alrededor de 1 Tesla.

7. Medición de las Características de los Altavoces.

a) Curva de Respuesta de Frecuencia. Se obtiene la presión sonora medida en el eje del altavoz, en función de la frecuencia. Los ensayos pueden realizarse alimentando al altavoz a tensión constante o corriente constante.

b) Eficacia Absoluta. Se define como la relación entre la presión sonora irradiada por el altavoz y la raíz cuadrada de la potencia eléctrica suministrada a una frecuencia de 1 kHz.

c) Respuesta a los Fenómenos Transitorios. Cuando conectamos o suprimimos bruscamente una señal eléctrica aplicada a un altavoz, la señal acústica viene acompañada por deformaciones y señales parásitas debidas a la inercia del sistema y a resonancias secundarias acústicas y mecánicas. El examen de la forma de régimen transitorio y la evaluación de su energía permite apreciar la importancia del fenómeno en función de la frecuencia. Si el régimen transitorio es despreciable, la calidad es buena, pero si el transitorio es importante, es señal de un amortiguamiento defectuoso y de la presencia de resonancias parásitas.

CAPITULO IX

BAFFLES

1. Conexión de los altavoces.

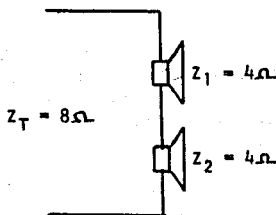
Todo equipo de alta fidelidad debe poseer, al menos, dos altavoces, - uno de graves y otro de agudos. El problema que se plantea, entonces, es cómo acoplar dichos altavoces a la salida del amplificador, lo cual se resuelve mediante la utilización de filtros divisores de frecuencia.

Para una conexión correcta de los altavoces debe tenerse en cuenta, - además de la potencia nominal y potencia admisible, la impedancia propia de cada unidad y de salida del amplificador. La impedancia de salida del amplificador debe coincidir con la impedancia total de los altavoces (bobina móvil) conectados a ella. Los altavoces pueden conectarse:

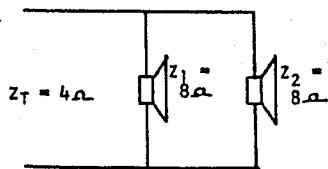
- a) **Conexión en Serie.** La impedancia total de dos o más altavoces es igual a la suma aritmética de las impedancias parciales; es decir,

$$Z_T = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$$

Este sistema de conexión se utiliza en aquellos casos en los que la impedancia de los altavoces es inferior a la impedancia de salida del amplificador. La figura muestra el tipo de conexión.



CONEXION SERIE
Figura 1



CONEXION PARALELO

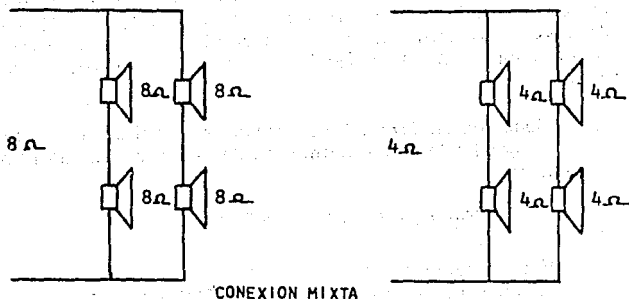
Figura 2

- b) **Conexión en Paralelo.** La inversa de la impedancia total de dos o más altavoces es igual a la suma de los inversos de las impedancias parciales; es decir.

$$\frac{1}{Z_T} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n}$$

Este sistema de conexión se utiliza en aquellos casos en los que la impedancia de los altavoces es superior a la impedancia de salida del amplificador. La figura muestra el tipo de conexión.

- c) **Conexión Mixta.** Cuando la potencia entregada por el amplificador es superior a la que pueden disipar los altavoces, se recurre a esta conexión de forma que entre todos disipen la potencia que entrega el amplificador. La impedancia total está basada en las fórmulas de las 2 conexiones anteriores. Las figuras muestran 2 arreglos de este tipo de conexión.



CONEXION MIXTA

Figura 3

Siempre que sea posible, conviene conectar los altavoces a paralelo y no en serie.

Si se ignora la impedancia del altavoz puede determinarse fácilmente y con bastante aproximación con un óhmetro. La diferencia entre la resistencia a la corriente continua y la alterna es aproximadamente de un 10 %. Así se puede determinar la impedancia del altavoz aumentando en un 10 % el valor óhmico medido para corriente continua.

El incremento aparente de la impedancia del altavoz en frecuencias próximas a la resonancia propia tiene su causa en la creciente amplitud del desplazamiento de la membrana, lo cual hace que se pierda la adaptación al amplificador, por tanto, se reduce la potencia máxima que éste pueda entregar sin distorsión al altavoz. De esto se deduce que a menor impedancia resultante de la conexión en paralelo y en serie de 2 altavoces con diferentes frecuencias propias, corresponde mejor reproducción de los graves. Sobre todo si se trabaja con altavoces de graves con un baffle abierto.

En la conexión conjunta de varios altavoces se debe tener en cuenta -

la carga admisible de la combinación. No utilizando divisores de frecuencia, la capacidad de carga del sistema viene dado por el número de altavoces multiplicado por la carga nominal del menos potente. Por tanto, no procede combinar altavoces de mucha potencia con otros de poca potencia nominal cuando lo que se pretende es obtener mucha capacidad de carga. Por ejemplo si se conectan cuatro altavoces, de los cuales uno puede soportar una carga de 2 w y los otros tres 8 w cada uno, según la conexión mixta, la capacidad de carga de la combinación será de $4 \times 2 \text{ w} = 8 \text{ w}$.

2. Filtros divisores de frecuencia.

Estos filtros tienen por finalidad la de separar las frecuencias de audio, para que puedan aplicarse al altavoz adecuado; se sitúan a la salida del amplificador, es decir, entre el devanado secundario del transformador de salida de audio y el altavoz. Los filtros son simples circuitos compuestos por inductancias y condensadores, y su principio de funcionamiento está basado en el hecho de que la reactancia inductiva es tanto mayor cuanto mayor sea la frecuencia de la corriente aplicada a sus bornes, mientras que la reactancia capacitiva es tanto mayor cuanto menor sea la frecuencia de la corriente aplicada a sus bornes. En la práctica se emplean filtros con 6, 12 y 18 db de amortiguamiento por octava.

Un filtro para 6 db de amortiguamiento por octava se compone de una inductancia conectada en serie con el altavoz de graves (W = Woofer) y un condensador en serie con el altavoz de agudos (T = Tweeter) como se muestra en la figura:

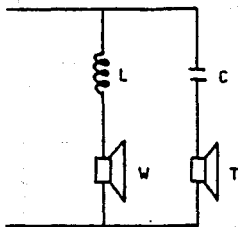


Figura 4

La inductancia L y el condensador C se calculan por medio de las expresiones:

$$L = \frac{160 \cdot R}{f_0} \quad \text{mh}$$

$$C = \frac{160,000}{f_0 \cdot R} \quad \mu\text{F}$$

donde:

f_0 = frecuencia de separación de las curvas de amortiguamiento.

R = impedancia del altavoz.

En la mayoría de los casos, estos divisores de 6 db son insuficientes - para una reproducción de alta calidad, ya que el solapamiento es demasiado amplio lo cual se traduce en discontinuidades de frecuencias y distorsiones. Por ello se utilizan los divisores de 12 db por octava de amortiguamiento como el mostrado en la figura:

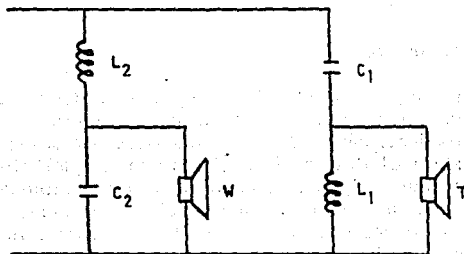


Figura 5

Las inductancias y capacitancias se calculan del siguiente modo:

$$C_1 = \frac{1}{3.2 \cdot f_0 \cdot R \cdot \pi} \text{ F}$$

$$L_1 = \frac{R}{2 \cdot f_0 \cdot \pi} \text{ H}$$

$$C_2 = \frac{1}{2 \cdot f_0 \cdot R \cdot \pi} \text{ F}$$

$$L_2 = \frac{1.6 \cdot R}{2 \cdot f_0 \cdot \pi} \text{ H}$$

En ocasiones no es suficiente una atenuación de 12 db/octava, por lo que se emplean divisores con 18 db/octava como el mostrado en la figura:

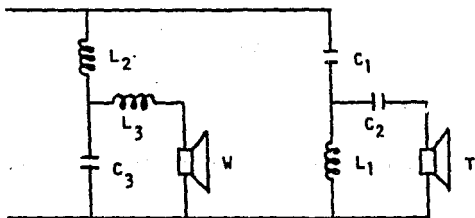


Figura 6

Las características inherentes a estos divisores se calculan mediante las formas siguientes:

$$C_1 = \frac{1}{3.2 \pi \cdot f_0 \cdot R} \text{ F}$$

$$C_2 = \frac{1}{2 \pi \cdot f_0 \cdot R} \text{ F}$$

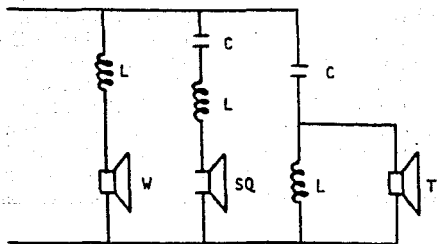
$$C_3 = \frac{2}{2 \pi \cdot f_0 \cdot R} \text{ F}$$

$$L_1 = \frac{R}{4 \pi \cdot f_0} \text{ H}$$

$$L_2 = \frac{1.6 \cdot R}{2 \pi \cdot f_0} \text{ H}$$

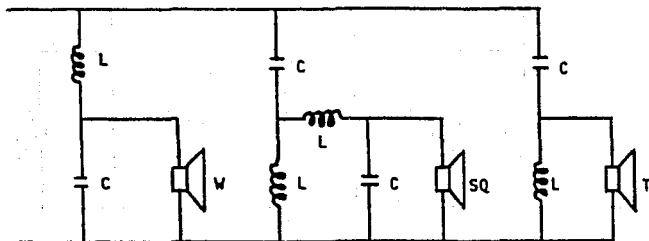
$$L_3 = \frac{R}{2 \pi \cdot f_0} \text{ H}$$

Existen filtros con 6 db/octava y 12 db/octava de amortiguamiento compuestos de 3 altavoces, uno para frecuencias graves, otro para frecuencias medias (SQ=Squawk) y el último para frecuencias agudas, como se muestra en las siguientes figuras:



FILTRO CON 6 db/octava

Figura 7



FILTRO CON 12 db/octava

Figura 8

Los valores de inductancias y capacitancias para estos divisores de 3 canales se toman de los ábacos existentes para dichos elementos constitutivos.

La capacidad del condensador del altavoz de medios ha de ser superior a la del condensador del altavoz de agudos, ya que cuanto mayor sea la capacidad del condensador, menor será la reactancia del mismo al paso de la corriente alterna y, por lo tanto, el condensador del altavoz de medios, al ser de capacidad superior, dejará pasar las frecuencias -- más bajas que el condensador del altavoz de agudos.

Los condensadores tienen un valor que oscila entre unos pocos microfarads hasta unos $50\mu f$, según dejen pasar las altas o medias frecuencias, respectivamente. El valor de las inductancias oscila, normalmente, entre 3 milihenrys y algunas décimas de mh, según dejen pasar las bajas o medias frecuencias, respectivamente.

En ciertos casos puede ocurrir que un filtro esté perfectamente equilibrado y, sin embargo, el sonido que proporciona resulte chillón como consecuencia de un predominio de los tonos agudos. Ello es debido a - que los altavoces para tonos medios y agudos tienen mayor rendimiento que los de graves. En estos casos debe añadirse a los filtros unos atenuadores que reduzcan la cantidad de energía aplicada a los altavoces, es decir, conectar el cursor de un potenciómetro a los altavoces de medios y agudos, de forma que mediante la regulación de la posición del cursor pueda derivarse mayor o menor energía hacia los citados -- altavoces, como lo muestra la figura, y en la cual se dan los valores - de los componentes.

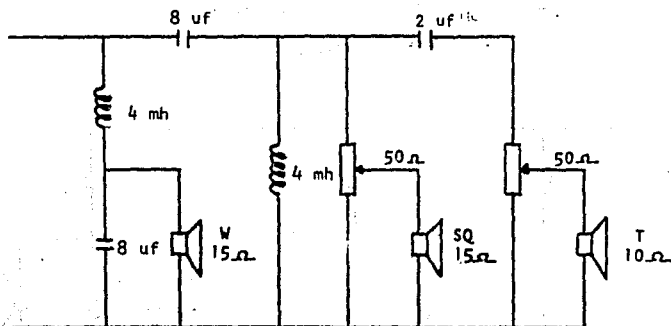


Figura 9

Con lo visto anteriormente, se concluye que el cálculo de un filtro divisor de frecuencias es bastante complejo. Debe en primer lugar fijarse la frecuencia de cruce (es el punto de unión entre la curva de respuesta de baja y media frecuencia o entre la de media y alta frecuencia), y en función de ésta, obtener los valores de inductancia y capacitancia de los componentes. La dificultad mayor estriba en el hecho de que los valores obtenidos no son de fabricación estándar, por lo que al utilizarse componentes con valores aproximados, la frecuencia de cruce varía y el filtro no funciona como se había previsto en un principio.

3. Baffles o Deflectores.

Son los gabinetes, cajas o pantallas acústicas que impiden la interacción perjudicial entre las ondas generadas en la parte anterior y posterior del altavoz.

Supóngase que en un instante dado el diafragma se desplaza hacia adelante, provocando una compresión del aire situado en la parte anterior. Al mismo tiempo el aire en contacto con la parte posterior del diafragma sufre un enrarecimiento o depresión, por lo cual, el frente de presión originado en la cara anterior del diafragma y que avanza en todas direcciones, alcanza la cara posterior y anula en parte la depresión que allí se origina, tal como se aprecia en la figura, y cuyo fenómeno se conoce como cortocircuito acústico.

Para evitar el corto circuito acústico, debe proveerse al altavoz de una caja acústica que impida la acción de una onda sobre otra, o sea, que sus efectos se anulen parcialmente.

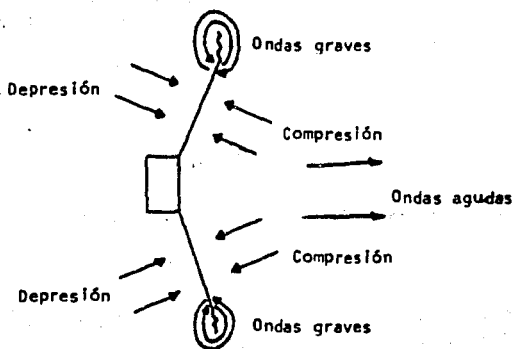


Figura 10

Cabe señalar que sin el baffle, ningún altavoz dinámico puede radiar los tonos graves, debido a que sus ondas acústicas se propagan en forma esférica desde su punto de origen; es decir, las ondas que parten de la cara anterior pueden llegar a la cara posterior y viceversa.

Puesto que los tonos agudos son radiados en línea recta, las ondas originadas en la cara anterior no pueden llegar a la cara posterior del cono del altavoz.

Existen diferentes tipos de baffles, a saber:

- a) Baffle Plano. Está constituido por una simple placa plana, provista de un orificio circular en el que se coloca el altavoz, como lo muestra la figura.

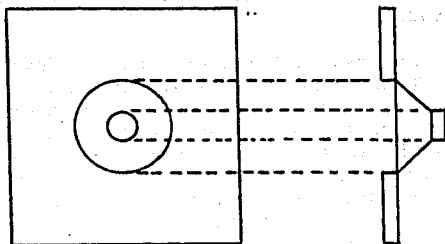


Figura 11

Este tipo de baffle separa eficazmente las dos ondas sonoras generadas por el altavoz, siempre y cuando la longitud de dichas ondas sea mucho menor que las dimensiones del baffle. Para las frecuencias bajas, el baffle debe tener una gran superficie, siendo su diámetro, aproximadamente, la semilongitud de onda de la frecuencia más baja que se desea reproducir, es decir:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{y} \quad d = \frac{\lambda}{2}$$

Por ejemplo para una frecuencia de 30 Hz se tiene que

$$\lambda = \frac{340}{30} \approx 11.3 \quad \therefore \quad d = \frac{11.3}{2} \approx 5.7 \text{ m}$$

Lo cual es muy excesivo, por lo que se concluye que, cuanto mayor sea la longitud de onda que deba proporcionar el altavoz, mayor deberán ser las dimensiones del baffle. En la siguiente figura se comparan 2 baffles de dimensiones distintas y cómo la onda indirecta ha de recorrer

una mayor distancia para llegar al punto P que la onda directa.

Para poder radiar un 80 % del rendimiento acústico posible, el diámetro del baffle debe tener, un tercio de la longitud de onda máxima a radiar: Para una frecuencia de 30 Hz se necesita un baffle de 3,5 m. de diámetro.

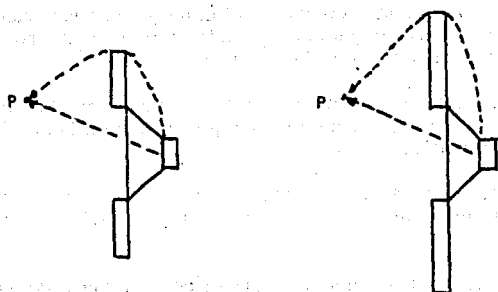


Figura 12

Un dato muy importante es la puesta en fase de los altavoces; ello se consigue aplicando una pila de 1.5 V a los bornes de cada uno de los altavoces, de forma que todos los conos se desplacen en el mismo sentido, se marca entonces la polaridad de los bornes y se conectan a los filtros de la forma adecuada.

La curva de presión acústica-frecuencia de un altavoz con baffle varía de acuerdo a la posición en que esté montado el altavoz en el baffle, y de cuya respuesta se aconseja montar el altavoz en un punto cercano a uno de los ángulos de la caja, tal como se muestra en las siguientes figuras:

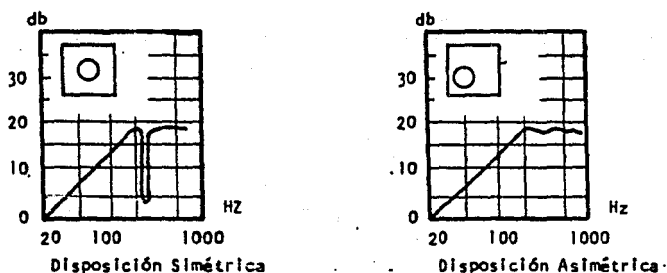


Figura 13

En lo posible, los altavoces deben sujetarse no por detrás sino por delante del baffle. Esto es particularmente importante para los altavoces de las frecuencias medias y altas.

En los pequeños altavoces, la relación diámetro de la membrana / grueso del baffle es desfavorable por producirse un efecto de cavidad, tanto mayor cuanto más profundo es el cono y, en consecuencia, resonancias en esta cavidad con determinadas frecuencias, por lo cual se radían estas frecuencias de modo selectivo.

Esta perturbación se evita montando el altavoz sobre la cara anterior del baffle, de modo que la membrana quede en un mismo plano con la superficie del baffle.

Los altavoces para frecuencias medias y altas se construyen de modo que la membrana coincida con la superficie del baffle, es decir, enrasado.

Las figuras muestran el montaje hermético y biselado de un altavoz sobre un baffle.

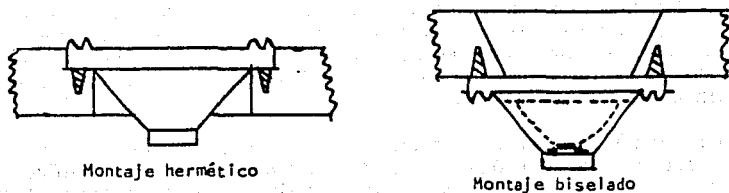


Figura 14

Si resulta difícil montar el altavoz como lo explicado anteriormente, lo más práctico es montarlo sobre un tablero adicional, de 15 a 25 mm. de espesor como se muestra en la siguiente figura.

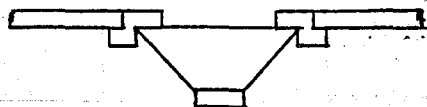


Figura 15

- b) **Baffle de Resonancia Abierto (por detrás).** Es una variante del visto en el párrafo anterior, con el fin de reducir sus dimensiones, y obligar a la onda indirecta a recorrer un trayecto mucho mayor que la onda directa, como se muestra en la figura.

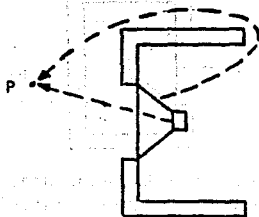
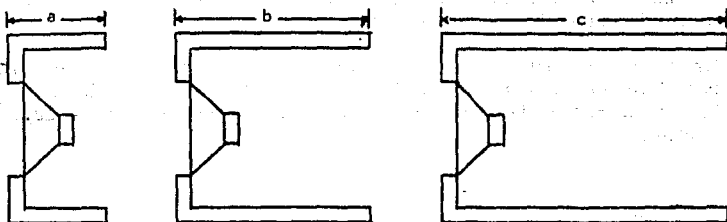


Figura 16

Debido a que en este tipo de baffles se presentan resonancias muy molestas, ocasionadas por la profundidad de la caja, se recomienda que dicha profundidad no sea mayor que el tercio de su anchura si se desea que la curva de presión acústica sea razonablemente lineal.



$$b = 2a \quad ; \quad c = 3a$$

Figura 17

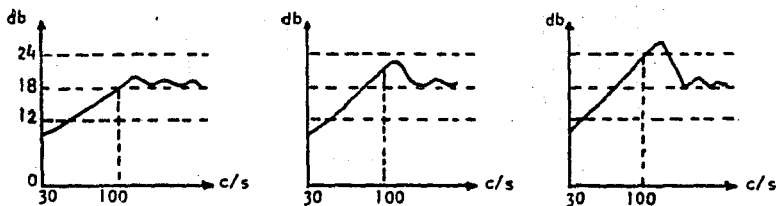


Figura 18

- c) **Baffle de Resonancia Cerrado.** Este tipo de baffle logra aislar totalmente la onda indirecta de la directa a costa de empeorar las condiciones de trabajo del altavoz, como se muestra en la figura.

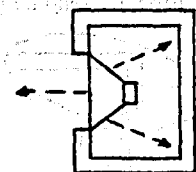


Figura 19

A causa del movimiento de vaivén de la membrana, el aire encerrado en la caja es periódicamente comprimido y enrarecido lo que aumenta la frecuencia de resonancia del altavoz. Esto conduce a un deslizamiento de la frecuencia límite inferior radiada hacia unas frecuencias más elevadas, lo que empeora la reproducción de los tonos graves. Con el fin de poder radiar los tonos bajos, el volumen de la caja no debe ser inferior a un determinado valor mínimo.

El volumen necesario de la caja es tanto mayor cuanto menos deba ser el aumento de la frecuencia de resonancia y cuanto mayor sea el diámetro de la membrana del altavoz.

En la siguiente figura se muestra cómo con la caja cerrada se produce una elevación en la frecuencia de resonancia del cono y la caída por debajo de la frecuencia de resonancia es menos abrupta que con la caja abierta.

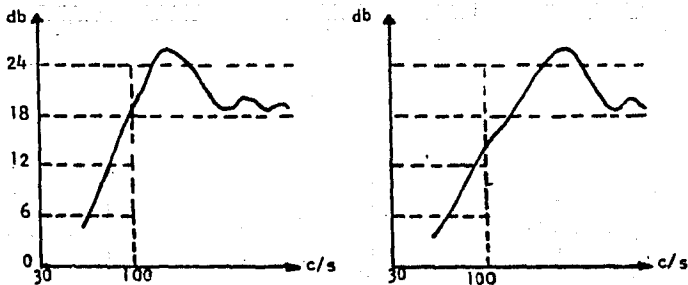


Figura 20

Estos fenómenos se reconocen mejor a través de un circuito eléctrico equivalente como el mostrado en la figura.

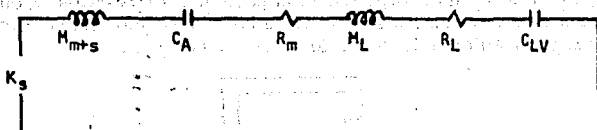


Figura 21

a) Referidos al altavoz:

M_{mts} = Masa total de la membrana y bobina móvil.

C_A = Flexibilidad de la suspensión de la membrana.

R_m = Resistencia mecánica de la suspensión.

b) Referidos a las condiciones de la caja:

R_L = Resistencia mecánica del aire en movimiento.

M_L = Masa de aire exterior puesta en movimiento.

C_{LV} = Elasticidad del volumen de aire en la caja.

Todo el sistema, altavoz + caja, representa un circuito de resonancia en serie cuya frecuencia de resonancia depende de C_{LV} , C_A y M_{mts} , mientras que R_L y M_L no dependen de la abertura del altavoz por estar referidos al aire exterior se distinguen 2 casos diferentes.

- A) Si $C_{LV} \gg C_A$, es decir, si se trata de una caja de gran volumen, se puede reducir la frecuencia de resonancia del altavoz instalado aumentando C_A , o sea, por una suspensión más blanda.
- B) Si $C_{LV} < C_A$, es decir, si el volumen de la caja es pequeño, puede mantenerse baja la frecuencia de resonancia del altavoz instalado, si además del aumento de C_A se incrementa también la masa total M_{mts} del sistema total oscilante.

En estos baffles es importante cubrir la parte interna de la caja con una capa de 25 mm, como mínimo de lana de vidrio o material absorbente del sonido, con la finalidad de evitar las reflexiones de las ondas, especialmente las de alta frecuencia.

d) Baffle reflector de bajos. También conocido como "bass-reflex",

es una variante perfeccionada del baffle de resonancia cerrado, con el fin de reducir el pico de resonancia del altavoz y extender el margen de reproducción para los tonos bajos. Consiste en una caja cerrada, a la que se le ha practicado una ventana rectangular adicional, como lo muestra la figura.

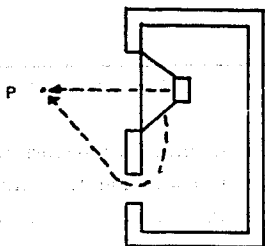


Figura 22

Su funcionamiento se basa en la resonancia mecánica, a una frecuencia dada que depende del volumen de la caja y del área de la ventana, del volumen del aire puesto en vibración por el diafragma del altavoz. En las proximidades de la frecuencia de resonancia, la onda sonora provocada por la parte posterior del diafragma del altavoz sufre en la caja una inversión de fase de forma que sale al exterior, a través de la ventana, en concordancia de fase con la onda sonora generada por la cara anterior del diafragma, y por lo tanto, se refuerzan.

Por otra parte, a la frecuencia de resonancia, la carga que el aire contenido en la caja ofrece al altavoz es mayor que a las demás frecuencias por lo que las oscilaciones del cono, a la frecuencia de resonancia, poseen una amplitud menor que a cualquier otra frecuencia. Como consecuencia de ello, si las frecuencias de resonancia del altavoz y del bass-reflex coinciden, el pico de resonancia del altavoz queda amortiguado por la mayor carga del bass-reflex, y el margen de frecuencias reproducibles se extiende gracias a la radiación sonora procedente de la ventana.

Cuanto menor sea el volumen de la caja, mayor será la frecuencia de resonancia, mientras que cuanto menor sea la superficie de su ventana menor será la frecuencia de resonancia. Es decir, la frecuencia de resonancia de un bass-reflex es directamente proporcional a la superficie de su ventana e inversamente proporcional al volumen de aire de la caja. La máxima efectividad de un bass-reflex se puede realizar de 3 formas diferentes:

- a) Ajustando la frecuencia de resonancia del altavoz a la del bass-reflex.
- b) Variando el volumen de aire de la caja.
- c) Variando la superficie de la ventana.

Puesto que el tercer método es el más fácil, rápido y económico de realizar, la sintonización se hace en la siguiente forma: se intercala entre el altavoz y la salida del amplificador una resistencia de unos 100 ohms así como un voltmetro de corriente alterna de gran sensibilidad en derivación con la bobina móvil del altavoz. A continuación se aplica una señal de unos 100 Hz a la entrada del amplificador, teniendo la ventana -- del bass-reflex totalmente cerrada. Se ajusta el volumen del amplificador de forma que la aguja del voltmetro se desvíe a un tercio de la escala. Una vez obtenida la desviación, se disminuye la frecuencia proporcionada por el generador de baja frecuencia hasta que la aguja del voltmetro marque la máxima desviación, la cual corresponde con la frecuencia de resonancia del altavoz. A continuación se abre lentamente la ventana del bass-reflex, con lo que la aguja del voltmetro comenzará a descender hasta alcanzar un mínimo. La abertura correspondiente a dicho mínimo es la de sintonía del bass-reflex con el altavoz, por lo que bastará con cerrar definitivamente la superficie de ventana sobrante, para tener el equipo ajustado.

La resonancia de la cavidad de la caja y el altavoz se comprueba fácilmente colocando una vela encendida delante de la abertura reflectora de bajos, pues en el momento de la resonancia de ambos sistemas acoplados (caja y altavoz) la llama oscila visiblemente.

La curva de respuesta del altavoz en una caja bass-reflex varía según la abertura de la ventana como lo muestra la figura.

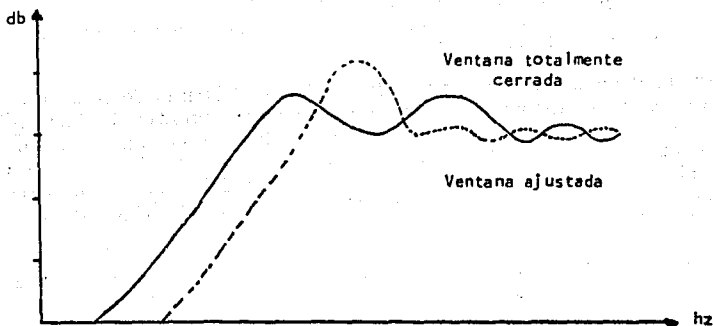


Figura 23

Existe otro tipo de bass-reflex, en el cual se consigue reducir el tamaño de la caja sin que la distancia entre el altavoz y la ventana quede tan reducida que perjudique el efecto baffle para las frecuencias superiores a la de resonancia. Consiste en la adición a la ventana de un conducto interno, de forma que la abertura quede próxima al fondo de la caja como se muestra en la figura.

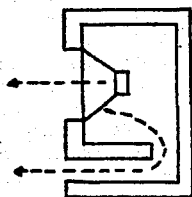


Figura 24

El volumen requerible de caja, puede calcularse según la fórmula:

$$V = \frac{c^2 \cdot A}{4 \pi^2 \cdot f_0^2 (2 \cdot \ell + 0.5 \sqrt{\pi \cdot A})}$$

donde:

V = volumen de la caja (cm³).

c = velocidad del sonido cm/s).

A = superficie de la abertura-túnel (cm²).

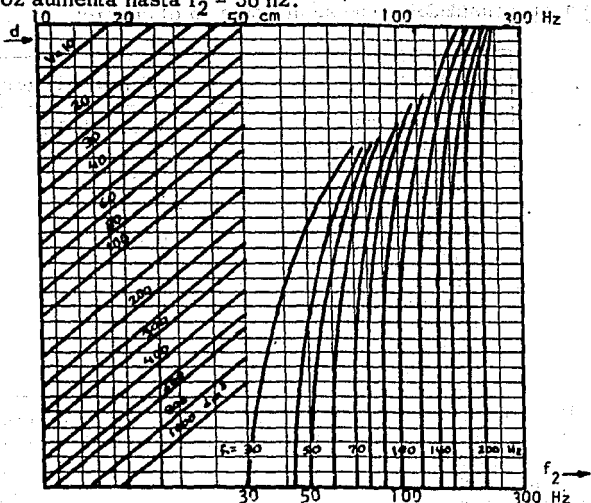
f₀ = frecuencia resonante del altavoz antes de montarse (hz).

ℓ = longitud del túnel (cm).

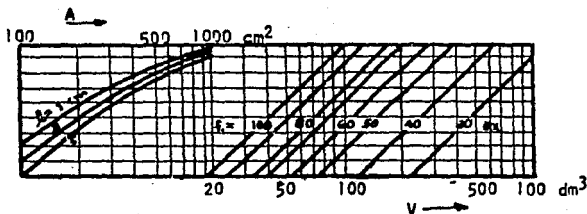
En el cálculo de la caja se parte de un altavoz determinado cuya superficie de membrana y frecuencia resonante sean conocidas. La superficie de la abertura de reflexión de graves se hace de una magnitud aproximada a la de la membrana del altavoz. Se adopta un volumen de caja predefinido, del que se puede calcular la longitud del túnel, o bien inversamente, partiendo de una longitud definida de éste llegar al volumen de la caja.

El diagrama muestra la determinación de las dimensiones más favorables de cajas cerradas y las frecuencias de resonancia: f₁ representa la frecuencia propia del altavoz aún no instalado, f₂ la frecuencia propia del altavoz después de montado. Por ejemplo, si el diámetro de la membrana es d = 20 cm. y la frecuencia propia del altavoz f₁ = 50 hz es permisible elevar su frecuencia propia de 50 hz a f₂ = 68 Hz con un volumen de caja de V = 100 cm³.

Si el volumen de la caja es $V = 300 \text{ dm}^3$, la frecuencia de resonancia del altavoz aumenta hasta $f_2 = 56 \text{ hz}$.



El diagrama muestra la determinación de las dimensiones más favorables para una caja reflectora de bajos. Por ejemplo, si la resonancia propia del altavoz es $f_1 = 80 \text{ hz}$., entonces resulta, para la adaptación a la resonancia propia del altavoz en volumen de la caja de 45 dm^3 con una profundidad de la abertura reflectora de $\ell = 1 \text{ cm}$. y una superficie de la abertura de $A = 100 \text{ cm}^2$.



4. Construcción de Baffles.

Las precauciones y normas mínimas que deben seguirse en el diseño y construcción de un baffle son:

- Rígidez de la caja; ésta debe ser rígida para que las vibraciones sonoras, no provoquen vibraciones indeseables, lo cual se logra si el grosor de la madera es de unos 2 cm.

Existen diferentes materiales para la construcción de baffles de acuerdo a sus densidades como se muestra en el cuadro:

MATERIAL	DENSIDAD (gr/cm ³)
Espuma dura	0.02 - 0.15
Placa de fibra blanda	0.3
Pino	0.45
Nogal	0.56
Abedul	0.65
Caoba	0.67
Arce	0.68
Encina	0.72
Ladrillo	1.8
Hormigón	2.6
Mármol	2.7
Granito	2.7

Por las propiedades del ladrillo, hormigón, mármol o granito, éstas pueden ser utilizadas muy raras veces para cajas de altavoces. En su lugar se emplea madera, maderas de evolución natural de fibra larga, como pino, abeto o arce, que poseen un espesor con suficiente amortiguamiento interior, devolviendo por ello sólo pequeñas reflexiones de energía sonora.

- b) Las uniones deben estar herméticamente cerradas, incluso alrededor del cable de entrada y estar reforzadas con listones.

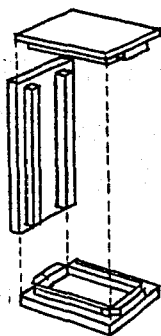


Figura 25

- c) Recubrimiento interior de la caja con una capa de unos 25 mm., como mínimo, de lana de vidrio o material amortiguador.

Para la absorción del sonido debe disponerse del material absorbente como lana o algodón el cual actúa como un disipador térmico, reduciendo la velocidad efectiva de la onda sonora.

Las figuras muestran el procedimiento recomendado en la colocación del material absorbente para una caja cerrada y una abierta:

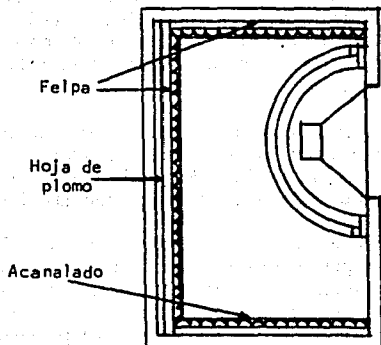


Figura 26

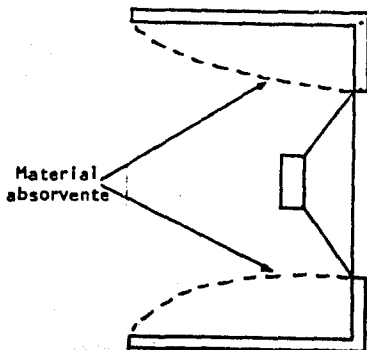


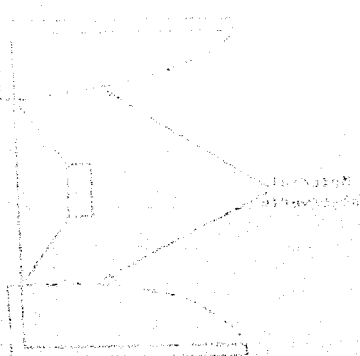
Figura 27

- d) Tratar las caras exteriores de la caja con sustancias o materiales impermeabilizantes para evitar que se deformen.
- e) Cuidar, exteriormente, el aspecto decorativo de la caja.

Por motivos de estética se recubre en la mayoría de los casos el tablero reflector, con tejidos o rejillas decorativas. Para ello debe tenerse en cuenta que los tejidos absorben las notas altas, por lo cual se debe emplear telas de recubrimiento especial, tal como las de fibras sintéticas de perlon, nylon, stramin, etc. Mejor que los tejidos son las rejillas metálicas. En lo posible no se debe recubrir por detrás la rejilla metálica con tela. Son muy decorativas las rejillas brillantes plateadas o aluminicas sobre un tablero negro la cual se fija a una cierta distancia del baffle. Entre la rejilla y la caja de madera se coloca en los bordes una banda de espuma de goma.

Existen cajas para la reproducción de graves que tienen ranuras en la cara anterior o posterior y que influyen en la impedancia de la bobina móvil a diferentes frecuencias. Influye de igual manera la forma de la caja sobre la direccionalidad y respuesta a frecuencias del altavoz.

Se puede seguir hablando de más y más detalles acerca del diseño de las cajas, pero debido a que la construcción de un baffle es muy delicada y si se desea obtener un buen rendimiento del mismo, se recomienda la compra de cajas ya construidas por firmas de reconocida solvencia en la materia y montar los altavoces con sus respectivos filtros en la forma ya indicada.



CAPITULO X

GRABACION DEL SONIDO

1. Grabación y Reproducción con Cinta Magnética.

La cinta magnética empleada en la grabación y reproducción de señales de audio consta de una base plástica con una cubierta de óxido magnético como se vé en la figura 1. La base de polivinil o acetato de celulosa usada para la cinta magnética tiene un espesor que va de .0005 a .0002 pulgadas. La capa magnética tiene un rango en espesor de .0002 a .0007 pulgadas.



Figura 1. Vista seccional de una cinta magnetica.

En la figura 2 se muestra una característica típica B-H correspondiente a la cubierta magnética. El valor $B=B_r$, llamado retentividad, es del orden de 700 a 1660 gauss. La coercitividad, $H=H_c$, es del orden de 250 a 500 oersteds. El óxido magnético incluye cobalto férrico y dióxido de cromo.

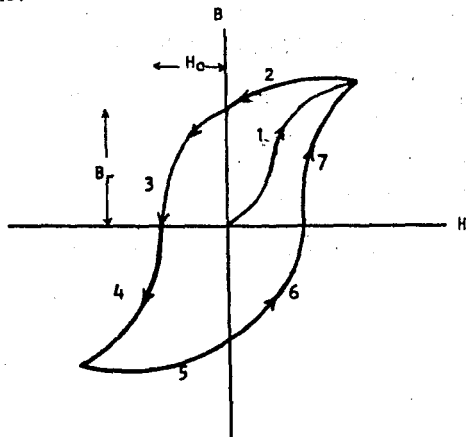
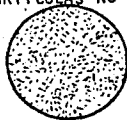


Figura 2. Característica B-H típica de la cubierta magnetica de la cinta para grabacion.

En el recubrimiento magnético de la cinta las partículas individuales es t_{an} orientadas magnéticamente en la misma dirección al ser aplicado un campo magnético con el resultado que se muestra en la figura 3. El efecto neto de la orientación es un incremento en la retentividad de 2 a 3 dB.

PARTICULAS NO ORIENTADAS



PARTICULAS ORIENTADAS

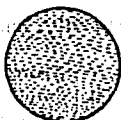


Figura 3. Vista esquemática de la cinta al aplicarse un campo magnético.

El proceso de grabación y reproducción se describe en la figura 4. El paso de la cinta por la cabeza grabadora deja una serie de secciones magnetizadas que están en correspondencia con la señal que fué aplicada a la cabeza cuando la cinta estaba en contacto con ella en cada una de esas secciones. En el proceso de reproducción, la cinta es movida junto a la cabeza con el resultado de que un cambio en el flujo magnético se produce en la cabeza cuando una sección magnetizada pasa. Este cambio en el flujo induce un voltaje en la bobina, que corresponde al voltaje de la señal original aplicada.

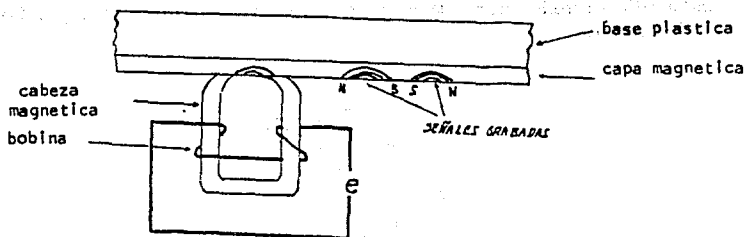


Figura 4. Proceso de grabación y reproducción.

Una visión esquemática y la red magnética de una cinta magnética y una cabeza grabadora, se muestran en la figura 5. Las corrientes i_1 e i_1' producen un flujo ϕ en la cinta. A causa de la retentividad del material de la cinta, se produce una sección magnetizada. En el circuito magnético, M y M' son las fuerzas magnetomotrices desarrolladas por las corrientes en las dos bobinas. R_5 y R_5' = Reluctancias del material magnético de la cabeza. R_3 y R_7 = Reluctancias de los huecos superior e inferior conteniendo aire. R_4 y R_6 = Reluctancias de las trayectorias de las fugas magnéticas. R_2 y R_2' son las Reluctancias de los intervalos de aire entre la cabeza y la cinta. R_1 = Reluctancia de la cinta magnética. ϕ = flujo a través de la cinta magnética. i e i' = corrientes en las dos bobinas. $M = 4\pi Ni$, N = Número de vueltas en la bobina.

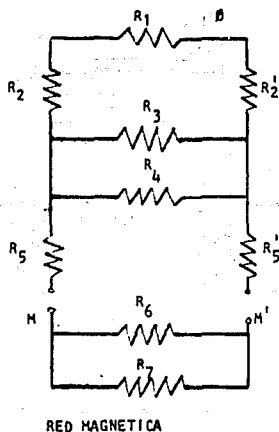
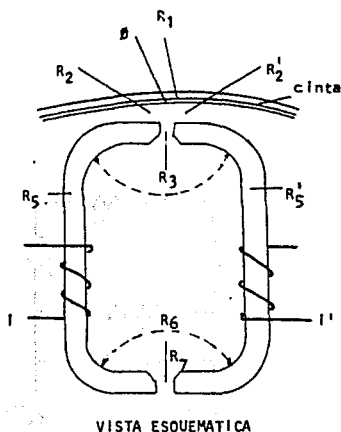
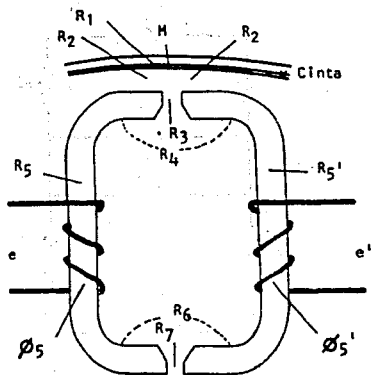
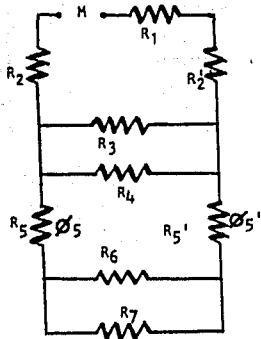


Figura 5. Vista esquemática y red magnética de una cinta magnética y una cabeza grabadora.

En la figura 6 tenemos una vista esquemática y la red magnética de una cabeza magnética reproductora y la cinta magnética. Cuando la cinta se hace pasar por la cabeza, la fuerza magnetomotriz de las secciones magnetizadas producen el flujo magnético, ϕ_5 y ϕ_5' , en las dos bobinas. Cuando este flujo cambia, un voltaje, e_1 y e_1' , es inducido en la bobina. Esos voltajes corresponden a las corrientes, i_1 e i_1' , aplicadas a la cabeza grabadora. El circuito magnético de la cabeza consiste de un pila de laminaciones de una aleación de fierro-níquel de alta permeabilidad. En el circuito magnético, M es la fuerza magnetomotriz almacenada en la cinta. R_3 y R_7 = Reluctancias de los intervalos de aire superior e inferior. R_5 y R_5' = Reluctancias del material magnético de la cabeza. R_4 y R_6 = Reluctancias de las trayectorias magnéticas de fugas. R_2 y R_2' = Reluctancias de los intervalos de aire entre la cabeza y la cinta. R_1 = Reluctancia de la cinta magnética. ϕ_5 y ϕ_5' = flujo en las bobinas. e y e' = voltajes inducidos.



VISTA ESQUEMATICA DE UNA CABEZA REPRODUCTORA.

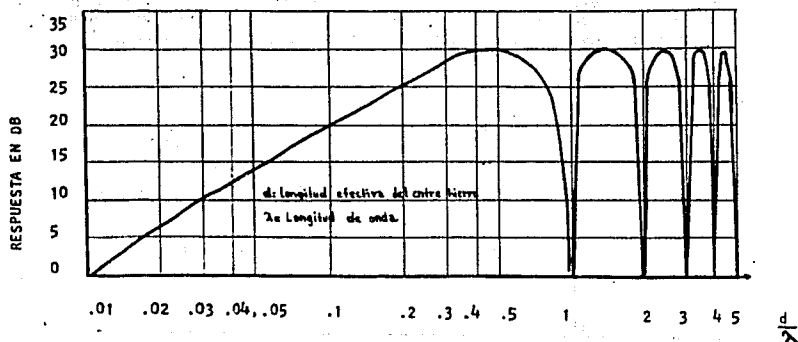


RED MAGNETICA

Figura 6.

La característica de voltaje de respuesta a la frecuencia en circuito -- abierto de un sistema reproductor de cinta magnética, se muestra en la figura 7. El espacio de aire de la cabeza magnética mide aproximadamente 0.5, 0.25, 0.12, 0.06, y 0.03 mils para velocidades de cinta magnética de 30, 15, 7.5, 3.75 y 1.875 pulgadas por segundo.

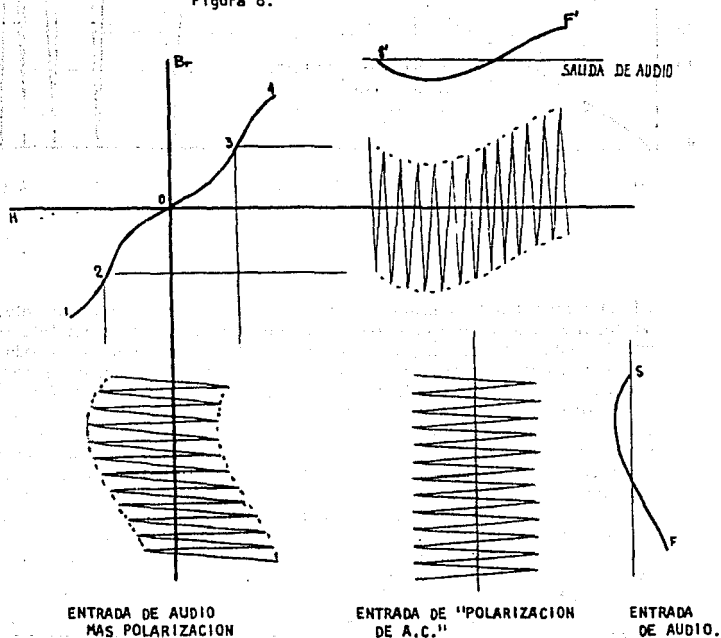
Figura 7.



El material magnético usado para recubrir la cinta es necesariamente, no lineal a causa de que debe poseer retentividad. La característica -- que describe la fuerza magnetomotriz o fuerza magnetizante H , producida por la cabeza grabadora en la cinta magnética, y la inducción residual B_r , está descrita por la característica 1, 2, 0, 3, 4, de la figura 8, de donde podemos ver que habrá distorsión por la no linealidad. Han sido desarrollados varios medios para reducir el efecto de la característica no lineal. El sistema casi universalmente usado es el de corriente alterna de polarización de alta frecuencia, en el cual una señal de alta frecuencia de 50 a 150 khz se suma a la señal de audio, como se ve en la figura 8 la alta frecuencia es suministrada por un oscilador a transistores, y la señal compuesta se aplica a la cabeza grabadora. En la figura 8 vemos gráficamente como se reduce el efecto de la característica no lineal de 1, 2, 0, 3, 4. La señal de alta frecuencia puede ser -- ajustada según la cinta usada. En la reproducción, la señal de alta frecuencia no es reproducida, y la respuesta de frecuencia de la salida del reproductor es la señal de audio mostrada en la figura 8; es la misma que la señal de entrada.

Cuando el proceso de grabación es llevado a cabo con corriente constante en la cabeza y el proceso de reproducción es llevado a cabo con un -- amplificador en el cual la respuesta es independiente de la frecuencia, -- la respuesta total estará dada por la característica de la figura 7. Por lo tanto, una compensación adecuada debe ser proporcionada a fin de obtener una respuesta uniforme. El límite superior de frecuencia está determinado por la primera inclinación, donde la abertura es igual a la longitud de onda. En grabación, una adecuada acentuación en alta frecuencia es aplicada en el rango arriba de $\frac{d}{\lambda} = 0.3$ para que en reproducción no sea requerida compensación adicional en este rango de frecuencia. En

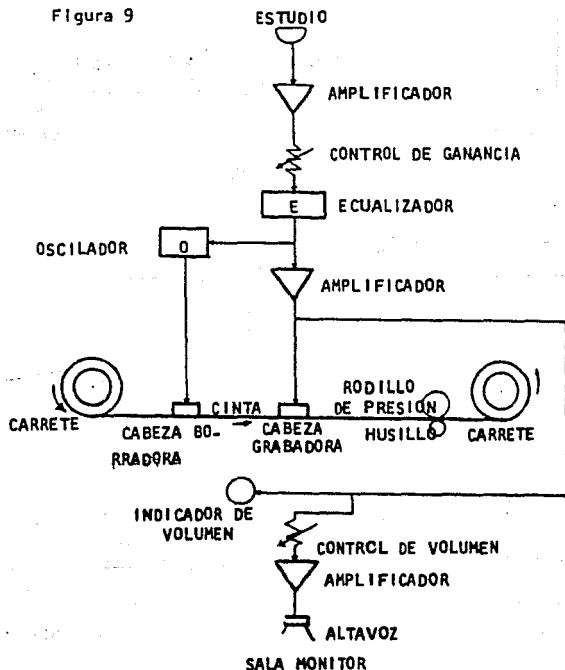
Figura 8.



la reproducción, la respuesta es acentuada 6 dB por octava, para frecuencia decreciendo, en el-rango de frecuencia bajo $\frac{d}{\lambda} = 0.3$. En esta forma una característica uniforme de grabación y reproducción es obtenida.

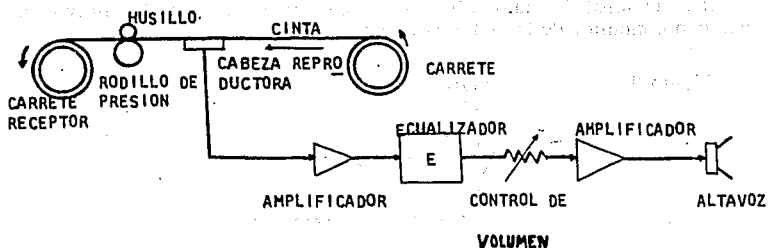
2. Sistemas Monofónicos de Cinta Magnética pra Grabación y Reproducción del Sonido.

Los elementos de un sistema completo para grabación de sonido en cinta magnética, se muestran en la figura 9. El sonido es captado por el micrófono, amplificado y alimentado al control de ganancia. La salida del control de ganancia es alimentada aun ecualizador. Aún cuando la mayor compensación para la característica de la figura 7 es llevada a cabo en la reproducción, hay alguna acentuación de la respuesta a frecuencias altas proporcionada por el ecualizador. La cabeza grabadora accionada por el oscilador de alta frecuencia, borra cualquier anteriormente grabada. Un medidor indicador de volumen es usado como monitor para el nivel de la señal de audio aplicada a la cabeza grabadora. Un altavoz se usa como monitor de la señal de audio.



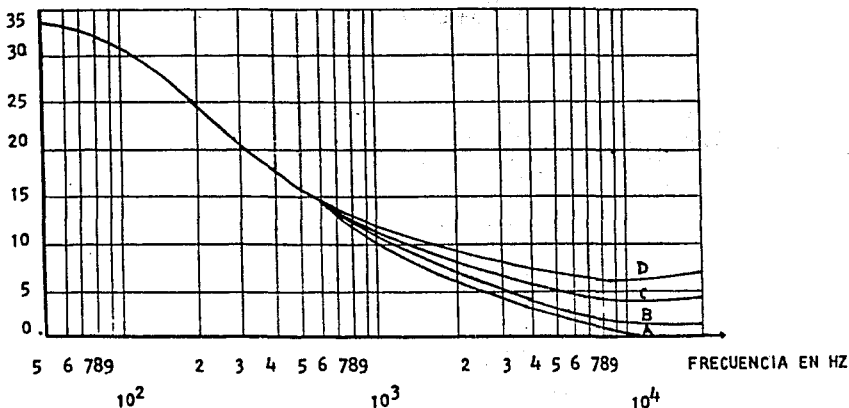
Los elementos de un sistema completo, monofónico, para reproducción de sonido por cinta magnética, se muestra en la figura 10. La salida de la cabeza magnética es amplificada por el amplificador de voltaje. La salida del amplificador se alimenta a un ecualizador. La característica de la salida de la cabeza reproductora sin compensación es como la de la figura 7. La característica de respuesta del ecualizador para 15, $7\frac{1}{2}$, $3\frac{3}{4}$ y $1\frac{7}{8}$ pulgadas por segundo de velocidad de la cinta, se muestran en la figura 11. Alguna compensación adicional se introduce en los dos extremos del rango de frecuencia pra proporcionar una característica resultante -- uniforme. La salida del ecualizador se alimenta al control de volumen, cuya salida a su vez entra al amplificador de potencia.

Figura 10.



RESPUESTA EN DB

Figura 11.



3. Sistemas Estereofónicos de Cinta Magnética para Grabación y Reproducción del Sonido.

Los elementos de un sistema completo de cinta magnética, estereofónico, para grabación de sonido, se muestra en la figura 12. Tiene dos canales idénticos del tipo que se ve en la figura 9, sobre la cabeza grabadora. En la figura 13 se muestran los elementos de un sistema completo de cinta magnética, estereofónico, para reproducción sonora.

Figura 12.

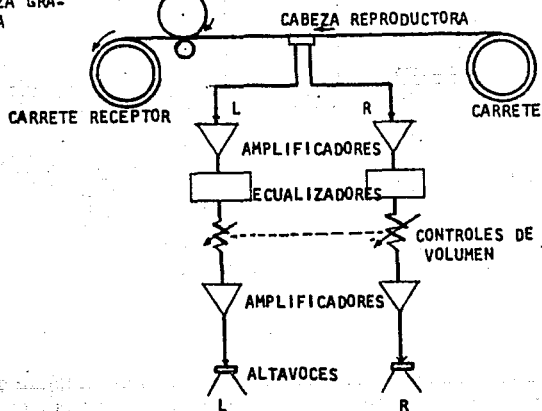
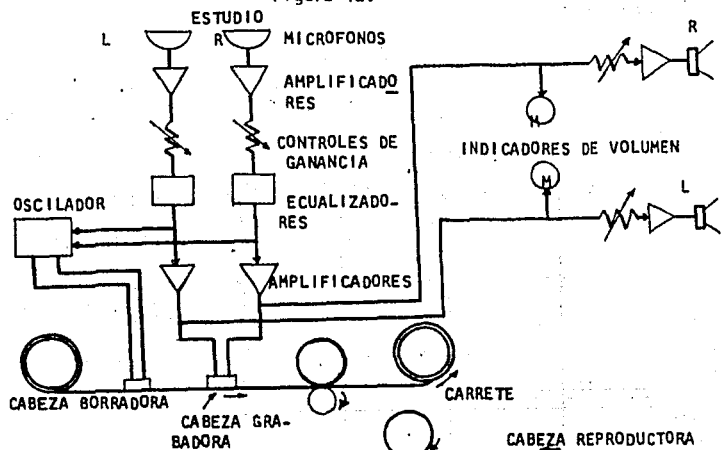


Figura 13.

4. Sistemas "Multicanal" de Cinta Magnética.

Los sistemas multicanal son empleados en prácticamente todas las grabaciones maestras profesionales, para grabación de discos y cintas magnéticas pregrabadas. El uso de gran número de canales (Ocho, dieciséis, veinticuatro) hace posible grabar cada instrumento musical sobre una pista (track) separada. En la figura 14 se muestran los elementos de un sistema cuadrafónico para grabación de sonido. Comprende cuatro canales idénticos del tipo mostrado en la figura 9, hacia la cabeza grabadora.

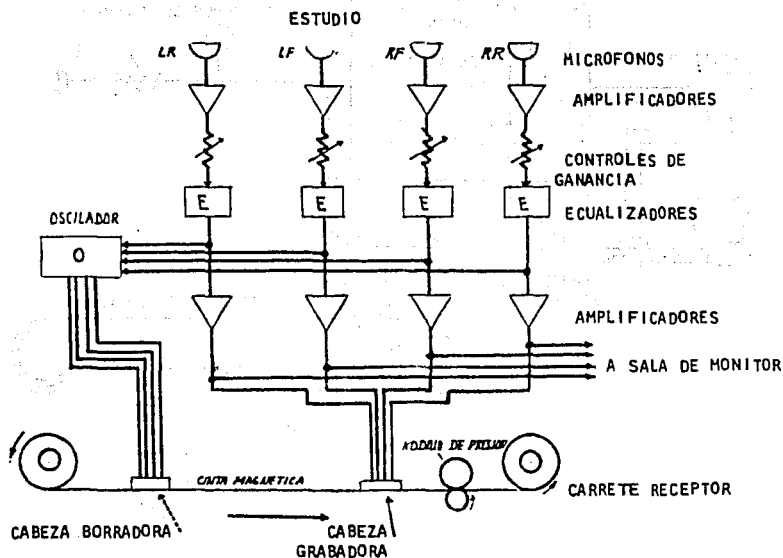


Figura 14.

Los elementos de un sistema cuadrafónico completo de cinta magnética para reproducción sonora, se ilustran en la figura 15. En ésta y anteriores figuras, el husillo situado junto al rodillo de presión es, generalmente, la prolongación del árbol de un motor síncrono.

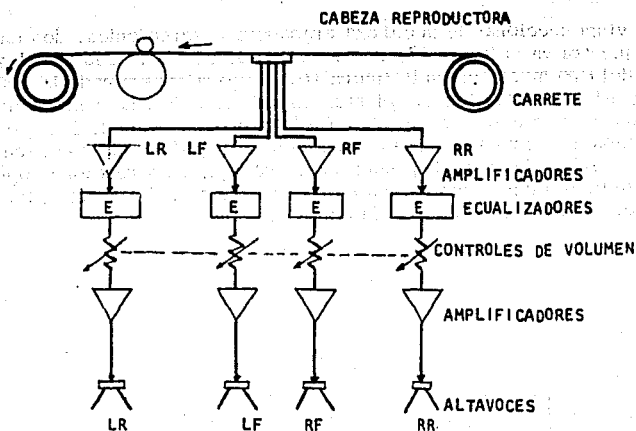


Figura 15

La cabeza magnética usada en reproducción es esencialmente la misma que la usada para grabación. En el sistema monofónico, la cabeza puede ser construida para poder grabar una, dos o cuatro pistas diferentes sobre la misma cinta. Ver figura 16. En general, la pista única es raramente usada. Pistas dobles y cuádruples son las más comunes. En la configuración de dos pistas magnéticas, las dos se graban en direcciones opuestas, procedimiento que evita reenrollar en la reproducción.

En la configuración de cuatro pistas, dos están en una dirección y dos en la otra para evitar también reenrollar. En este último caso, la cabeza se recorre una posición lateralmente para alcanzar una pista interior. Después de reproducir dos pistas, se intercambian los carretes para poder reproducir las otras dos.

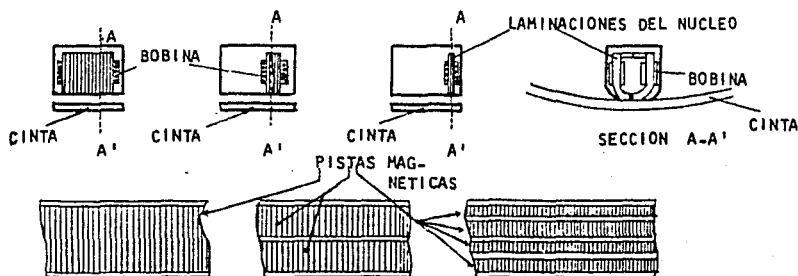


Figura 16.

Una vista seccional de la cabeza grabadora estereofónica, dos canales, se muestra en la figura 17, donde se ve que está formada por dos cabezas del tipo mostrado en la figura 16. La vista superior de la cinta magnética muestra las dos pistas magnéticas, R y L, representando los canales izquierdo y derecho. En la representación de la figura 17, tenemos una vista seccional de una cabeza magnética de dos canales que puede grabar dos sets de pistas estereofónica, en direcciones opuestas. La configuración de pistas anterior se aplica a sistemas de cinta en carrete, para cartucho cambia la configuración.

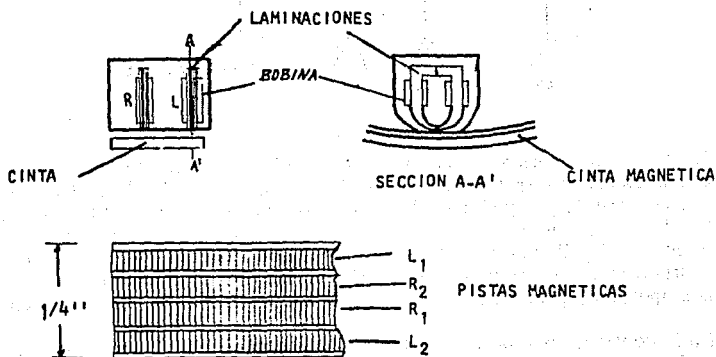


Figura 17.

La cabeza magnética y la configuración de pistas del sistema cuadráfonico, se muestran en la figura 18. La vista superior de la cinta muestra las cuatro pistas magnéticas utilizadas en sistemas de carrete, canal izquierdo frontal (LP), izquierdo posterior (LR), derecho frontal (RF) y derecho posterior (RR). Los carretes más comunes son hechos de plástico y tienen un diámetro de 7 pulgadas, suficientes para contener de 1200 a 3000 pies de cinta, dependiendo, esto, del espesor de la misma. Existen también carretes plásticos de 5 ó 3 pulgadas de diámetro. Los llamados tipo "profesional" se hacen de metal, con 10.5 ó 14 pulgadas de diámetro.

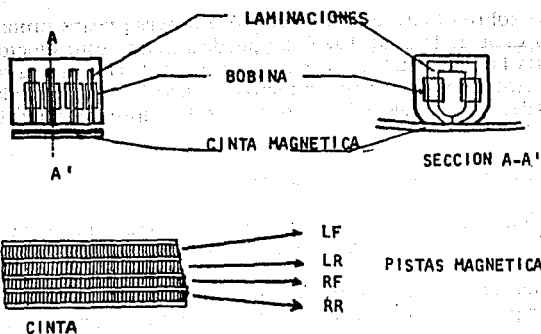


Figura 18.

5. Distorsión.

Existen varias fuentes y tipos de distorsión en los sistemas grabadores y reproductores de sonido, de cinta magnética. Ya ha sido mencionada la discriminación de frecuencias que causa distorsión debido a la no-uniformidad de la respuesta a la frecuencia. Consideremos ahora la -- distorsión no lineal en amplitud y la distorsión por modulación de frecuencia.

A) Distorsión no lineal en amplitud.

La distorsión en amplitud, no lineal, puede ser reducida a un bajo nivel por un apropiado diseño y operación del sistema de alta frecuencia "ac bias" de la figura 8. En sistema de alta calidad o "profesionales", una distorsión no lineal total de 1 % puede ser lograda.

La distorsión no lineal en amplitud también es producida por desexcitación (drop outs), esto es, la ausencia de material magnético en áreas pequeñas de la cinta. Como resultado hay una reducción en la señal de salida cuando la cabeza reproductora pasa por un vacío.

Impresión completa (print-through) es la transferencia de magnetismo desde una capa magnetizada a una capa adyacente, en una cinta. De esta manera una pequeña cantidad de la señal es grabada magnéticamente en capas adyacentes. El efecto neto es un eco anterior o posterior de la señal impresa sobre la señal principal. La impresión completa es proporcional al tiempo que la cinta ha esta-

do enrollada sobre el carrete sin tocarse e inversamente proporcional al espesor de la cinta base. Se puede reducir este efecto si se re-enrolla la cinta a intervalos regulares. Actualmente ya se emplean ciertos tipos de procesamientos cuando la capa magnética es aplicada, para reducir la magnitud de la "impresión total".

B) Distorsión por modulación de frecuencia.

Este tipo de distorsión se debe al movimiento no uniforme de la cinta magnética al pasar por la cabeza grabadora, ya sea en la grabación o en la reproducción. Este tipo de distorsión es llamado agitación (flutter) y ululación (wow). Una modulación de frecuencia de 1/2 a 5 hz por segundo es una ululación, mientras que una frecuencia superior es una agitación. La magnitud de la distorsión está dada por:

$$f = \frac{df}{\sqrt{2} f_{av}} \times 100$$

donde:

- f = agitación o ululación, en porcentaje.
- df = máxima desviación de frecuencia de la frecuencia promedio, en hz
- f_{av} = frecuencia promedio, en hz.

Obviamente, la agitación y la ululación pueden ser reducidas a cantidades despreciables por un mecanismo transportador de cinta de alta calidad. Para reproducción de sonido en alta calidad, este tipo de distorsión deberá ser menor de .4 %

6. Ruido.

El recubrimiento magnético de la cinta base consiste en partículas de óxido magnético, como se vio en la figura 1. El ruido en la reproducción es producido a causa de la distribución aleatoria de las partículas magnetizadas sobre la cinta. La potencia de ruido es inversamente proporcional a la velocidad de la cinta y el ancho de la pista magnética. Para una velocidad de cinta de 15 pulg./seg. y un ancho de pista de 0.1 pulg., puede obtenerse una relación de señal a ruido de 60 db. La relación señal a ruido es proporcional a la velocidad y a la anchura de la pista. Cuando la rapidez se reduce a un factor de un medio, la relación señal a ruido se reduce en 3 db. Cuando el ancho de la pista se reduce una mitad, la relación señal a ruido se reduce en 3 db.

7. Grabación y Reproducción de Discos Fonográficos.

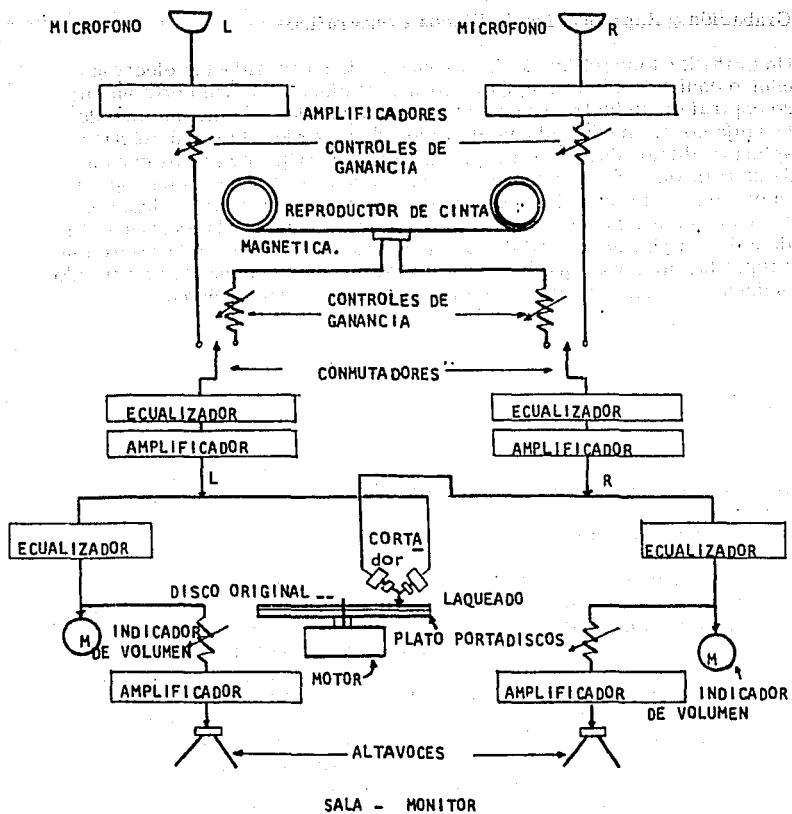
Un grabador fonográfico de discos consta de un transductor electromecánico equipado con una aguja en forma de cincel, la cual corta un surco espiral de audio frecuencia en un disco plástico. El movimiento de la aguja corta, modulando en el surco, de acuerdo a la señal eléctrica aplicada al transductor. Un reproductor fonográfico de discos consta de un transductor mecánico-eléctrico equipado con una guja que opera en el surco del disco plástico grabado; así transforma las modulaciones de audiofrecuencia del surco, a la correspondiente salida eléctrica. En vista del amplio uso actual de los sistemas estereofónicos de grabación y reproducción, y de que la grabación de discos monofónicos va cayendo en desuso, consideraremos solo los sistemas estereofónicos.

8. Proceso de Grabación de Discos Fonográficos.

A) Sistemas de Grabación.

Los elementos de un sistema completo de grabación de discos estereofónicos, se muestra en la figura 19. En el caso de grabación directa sobre el disco, la salida de los micrófonos son amplificadas y se alimentan a los controles de ganancia y al resto del sistema. En general, la grabación del disco no se hace directamente de la captación en vivo. En vez de eso, la grabación original se hace en cinta magnética a dos canales. En este caso, como se ve en la figura 19, la salida del reproductor de cinta magnética es alimentada a un ecualizador, en cada canal. Las salidas de los ecualizadores son amplificadas y alimentadas al cortador. La rotación es proporcionada por el plato circular y un motor, generalmente, síncrono. Para hacer la grabación maestra o patrón, se usa un disco que tiene una superficie cubierta de una laca. El material removido en el proceso de corte tiene la forma de una fina hebra, la cual es llevada hasta el extremo abierto de un tubo cercano a la aguja de corte, el otro extremo del tubo está conectado a un sistema de vacío.

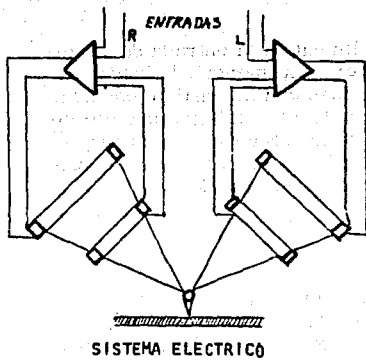
Figura 19.
ESTUDIO



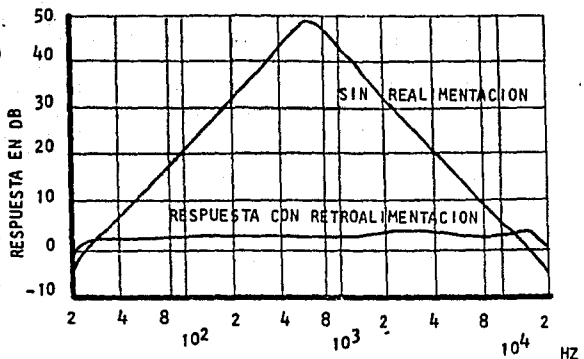
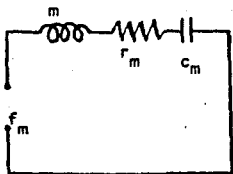
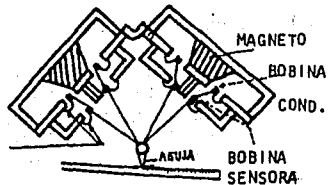
B) Cortador de discos fonográficos.

La figura 20 muestra una vista seccional, el sistema eléctrico y la característica de respuesta a la frecuencia del elemento cortador. El sistema vibratorio en cada canal es del tipo dinámico con una bobina de conducción, una bobina sensora y un adecuado sistema de suspensión. Los dos sistemas se colocan a 90 grados uno de otro para que cada uno actúe independientemente. Podemos, -- por consiguiente, hacer varias consideraciones tomando en cuenta

Figura 20.



VISTA SECCIONAL



un canal unicamente. El sistema vibrante está diseñado para tener un solo grado de libertad sobre el rango de audifrecuencia. La característica de velocidad de respuesta a la frecuencia muestra que el sistema se comporta como un sistema de un grado de libertad de 30 a 16,000 Hz con frecuencia fundamental de resonancia en 700 Hz.

La salida de la bobina sensora se alimenta a la entrada de el amplificador. La salida del amplificador se alimenta a la bobina de conducción en una relación fuera de fase con la señal de entrada. Con la realimentación operando, la velocidad del sistema vibratorio es prácticamente independiente de la frecuencia en un rango de 30 a 16,000 Hz. La entrada al amplificador puede ser compensada para proveer la característica de grabación deseada.

C) Aguja de corte.

La grabación original se corta por medio de una aguja de corte - fija al cortador descrito en el inciso anterior. La aguja de corte consta de un safiro, rubí sintético u otro material duro en forma de cincel. En la grabación, la aguja se calienta enrollándolo un fino alambre conductor conectado a un bajo voltaje de d. c.

D) Ondulaciones del Surco.

En un grabador de dos canales, los dos sistemas vibrantes están colocados en ángulo recto uno del otro, por lo tanto, los dos canales son grabados sobre los dos lados del surco en forma completamente independiente. Los modos de vibración en un plano normal a la superficie de la grabación y normal al surco, se muestran en la figura 21, al igual que el movimiento de la aguja. En la figura 21, las líneas gruesas indican amplitud cero o surco no modulado. Las líneas finas indican el límite máximo de la modulación del surco. - La dirección de movimiento de la aguja se indica por medio de flechas.

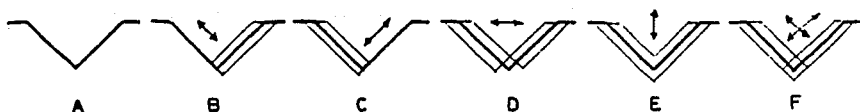


Figura 21.

A = surco no modulado. B= modulación en el canal derecho. C= modulación en el canal izquierdo. D= modulación lateral, combinación de B y C en fase. E= modulación vertical, modulación combinada de B y C fuera de fase. F = combinación de amplitudes iguales vertical y lateral, combinación de B y C con 90° de diferencia de fase.

9. Proceso de Grabación de Sonido en Películas Cinematográficas

El registro óptico o fotográfico es el procedimiento de grabación utilizado para sonorizar películas.

A) Datos Históricos.

En 1895, Lumière popularizó el cinematógrafo a raíz de ello surgió la necesidad de un método de registro óptico para lograr una película parlante. La primera película parlante sincronizada fue puesta a punto por Leon Gaumont en 1902 utilizando para ello discos fonográficos. Gaumont utilizó también el cronófono, un amplificador de sonido a base de aire comprimido. para la sonorización en grandes salas de espectáculos.

Gaumont, Petersen y Poulsen lograron el sistema fotográfico del sonido utilizando una película independiente de la de la imagen y cuyas velocidades de marcha estaban sincronizadas.

Posteriormente se consiguió unir registro sonoro fotográfico e imagen en una única cinta.

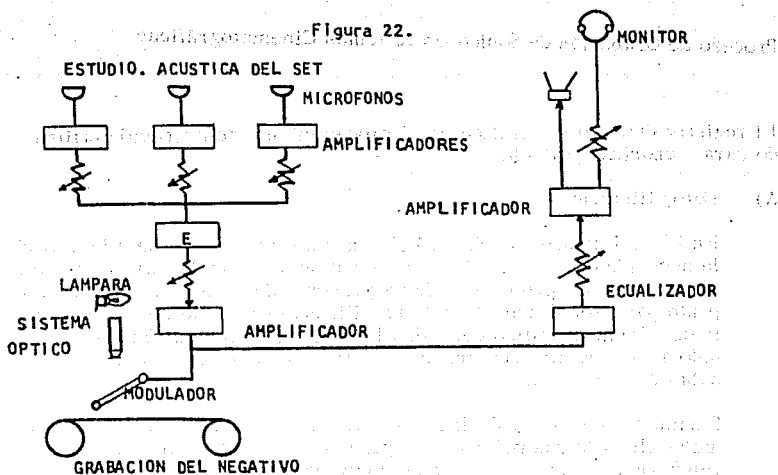
B) Principio del Registro Óptico.

Para el registro se emplea un haz luminoso al que las vibraciones acústicas modulan indirectamente. Este haz incide sobre una película la sensible que se desplaza ante él. Después del revelado la película presenta, en una zona especialmente dedicada a ello, una transparencia variable.

Los elementos de un sistema de grabación de este tipo, se muestran en la figura 22. El primer elemento es la acústica del set. Las salidas de los micrófonos son amplificadas y alimentadas a atenuadores. Un ecualizador se usa para acentuar las altas frecuencias y así compensar las pérdidas a altas frecuencias de la transferencia. El siguiente atenuador controla el volumen total. La salida del amplificador alimenta el modulador de luz y el sistema monitor. Por medio del sistema óptico y el modulador de la luz, las variaciones eléctricas son grabadas sobre la cinta como correspondientes variaciones de área, un proceso llamado grabación por área variable.

Para la reproducción se hace incidir un haz luminoso constante que atraviesa la película y que por tanto queda modificado según la transparencia de esta última. Por medio de una célula fotoeléctrica se recibe el flujo luminoso resultante, y su variación origina una señal eléctrica, que una vez amplificada actúa finalmente sobre un altavoz.

Figura 22.



C) Tipos de Registro.

Existen dos tipos básicos, el registro a densidad variable y el registro a densidad fija.

En el primero de ellos, las señales acústicas que nos proponemos registrar se transforman en señales eléctricas que se amplifican y que actúan sobre un modulador de luz (por ejemplo lámpara de destello) con el fin de modular el flujo luminoso emitido.

El flujo luminoso variable incide sobre una placa opaca que tiene una hendidura, la cual deja escapar una haz que atraviesa la pista sonora de la película. La película se desplaza a velocidad constante.

Después del revelado, la señal acústica tiene el aspecto de una pista de anchura constante pero de opacidad fotográfica variable. Ver figura 23 el nombre densidad variable es porque la densidad fotográfica viene definida por la opacidad.

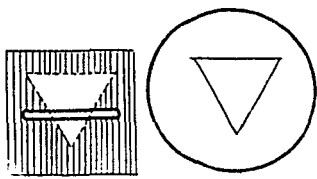
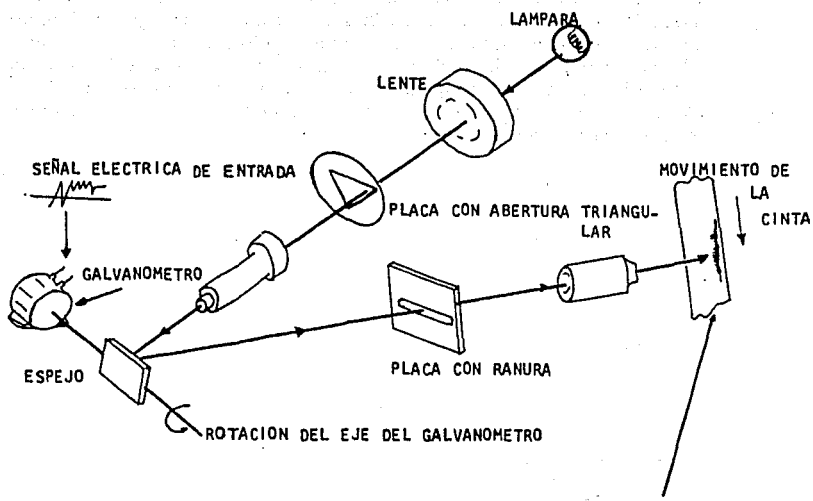
En el registro a densidad fija se utiliza una fuente de luz fija y lo que varía es la amplitud o sea la anchura de la pista sonora. También se conoce como área variable.

En la pista sonora de área variable, la amplitud de la luz transmitida es una función de la cantidad de área no expuesta en la impresión positiva. Este tipo de pista se produce por medio de un galvanómetro de espejo utilizado como modulador, que varía el ancho de una ranura de luz bajo la cual la cinta pasa. Ver fig. 24



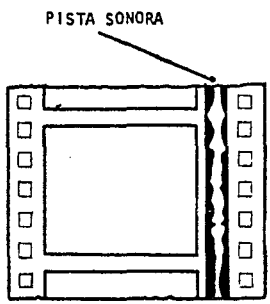
Figura 23.

Figura 24



RAYO LUMINOSO TRIANGULAR, PROYECTADO SOBRE PLACA CON RANURA.

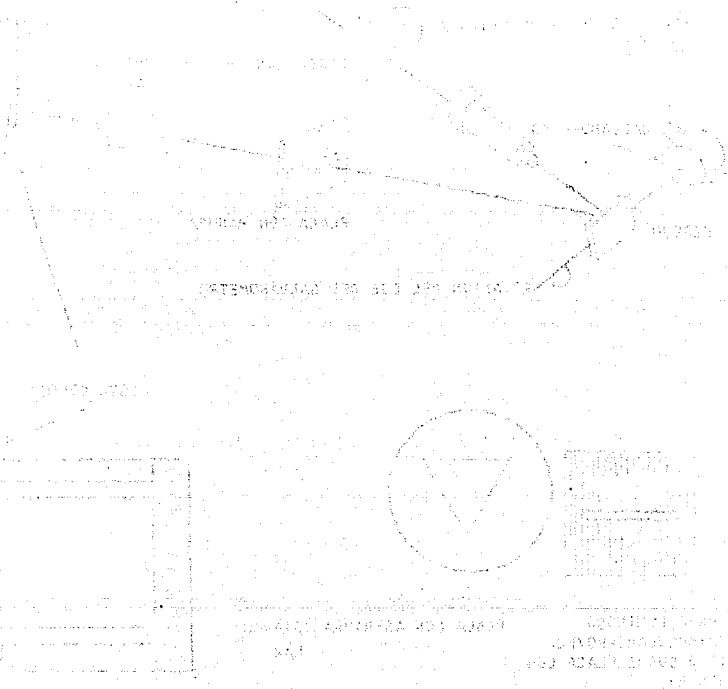
PLACA CON ABERTURA TRIANGULAR



PELICULA POSITIVA

El galvanómetro posee una bobina rotatoria con un espejo unido a su eje cuyo movimiento giratorio es proporcional a la señal eléctrica de entrada. La señal eléctrica es a su vez función de la señal acústica.

La apertura triangular es iluminada uniformemente por medio de una lámpara y un sistema de lentes. La imagen de la apertura triangular es reflejada por el galvanómetro con espejo afocado sobre la ranura mecánica. La ranura mecánica esta a su vez afocada sobre la pista de la película. El galvanómetro se mece respecto a un eje paralelo al plano del papel. La imagen luminosa triangular se mueve hacia arriba y hacia abajo proyectada sobre la ranura mecánica. El resultado es que la anchura de la porción expuesta de la pista sonora del negativo, corresponde a la vibración rotacional del galvanómetro. En la grabación positiva la anchura de la porción no expuesta corresponde a la señal.



CAPITULO XI

SISTEMAS PARA LA REPRODUCCION DEL SONIDO

1. Introducción y Clasificación.

Los procesos de registro y reproducción están íntimamente ligados entre sí, ya que es de suponerse que el hecho de guardar de alguna forma una señal acústica tiene por objeto el poder, posteriormente, reproducirla a voluntad. En este capítulo se definirán, en su forma más general, los sistemas de reproducción.

Una importante aplicación de la Acústica es el estudio de sistemas para la reproducción del sonido y su diseño. En este capítulo solo describiremos los "tipos" de sistemas más empleados en electroacústica. Los sistemas para reproducción del sonido pueden ser clasificados en la forma siguiente: monaural, binaural, monofónico, estereofónico y cuadrafónico. La función a que se destine alguno de estos sistemas puede ser, por ejemplo, la reproducción inteligible de voz, o la reproducción de sonido con realismo, o con emocionalismo. Sin embargo, el propósito principal de un sistema de reproducción sonora es proporcionar realismo.

Para lograr el mencionado realismo, deben ser satisfechas cuatro condiciones fundamentales, que son:

- a) El rango de frecuencias debe ser tal que incluya, sin discriminación, la totalidad de las componentes audíbles de los varios sonidos que deban ser reproducidos.
- b) El rango de volumen debe ser tal que permita la reproducción, con el menor ruido y distorsión, en el rango completo de intensidades asociadas con los sonidos.
- c) La característica de reverberación del sonido original deberá ser aproximada en el sonido reproducido.
- d) El patrón espacial sonoro del sonido original deberá ser preservado en el sonido reproducido.

La calidad de funcionamiento de cada sistema se considera en relación al realismo logrado en la reproducción del sonido.

2. Sistema Monaural.

En la figura 1 tenemos un diagrama esquemático que describe los elemen

tos de un sistema de reproducción sonora monaural. Se compone de uno o más micrófonos, usados para captar el sonido, que están conectados a un canal transductor único el cual a su vez está acoplado a uno o dos audífonos llevados por el oyente.

El ejemplo más común de un sistema monaural es el teléfono, en el cual hay, en general, una fuente única de sonido, un micrófono, usualmente llamado un transmisor, un transductor, y un audífono llamado usualmente un teléfono receptor, acoplado a un oído del oyente. En telefonía de largas distancias, amplificadores a tubos de vacío o transistores, pueden ser usados entre el micrófono y el teléfono receptor. Para otras aplicaciones más limitadas, por ejemplo propósitos de comprobar con monitor, el transductor puede ser un radio transmisor y receptor, un receptor y transmisor de sonido para televisión, un grabador y reproductor de sonido para películas, etc. En algunas aplicaciones puede haber más de una fuente sonora, por lo que uno o más micrófonos pueden ser usados. En otras aplicaciones pueden ser usados dos o más audífonos, transmitiendo el mismo programa a cada uno de los oídos del oyente. La acústica del estudio o recinto donde el micrófono está localizado, está involucrada en la reproducción del sonido. El sistema monaural puede ser construido de forma que satisfaga las condiciones (a) y (b) sobre realismo que se dieron antes. La condición (c) sólo es satisfecha parcialmente y la condición (d) no puede ser satisfecha por este sistema.

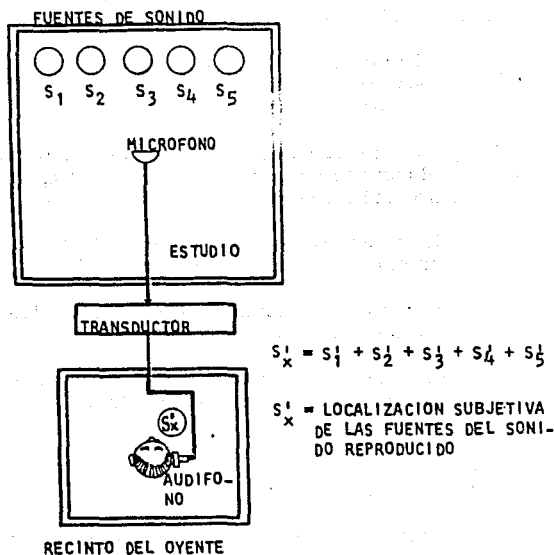


Figura 1.

3: Sistema Binaural.

La figura 2 es un diagrama esquemático de los elementos de un sistema binaural de reproducción sonora. Un sistema binaural es del tipo de circuito cerrado en el cual dos micrófonos usados para captar el sonido original son conectados a dos correspondientes canales transductores acoplados a audífonos independientes soportados por el oyente. No hay un amplio uso de este sistema, su uso está limitado a aplicaciones específicas. El sistema binaural puede ser construido con capacidad para satisfacer las cuatro condiciones de reproducción de sonido con realismo.

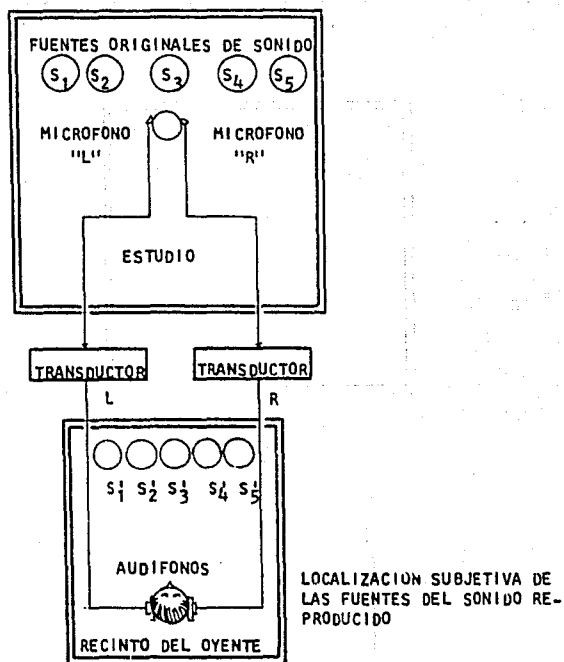


Figura 2.

4. Sistema Monofónico.

En la figura 3 tenemos un diagrama esquemático que describe los elementos de un sistema monofónico para reproducción de sonido. Se dice que este sistema es del tipo de campo en el cual uno o más micrófonos, usados para captar el sonido original, están acoplados a un canal transductor único, el cual a la vez está acoplado a uno o más alto parlantes. El sistema monofónico es más ampliamente empleado que cualquiera de los otros.

Algunos ejemplos donde se usa el sistema monofónico son: sistemas de discos fonográficos, radio, películas sonoras, televisión, reproductor de cinta magnética y sistemas de sonorización. El sistema monofónico puede satisfacer las condiciones (a) y (b) y parcialmente la (c) relacionadas con el realismo, pero no puede satisfacer la condición (d).

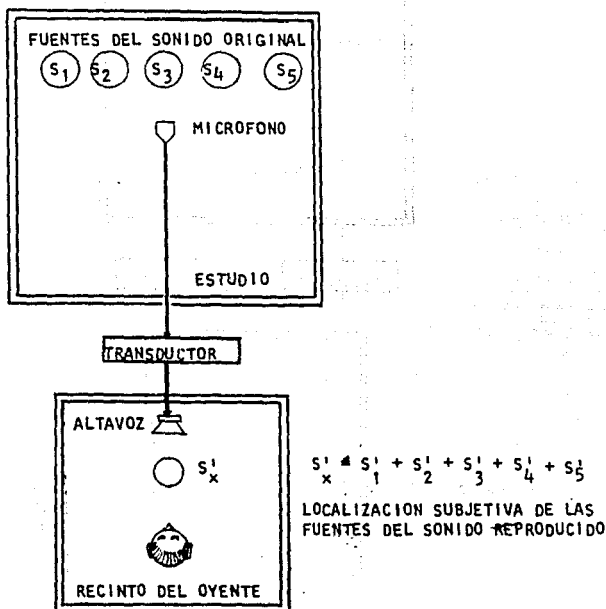
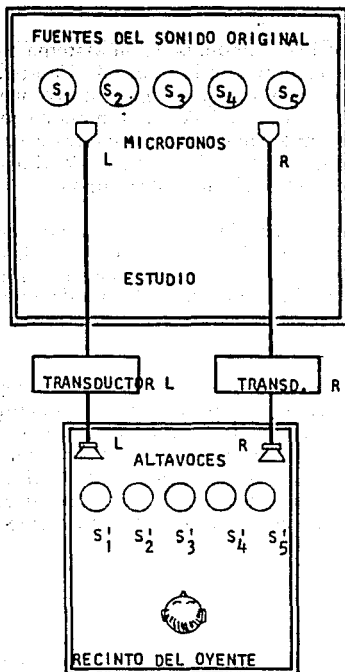


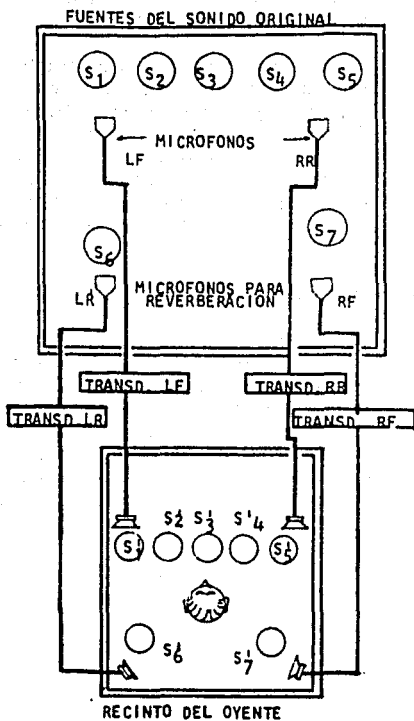
Figura 3.

Figura 4.



LOCALIZACION SUBJETIVA DE LAS FUENTES DEL SONIDO REPRODUCIDO

Figura 5.



5. Sistema Estereofónico.

Un diagrama esquemático que describe los elementos de un sistema estereofónico de reproducción sonora se muestra en la figura 4. Un sistema estereofónico es del tipo de campo, en el que dos o más micrófonos, usados para captar el sonido original, están acoplados a un número correspondiente de canales transductores independientes, los cuales a su vez están acoplados a un número correspondiente de arreglos de altavoces en substancial correspondencia geométrica a los micrófonos.

La característica principal del sistema estereofónico es la reproducción de sonido en perspectiva de auditorio. La localización subjetiva de las fuentes del sonido reproducido (s_1 , s_2 , s_3 , etc.), corresponden a la localización de las fuentes originales de sonido en audición directa, bajo condiciones geoméricamente correspondientes, como se ve en la figura 4.

El transductor puede ser un amplificador, un radio transmisor y receptor, un grabador y reproductor fonográfico, un grabador y reproductor sonoro de películas, o un grabador y reproductor de cinta magnética. -- Se usan dos canales en el disco fonográfico y la radio. Dos y tres son -- usados en el reproductor de cinta magnética. Dos, tres y más canales -- son usados en reproductores del sonido de películas. El reproductor estereofónico de sonido puede satisfacer las condiciones sobre realismo de sonido (a), (b) y (d), pero solo parcialmente la condición (c).

6. Sistema Cuadrafónico.

El sistema cuadrafónico satisface las condiciones (a), (b), (c) y (d) sobre realismo de reproducción sonora. Los canales izquierdo y derecho del frente proveen la perspectiva de auditorio. Los canales posteriores proveen la reverberación envolvente. Ver figura 5. Por lo anterior, este sistema simula una audición directa. Este sistema es del tipo de campo en el cual los cuatro micrófonos acoplados a cuatro canales transductores se acoplan a cuatro arreglos de altoparlantes en substancial correspondencia geométrica. El uso comercial más importante de este sistema está en grabadoras y reproductoras de cinta magnética.

La acústica arquitectónica involucra no solo la distribución del sonido en el volumen considerado, sino también el efecto que los diversos materiales -- tienen sobre la absorción, el control de la reverberación y la reducción y aislamiento del ruido. Su objetivo es lograr una mayor claridad de la conversación, la liberación de ruidos indeseables externos y la agradabilidad de la música.

1. Distribución del sonido.

La distribución del sonido describe como varía con la posición el nivel de presión del sonido en un recinto.

Dos condiciones extremas en el estudio de los sonidos en los recintos - pueden ser analizadas y comprendidas fácilmente. Por una parte, se tienen los recintos pequeños de formas sencillas, tales como las cajas - rectangulares, los tubos cilíndricos, o las cáscaras esféricas. En estos casos, el campo sonoro interior puede describirse en términos matemáticos precisos, aunque el análisis resulte complicado si las paredes del recinto están cubiertas en todo o en parte con materiales acústicos absorbentes. Si se tiene un pequeño recinto rectangular (similar a un paralelepípedo) de dimensiones x , y , z , las ondas pueden viajar de ida y vuelta - entre cualquier par de paredes opuestas. También pueden viajar alrededor del recinto involucrando, así, la reflexión en varias paredes con diferentes ángulos de incidencia. Si estos ángulos se eligen adecuadamente, las ondas vuelven al estado original después de cada viaje redondo y se establecen ondas estacionarias o permanentes. Cada onda es un modo normal de vibración del recinto.

El número de modos de vibración en un recinto rectangular es mucho - mayor que para el tubo cerrado de diámetro pequeño; y las frecuencias normales de semejante recinto están dadas por la ecuación:

$$f_n = \frac{w_n}{2\pi} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2} \quad (1)$$

donde: f_n = frecuencia normal de orden n (c/s)
 n_x, n_y, n_z = enteros que pueden elegirse independientemente con cualquier valor entre 0 e ∞
 l_x, l_y, l_z = dimensiones del recinto (m)
 c = velocidad del sonido (m/s)

Morse demuestra que la distribución de la presión sonora en una caja rectangular para cada modo normal de vibración de frecuencia normal f_n es proporcional al producto de tres cosenos,

$$p_{n_x, n_y, n_z} \propto \cos \frac{\pi n_x x}{l_x} \cos \frac{\pi n_y y}{l_y} \cos \frac{\pi n_z z}{l_z} e^{j\omega t} \quad (2)$$

donde el origen de coordenadas esta en una esquina de la caja.

Se supone en esta ec. que las paredes del recinto tienen muy poca absorción, además, si se observa en detalle, se ve que n_x , n_y y n_z indican el número de planos de presión nula que ocurren a lo largo de los ejes x, y, y z, respectivamente. Semejante distribución de presión puede ser atribuida a la presencia de ondas de ida y vuelta en el recinto. En la figura 1 se ofrecen ejemplos de vibración en una habitación rectangular. Las líneas indican los planos de presión constante que se extienden desde el piso al techo a lo largo de la dimensión z. Observe se que n_x y n_y indican el número de planos de presión cero a largo de los ejes x, e y, respectivamente.

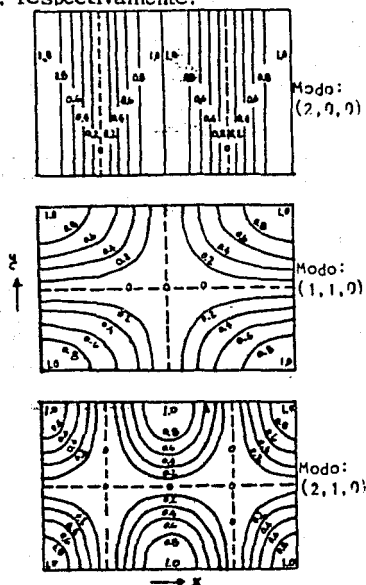


Figura 1.- Contornos de presión sonora en una sección a través de un recinto rectangular. Los números indican las presiones sonoras relativas.

Los ángulos θ_x , θ_y , y θ_z de incidencia de las ondas de ida y vuelta sobre las paredes están dados por las relaciones:

$$\theta_x = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{(n_y/l_y)^2 + (n_z/l_z)^2}}{n_x/l_x} = \cos^{-1} \frac{n_x c}{2l_x f_n}$$

similarmente:

$$\theta_y = \cos^{-1} \frac{n_y c}{2l_y f_n} \quad (3)$$

$$\theta_z = \cos^{-1} \frac{n_z c}{2l_z f_n}$$

Los frentes de onda se mueven del modo indicado en la figura 2. Se ve que hay dos ondas de ida (1 y 3) y dos ondas de vuelta (2 y 4).

En el caso tridimensional habrá cuatro ondas de ida y cuatro de vuelta.

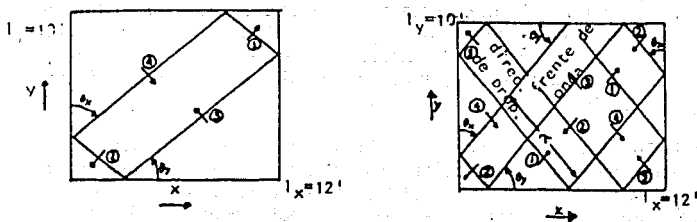


Figura 2.- Frentes de onda y direcciones de propagación para los modos normales (a) $n_x=1$, $n_y=1$; y (b) para $n_x=3$ y $n_y=2$. Estos representan casos bidimensionales con $n_z=0$. Los números 1 y 3 indican ondas de ida, y los números 2 y 4 ondas de vuelta.

Ningún modo normal de vibración puede ser excitado a pleno si no es por una fuente situada de máxima presión del modo considerado. En la figura 1, por ejemplo, la fuente de sonido sólo puede excitar un modo a pleno si se encuentra sobre el contorno 1.0. Evidentemente, dado que el valor de cresta de la presión sonora ocurre en los contornos 1.0, el micrófono debe estar también colocado sobre un contorno 1.0 para medir la máxima presión.

Cuando se pone en funcionamiento una fuente de sonido en un recinto pequeño excitará uno o más de los modos estacionarios posibles, es decir, de los modos normales de la habitación. Supongamos que la fuente es de potencia constante y de una sola frecuencia y que esta frecuencia coincide con una de las frecuencias normales del recinto. La presión sonora para este modo normal de vibración crece hasta que la magnitud de su valor eficaz (promediado en el tiempo y en el espacio moviendo el micrófono de ida y vuelta sobre un largo de onda) sea igual a:

$$|p_n| = \frac{K}{k_n} \quad (4)$$

donde: K = constante de la fuente determinada, principalmente, por la potencia y posición de la fuente y el volumen del recinto.

k_n = constante de amortiguamiento determinada, principalmente, por la cantidad de absorción en el recinto y por el volumen de éste. Cuanto más material absorbente hay en la habitación mayor es k_n , y menor el valor de la presión eficaz media.

Cuando la frecuencia motora no coincide con la frecuencia normal, la presión para este modo particular de vibración crece según una curva normal de resonancia, como lo ilustra la figura 3. El ancho de la curva de resonancia en los puntos de potencia media (puntos de 3 db) es:

$$f'' - f' = \frac{kn}{\pi} \quad (5)$$

La magnitud de la presión sonora está dada por:

$$|p_n| = \frac{2Kw}{\sqrt{4w_n^2 k_n^2 + (w^2 - w_n^2)^2}} \quad (6)$$

donde: w = la frecuencia motora angular y w_n la frecuencia angular normal, dada aproximadamente por la ec. (1)

Evidentemente, si la frecuencia motora está entre dos frecuencias normales, o si k_n es grande de modo que la curva de resonancia es ancha, se excitarán de manera apreciable más de un modo normal de vibración, cada uno de ellos en la medida indicada por la ec. (6). La constante de -

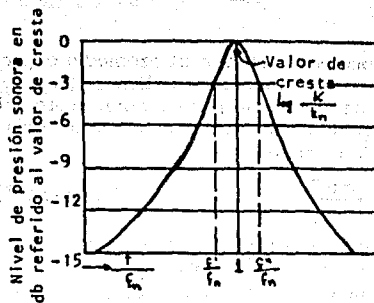


Figura 3.- Curva de resonancia de un modo normal de vibración. Nivel de presión sonora en función de la relación de frecuencia a f_n .

amortiguación determina la altura máxima y el ancho de la curva de resonancia de estado estacionario.

Por otra parte, cuando se corta la fuente de sonido, la presión sonora asociada con cada modo de vibración decae exponencialmente con su propia frecuencia normal y según el régimen determinado por su constante de amortiguación. El recinto es entonces equivalente a un conjunto de resonadores que actúan independientemente al cortarse la fuente de sonido. Cuanto mayor es el recinto y más alta la frecuencia, más juntas están las frecuencias normales y más numerosos serán los modos excitados por una fuente de frecuencia única o de banda estrecha de frecuencias.

Por otro lado, se tienen los recintos muy grandes e irregulares en los cuales no es posible una descripción exacta del campo sonoro, pero que permiten una descripción estadística confiable de las condiciones medias del local.

Los recintos grandes y de forma irregular tienen también modos normales de vibración que responden cuando son excitados convenientemente. Sin embargo, su número es tan grande y su distribución de presión es tan compleja que cuando una fuente de sonido excita uno de estos recintos se establecen ondas estacionarias o permanentes que involucran cada una de las paredes a casi todos los ángulos de incidencia, aun cuando las frecuencias de fuente estén limitadas a una estrecha banda. Por otra parte, en un punto cualquiera de la habitación, las ondas viajan en todas direcciones, de modo que podemos referirnos al campo sonoro existente como a un campo sonoro difuso. En este tipo de recintos, los máximos y los mínimos de presión sonora están mucho más juntos, en posición, que en el caso del recinto regular, y es entonces cosa fácil desplazar -

en vaiven el micrófono para obtener un promedio espacial satisfactorio de la presión sonora. Si el micrófono indica el nivel de presión sonora eficaz, promediado en el espacio por el movimiento del micrófono en vaiven sobre un largo de onda, para obtener la densidad de energía sonora se puede usar la ecuación:

$$D_{med} = \frac{P_{med}^2}{\rho_0 c^2} \quad (\text{watt-s/m}^3) \quad (7)$$

donde: P_{med} = magnitud de la presión sonora promediada en el espacio y en el tiempo, (newton/m²)
 ρ_0 = impedancia característica del aire en rayl MKS. (407 rayl MKS a presión y temperatura normales).

En las habitaciones grandes e irregulares, podemos visualizar las condiciones acústicas imaginando una onda que se propaga por la habitación. Esta onda sonora en línea recta hasta que choca con una superficie. Es entonces reflejada por la superficie a un ángulo igual al de incidencia, y avanza en la nueva dirección hasta un segundo choque. Debido a que el sonido se propaga con una velocidad de alrededor de 340 m/s, ocurren muchas reflexiones cada seg.

Desde el punto de vista estadístico, se define un libre camino medio como el promedio de las distancias que una onda sonora recorre entre reflexiones sobre las superficies límites. Knudsen determinó, experimentalmente, el libre camino medio y encontró que está dado aproximadamente por:

$$\text{Libre camino medio} = d = \frac{4V}{S} \quad (\text{m}) \quad (8)$$

donde: V = volumen de la habitación (m³), y S = área total de las superficies límites de la habitación incluyendo el piso, (m²).

Con esto se puede determinar el régimen de decrecimiento del sonido en una habitación grande e irregular. Supongamos que acaba de cortarse la fuente de sonido y que el sonido se está amortiguando en la habitación. sea

$$t' = \frac{d}{c} = \frac{4V}{cS} \quad (\text{seg.}) \quad (9)$$

donde: t' = tiempo que emplea la onda en recorrer el libre camino medio (seg.)

c = velocidad del sonido (m/s)

d = libre camino medio (m)

y suponiendo que la densidad de energía inicial del sonido sea D' (Watt/m³). Luego, después de nt' segundos, la onda sonora habrá sufrido n reflexiones. En cada reflexión, la densidad de energía en ese ins-

tante será reducida en $\bar{\alpha}$ (posteriormente se verá que $\bar{\alpha}$ es el coeficiente de absorción medio para una habitación en conjunto), ver figura 4.

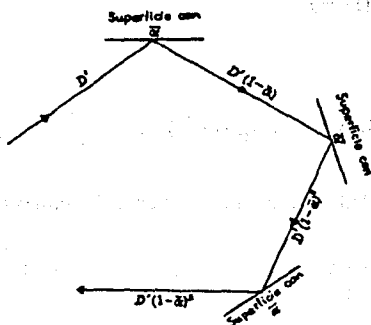


Figura 4.- Trayectoria de una onda sonora de energía inicial D' al reflejarse en superficies de coeficiente de absorción medio $\bar{\alpha}$. La distancia entre las superficies es la distancia del libre camino medio $d=4V/S$.

Por lo tanto, la densidad de energía después de cada reflexión sucesiva es:

$$\begin{aligned} D(t') &= D' (1 - \bar{\alpha}) \\ D(2t') &= D' (1 - \bar{\alpha})^2 \\ D(nt') &= D' (1 - \bar{\alpha})^n \end{aligned} \quad (10)$$

pero:

$$n = \frac{t}{t'} \quad (11)$$

de modo que, por la ec. (9)

$$D(t) = D' (1 - \bar{\alpha})^{(cS/4V)t} \quad (12)$$

pero:

$$1 - \bar{\alpha} \equiv e^{-\log_e (1 - \bar{\alpha})} \quad (13)$$

luego:

$$D(t) = D' e^{-(cS/4V) - \log_e (1 - \bar{\alpha}) t} \quad (14)$$

donde $D(t)$ es la densidad de energía después del tiempo t .

Si convertimos el resultado en nivel de presión sonora (SPL) con ayuda de la ec. (7), obtenemos: *

$$10 \log_{10} \left[\frac{|P_{med}|^2}{(0.00002)^2} \right]_{t=t} = 10 \log_{10} \left[\frac{|P_{med}|^2}{(0.00002)^2} \right]_{t=0} - 4.34 \frac{cS}{4V} \left[-\log_e (1 - \bar{\alpha}) \right] t \text{ (db)} \quad (15)$$

$$SPL_{t=t} - SPL_{t=0} = 1.085 \frac{cS}{V} \left[-2.30 \log_{10} (1 - \bar{\alpha}) \right] t \text{ (db)} \quad (16)$$

Por lo tanto, el nivel de presión sonora decrece según el régimen.

$$1.085 \frac{cS}{V} \left[-2.30 \log_{10} (1 - \bar{\alpha}) \right] \text{ (db/seg.)}$$

*Observese que: $\log e^x = 0.434x$; $\log_e 10^x = 2.30x$; $\log_e y = 2.30 \log_{10} y$

2. Fenómenos acústicos en espacios cerrados.

La propagación y el comportamiento de las ondas sonoras en espacios cerrados son más complejos que en el aire abierto. Por lo que algunos de los fenómenos del sonido que ya han sido tratados se volverán a ver para el caso de espacios cerrados.

2.1 Reflexión del sonido.

Cuando una fuente sonora está en operación, las ondas del sonido viajan en todas direcciones radialmente desde la fuente. Cuando estas ondas encuentran un obstáculo o una superficie dura o rígida, tales como concreto, ladrillos, piedras, yeso, o vidrio, su dirección de viaje es cambiada; en otras palabras, las ondas son reflejadas. Este fenómeno de reflexión del sonido es completamente similar al de reflexión de la luz, puesto que los rayos del sonido incidente y del reflejado se apoyan en el mismo plano y el ángulo de la onda sonora incidente es igual al ángulo de la onda sonora reflejada (ley de reflexión). Debe tenerse en cuenta, que la longitud de onda de las ondas sonoras es mucho más grande que la de los rayos de luz, y la ley de reflexión del sonido es válida, sólo si las longitudes de onda de las ondas sonoras son pequeñas comparadas con la dimensión de las superficies reflejantes. Esto significa que la aplicación de esta ley debe ser muy críticamente considerada para sonidos de bajas frecuencias.

El progreso de una onda sonora en un cuarto cerrado puede ser ilustrado esquemáticamente por los diagramas de la figura 5. Estas figuras representan una sección horizontal de un cuarto que tiene paredes reflejantes del sonido planas; una fuente sonora esta localizada en S. El círculo solido representa el "frente" de una onda sonora sencilla, y las líneas punteadas indican las direcciones en las cuales esta viajando.

Las figuras muestran las reflexiones para diferentes tiempos después de que la onda ha empezado a viajar; por lo que el número de reflexiones aumenta con el avance progresivo del frente de onda. La densidad de energía aumenta debido a estas reflexiones para alcanzar, después de un tiempo que depende del volumen del cuarto y de los coeficientes de absorción de sus paredes, un valor medio estacionario.

Hay dos efectos de esta reflexión múltiple los cuales tienen una relación directa con el control del ruido.

El primer efecto es el incremento en presión sonora causado por las reflexiones; ya que si se hace un sonido continuo, un escucha

en cualquier parte del cuarto no solo recibe las ondas sonoras las cuales llegan directamente a su oído de la fuente sonora - sino también recibe todas las ondas reflejadas. Así la presión combinada del sonido directo y reflejado en su oído será más grande que la del sonido directo solo. Si el coeficiente de absorción de las superficies interiores es bajo las ondas sonoras reflejadas perderán poca energía en cada reflexión y crece la presión sonora total a un valor arriba del de el sonido directo solo.



Figura 5.- Progreso de una onda sonora sencilla en un cuarto cerrado.

El segundo efecto de las reflexiones múltiples es la reverberación, la cual se tratará posteriormente.

Estos dos efectos de reflexión múltiple son ilustrados por el ejemplo hipotético mostrado en la figura 6, la cual representa la sonoridad del sonido reflejado escuchado por un observador en un cuarto similar al de la figura 5 cuando una fuente es encendida y apagada. Se asume que el cuarto es silencioso y que la potencia acústica de la fuente es constante y es arbitrariamente escogida para así producir la sonoridad indicada.

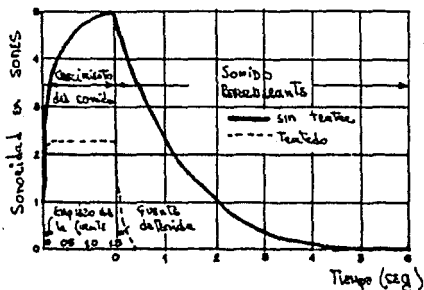


Figura 6.- Sonoridad del crecimiento del sonido y del sonido reverberante antes y después de tratar acústicamente un cuarto altamente reflectivo.

Las superficies reflejantes convexas tienden a dispersar y las superficies cóncavas tienden a concentrar las ondas sonoras reflejadas en recintos. Por esto, los elementos de construcción convexos y los obstáculos formados con superficies duras son las mejores formas de distribución del sonido; y así, las superficies reflejantes cóncavas tales como techos de cúpula y curvados en las paredes posteriores de los auditorios dan una pobre distribución del sonido reflejado porque pueden concentrar el sonido en un mismo foco causando ecos.

2.2 Absorción del sonido.

Por definición, la absorción del sonido es el cambio de energía en una u otra forma, usualmente calor, cuando pasa a través de un material o golpea una superficie. La cantidad de calor producido por la conversión de la energía del sonido es extremadamente pequeño. La velocidad de la onda sonora no es afectada por la absorción.

2.3 Difusión del sonido.

Si la presión del sonido es igual en todas las partes de un auditorio y es probable que las ondas sonoras estén viajando en todas direcciones, se dice que el campo sonoro es homogéneo; en otras palabras, la difusión del sonido o dispersión del sonido prevalece en el cuarto. La adecuada difusión del sonido es una característica acústica necesaria de ciertos tipos de cuartos (salas de concierto, estudios de radio y grabación) porque fomenta una distribución uniforme del sonido, acentúa las cualidades naturales de la música y evita la ocurrencia de defectos acústicos indeseables.

La difusión del sonido puede ser creada de varias maneras:

- a) La aplicación generosa de superficies irregulares y el esparcimiento de elementos como pilares, vigas, y barandas en los balcones.
- b) La aplicación alternada de tratamientos en las superficies para reflexión y absorción del sonido.
- c) La distribución irregular y aleatoria de diferentes tratamientos absorbentes del sonido.

2.4 Difracción del sonido.

La difracción es un fenómeno acústico el cual ocasiona que las

ondas sonoras se desparramen o rodeen obstáculos como esquinas, columnas, paredes, y vigas. La difracción, que es, el doblamiento y el desparcamiento de las ondas sonoras alrededor de obstáculos, es más pronunciada para los sonidos de bajas frecuencias.

La experiencia da amplia evidencia que las galerías profundas arrojan una sombra acústica sobre la audiencia que está abajo de éstas, causando una notable pérdida en sonidos de alta frecuencia, los cuales no pueden rodear la orilla sobresaliente del balcón. Esta condición crea una pobre audición bajo el balcón.

2.5 Eco y resonancia.

El eco no debe ser confundido con la resonancia. El eco es la diferente y altamente indeseable repetición del sonido original; la resonancia, dentro de límites razonables, es la útil extensión o prolongación del sonido.

El eco se origina del mismo modo que la resonancia; las ondas sonoras procedentes de una fuente se propagan en línea recta en todas direcciones, con una superficie frontal esférica, y en el momento en que alcanzan a una persona producen en su oído una cierta sensación. Pero si se trata de locales cerrados, las ondas sonoras llegan, no sólo a las personas, sino también a las paredes, techo y suelo, que a su vez las reflejan y las hacen llegar de nuevo al auditorio.

Cuando entre la llegada de la onda directa y la de la primera reflejada media un intervalo de $1/20$ de seg. o más, se perciben dos sensaciones bien distintas, como si de dos sonidos se tratara. Este fenómeno recibe el nombre de eco. En cambio, y debido a la estructura del oído humano, cuando entre dos ondas sucesivas no transcurre ni un veinteavo de segundo se oye como un sólo nido algo prolongado. Por esta razón se dice que $1/20$ de segundo es el poder de separación del oído humano. El conjunto de todas las sensaciones percibidas por el oído, en un local cerrado, procedentes de una onda directa, entre las cuales no haya un intervalo mayor de $1/20$ de segundo, constituye la resonancia. Para medir ésta, se hace uso del tiempo de reverberación, que se definirá más adelante.

La condición esencial para la buena audición acústica en un local es que el auditorio no pueda notar ecos ni resonancias. La velocidad de propagación del sonido es de unos 340 m/seg, es decir, que en $1/20$ de segundo recorre 17 m; para evitar la formación de ecos, las dimensiones de la sala, y por lo tanto el camino a recorrer las ondas sonoras, han de ser tales que no pueda haber más de 17 m. -

entre el frente de la onda directa y la primera reflejada (o entre dos ondas reflejadas consecutivas). Las paredes posteriores reflectivas producen eco y las paredes posteriores absorbentes eliminan el eco.

3. Reverberación.

La principal característica de las buenas condiciones acústicas de un local está dada por la duración de la resonancia o tiempo de reverberación, en la zona central del campo de audibilidad del oído humano.

La prolongación de un sonido como resultado de reflexiones sucesivas en un espacio cerrado, después de que la fuente de sonido es apagada, se conoce como reverberación.

Las primeras investigaciones fundamentales sobre la extinción de la energía sonora en locales cerrados, se deben al físico americano W. C. Sabine (1900), quien definió el tiempo de reverberación, como el tiempo que tarda un sonido en reducir su intensidad a su millonésima parte, o sea, en disminuir en unos 60 db su nivel acústico. La llamada fórmula de Sabine para la duración de la reverberación es:

$$T_R = \frac{0.16 V}{\Sigma(F \cdot a)} \quad (\text{seg}) \quad (18)$$

donde: T_R = tiempo de reverberación (seg.)

V = volumen del local (m³.)

$\Sigma(F \cdot a)$ = suma de los productos de todas las áreas F de las superficies que limitan el local por sus correspondientes coeficientes de absorción a . Esta fórmula es exacta sólo para pequeños coeficientes de absorción ($a = 0.2$).

La fórmula de Sabine, usada ahora para un cálculo simplificado de T_R es:

$$T_R = \frac{0.16 V}{A + xV} \quad (19)$$

donde: A = absorción total del cuarto (m². Sabines)

x = coeficiente de absorción del aire. El coeficiente de absorción del aire depende en la temperatura y humedad del aire y también de la frecuencia del sonido.

En el sistema inglés, esta fórmula queda como sigue:

$$T_R = \frac{0.05 V}{A + xV} \quad (20)$$

donde: T_R está dado en seg, V en ft³. y A en ft² sabines.

La absorción de una superficie es encontrada multiplicando su área S por su coeficiente de absorción α , la absorción total del cuarto A es obtenida por la suma de estos productos con la inclusión de la absorción provista por la audiencia y los otros contenidos del cuarto (asientos, alfombra, cortinas, etc). Así:

$$A = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3 \dots + S_n\alpha_n \quad (21)$$

donde: S, \dots, S_n son las áreas de superficie individuales, en M^2 . (o ft^2 .), y $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ son sus respectivos coeficientes de absorción.

En locales con paredes muy absorbentes, el tiempo de reverberación es pequeño, mientras que con paredes poco absorbentes, el tiempo -- aumenta considerablemente.

Para un eficaz acondicionamiento de un local, es importante que previamente se establezca cual debe ser su tiempo óptimo de reverberación.

En general, para música de órgano y coros, convienen tiempos lo más largos posible; para óperas, comedias y música de cámara, tiempos de duración mediana, y para charlas o conferencias, lo más cortos posible.

Puesto que la absorción de varios materiales y acabados usados en el diseño de auditorios varía con la frecuencia, algunas veces considerablemente, los valores de los tiempos de reverberación, naturalmente, variarán con la frecuencia. Es por tanto esencial especificar o calcular estos tiempos para un número de frecuencias representativas del rango de audio-frecuencias, por ejemplo, al menos para 125, 250, 500, 2000 y 4000 hz. El número de estas frecuencias representativas dependerá en la importancia prestada a las consideraciones acústicas.

Una cámara de reverberación o sala ecoica es una sala construida especialmente con superficies que prácticamente no absorben el sonido y provista de aspas giratorias para producir una difusión uniforme del sonido. Las paredes son altamente reflectantes de ondas sonoras y, en consecuencia, las ondas sonoras sufren pérdidas muy pequeñas en cada reflexión. Estas reflexiones producirán una distribución de energía sonora uniforme, así que en cualquier punto del salón (no muy cerca de la pared o de la fuente) El sonido parece provenir igualmente de todas las direcciones. La cámara de reverberación es usada para medir la potencia sonora total de salida de un equipo, para establecer el coeficiente de reducción de sonido, para probar la eficiencia de control de sonido de materiales y estructuras, y para calibrar micrófonos.

El crecimiento de la intensidad del sonido en una cámara de reverberación está dado por:

$$I(t) = \frac{W}{\alpha} (1 - e^{-(\alpha c(4V)t)}) \quad \text{watts/m}^2 \quad (22)$$

y el decaimiento de la intensidad del sonido está dado por:

$$I(t) = \frac{1}{4} D_0 c e^{-(\alpha c(4V)t)} \quad \text{watts/m}^2 \quad (23)$$

donde: W = potencia sonora de salida (watts);
 α = absorción total del sonido (Sabines M3),
 c = velocidad del sonido (m seg),
 V = volumen del salon (m3.), y
 D_0 = densidad de energía del sonido cuando la fuente es desconectada (watt seg. /m3)

4. Materiales absorbentes de sonido.

4.1 Coeficiente de absorción del sonido.

Qué tan eficiente es la absorción del sonido de un material para una frecuencia específica es fijado por el coeficiente de absorción del sonido.

La fracción de energía absorbida cuando una onda sonora es reflejada se llama coeficiente de absorción del sonido (absortividad acústica del material) y puede variar desde 1 ó 2 % hasta -- cerca del 100 % para varios materiales. El coeficiente de absorción de un material depende de la naturaleza del mismo, en la frecuencia del sonido, y en el ángulo con el cual la onda golpea la superficie del material.

La absorción de sonido de una superficie es medida en Sabines. un sabín representa una superficie de 1 M2 (o 1 ft2) teniendo un coeficiente de absorción de $\alpha = 1.0$. La absorción por superficie es obtenida multiplicando el área de la superficie por su coeficiente de absorción.

Amenudo se habla de un coeficiente "m" de absorción; este coeficiente indica la variación de absorción debida a la humedad, temperatura, y volumen de aire en el local. Dicho coeficiente adquiere importancia a partir de los 4 KHz. En la figura 7 se representan las variaciones del coeficiente "m" en función de la frecuencia y la humedad, para una temperatura ambiente de 20°C.

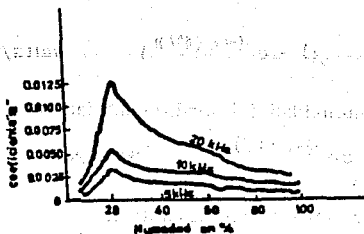


Figura 7.- Coeficiente "m" de absorción de los sonidos.

4.2 Medición de coeficientes de absorción.

El coeficiente de absorción de algunos materiales varía considerablemente con el ángulo de incidencia de las ondas sonoras. Cuando los materiales son usados para superficies de cuartos, lo cual es muy común, están normalmente expuestos a ondas sonoras incidentes en muchos ángulos diferentes más o menos aleatoriamente distribuidos. Por esta razón, los coeficientes son de terminados, generalmente, por el método de cámara de reverberación. El coeficiente es calculado del efecto medido de la prueba en el campo sonoro en la cámara, y el resultado así obtenido se considera un valor promedio para todos los ángulos de incidencia.

a) Método de cámara de reverberación.

Este método utiliza una cámara desnuda con un tiempo de reverberación largo. Una muestra grande de varios tipos de materiales absorbentes es instalada en la cámara, de tal modo reduciendo su T_R (tiempo de reverberación). El coeficiente de absorción del sonido del material absorbente es entonces calculado del decrecimiento en el T_R de la cámara, creado por la muestra del material absorbente del sonido. El tamaño de la muestra de prueba puede variar de 5.6 a 9.3 M² (60 a 100 ft²), dependiendo de las dimensiones de la cámara de reverberación. Las muestras son probadas colocándolas sobre el suelo, en las paredes, o en el techo de la cámara. Es esencial que la muestra sea instalada de una manera simulando condiciones de campo predecible o existente. Las mediciones son hechas a frecuencias representativas a lo largo del rango de audio-frecuencias.

El coeficiente de absorción medido en una cámara de reverberación, no debe ser considerado como una constante del material porque dependerá del tamaño de la muestra, su posición y distribución en la cámara, la forma en que es montada, y las características físicas de la cámara misma. Por esto, los valores de los coeficientes de absorción medidos en diferentes laboratorios deben ser comparados con cautela.

b) Método de tubo.

Este método es usado para medir los coeficientes de absorción del sonido de muestras pequeñas de materiales acústicos para ondas sonoras viajando perpendicularmente a la superficie de la muestra. La medición dará una indicación de la absorción del sonido en el rango de frecuencias de cerca de 200 a 3000 Hz. Este método es inapropiado para todas las mediciones de los coeficientes de absorción por sus limitaciones. Desatiende el hecho de que las ondas de sonido golpean los materiales absorbentes en varios ángulos, y además el tamaño y el método de montar la muestra de prueba no tiene similitud a las condiciones actuales de trabajo. Por estas razones, los resultados obtenidos por el método de tubo deben ser usados para trabajo teórico, en el desarrollo de nuevos materiales acústicos o en la comparación de los existentes, y también para control de calidad.

Ocasionalmente, uno desea determinar el decrecimiento en el nivel de presión del sonido debido a una reflexión sencilla de la superficie de un material acústico. Para llegar a esto, exactamente, es necesario conocer el ángulo de incidencia bajo consideración y el coeficiente de absorción para el ángulo particular α_0 . El decrecimiento en el nivel de presión del sonido está dado por:

$$10 \log_{10} \frac{1}{1 - \alpha_0} \quad \text{db por reflexión (24)}$$

Si el valor de α_0 no es conocido, el coeficiente de incidencia aleatoria α_c puede ser sustituido como una aproximación.

4.3 Tipos de materiales para absorción del sonido.

Los materiales absorbentes del sonido y construcciones usadas en el diseño acústico de auditorios o para el control de sonido en cuartos ruidosos pueden ser clasificados como: (A) materiales porosos, (B) paneles o membranas absorbentes, y (C) resonadores de cavidad (o de Helmholtz).

Tabla 1. Coeficientes de absorción del sonido de materiales de construcción, materiales acústicos, y contenidos de cuartos.

Descripción	Frecuencia, Hz.					
	125	250	500	1000	2000	4000
Enyesado acústico, promedio	0.07	0.17	0.50	0.60	0.68	0.66
Cubierta de acero acústico (150 mm)	0.58	0.64	0.71	0.63	0.47	0.40
Aire, por 100 M3 de volumen, humedad relativa de 50 %				0.3	0.9	2.4
Audiencia, en asientos tapizados por unidad de área de piso	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.87
Músicos, con asiento e instrumentos, por persona	4.0	8.5	11.5	14.0	13.0	12.0
Tabique, descubierto sin pintar	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Alfombra pesada sobre concreto	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
Bloque de concreto sin pintar	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
Piso, concreto o terrazo	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02
linóleoum, vinilo, caucho	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
Vidrio, plato pesado	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
ventana ordinaria	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Mesa de yeso 13mm, sobre patas de 50 por 100 mm	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Enyesado, acabado fino sobre ladrillo	0.013	0.015	0.02	0.03	0.04	0.05
Madera compuesta	0.60	0.30	0.10	0.09	0.09	0.09
Panel de madera, 10 a 13 mm sobre 50 a 100 mm de espacio de aire	0.30	0.25	0.20	0.17	0.15	0.10

Los materiales acústicos de alguno de estos grupos y una combinación de estos (como tratamientos acústicos diseñados individualmente) pueden ser montados sobre las paredes de un cuarto o suspendidos en el aire como absorbedores de espacio. El método de montaje, tiene un efecto considerable sobre la absorción del sonido de la mayoría de los materiales.

- A. Materiales porosos. La característica acústica básica de todos los materiales porosos, tales como tablas fibrosas, enyesados blandos, lana mineral, y mantas de aislamiento, es una red celular de poros entrelazados. La energía sonora incidente es convertida en energía calorífica dentro de estos poros. La fracción de sonido incidente así -

convertido en calor es absorbida, mientras el remanente, reducido en energía, es reflejado desde la superficie del material. Materiales celulares con células cercanas y no entrelazadas, tales como resinas espumosas, caucho celular, y vidrio espumoso, son pobres absorbentes del sonido.

Las principales características de los absorbentes porosos son: (1) su absorción del sonido es más eficiente a -- altas que a bajas frecuencias, y (2) su eficiencia acústica mejora en el rango de bajas frecuencias con el incremento de su densidad y con la distancia de su apoyo sólido. -- Los materiales porosos comerciales pueden ser divididos en tres categorías: (a) unidades acústicas prefabricadas, (b) enyesados acústicos y materiales rociados, y (c) mantas acústicas (de aislamiento).

(a) Unidades acústicas prefabricadas. Varios tipos de celulosas perforadas, no perforadas, agrietadas, o texturadas y fibras minerales colocadas en paneles, y cacerolas de metal perforadas con forros absorbentes constituyen unidades típicas en este grupo. Estas unidades -- pueden montarse de varias maneras, según las instrucciones del fabricante; por ejemplo, pegadas a un apoyo sólido, clavadas o atornilladas a bastidores de madera, o colocadas en sistemas de suspensión de techos.

El uso de unidades acústicas prefabricadas ofrece varias ventajas:

- tienen una absorción garantizada de fábrica digna, de confianza.
- la instalación y el mantenimiento son relativamente fáciles y económicos.
- algunas pueden ser redecoradas sin afectar seriamente su absorción.
- su uso en techos puede ser integrado funcionalmente y visualmente con requerimientos de luz, calor, o acondicionamiento de aire; sirven para reducción de ruido y ofrecen flexibilidad para dividirse.
- si son montados adecuadamente, su absorción puede incrementarse beneficiosamente.

Su aplicación, por otro lado, presenta pocos problemas:

- es difícil ocultar las uniones entre unidades adyacentes.
- generalmente tienen una estructura blanda, la cual estará sujeta a daño mecánico si es instalada a niveles bajos de las paredes.
- el uso de pintura para redecoración puede alterar peligrosamente la absorción de la mayoría de las unidades acústicas prefabricadas.

- (b) Enyesados acústicos y materiales rociados. Estos acabados acústicos son usados mayormente para propósitos de reducción de ruido y algunas veces en auditorios, donde algún otro tratamiento acústico sería impráctico por la forma curvada o irregular de la superficie. Son aplicados en una consistencia semiplástica, por una pistola rociadora o a mano con una llana.

Su eficiencia acústica, usualmente mejor a altas frecuencias, depende grandemente de tales condiciones de trabajo como el grosor y composición de la mezcla, la cantidad de aplicación, y la manera en la cual el acabado es aplicado.

- (c) Mantas acústicas. Las mantas acústicas son fabricadas de lana, fibra de vidrio, maderas fibrosas, etc. Generalmente, son instaladas sobre bastidores de madera o metal; estas carpetas son usadas para propósitos acústicos variando su grosor entre 25 y 125 mm (1 y 5 in.). su absorción se incrementa con el grosor, particularmente, a bajas frecuencias.

Las alfombras están siendo usadas como materiales versátiles por que absorben los sonidos llevados por el aire y ruidos dentro del cuarto, reducen y, en algunos casos, eliminan casi completamente los impactos ruidosos. Los pisos alfombrados contribuyen a la absorción del sonido como sigue:

- el tipo de fibra prácticamente no tiene efecto en la absorción del sonido.
- con el incremento de amontonamientos altos y pesados, en amontonamientos fabricados, la absorción del sonido se incrementa.

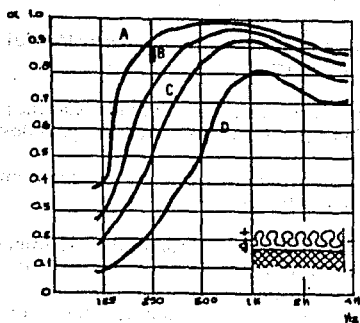


Figura 9.- Absorción promedio de losas acústicas típicas aplicadas con adhesivo (A) o en un sistema de suspensión (B).

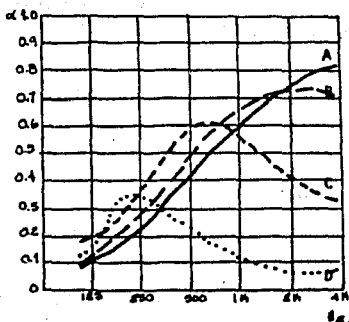


Figura 8.- Absorción del sonido de mantas de fibra de vidrio con densidad de 52 Kg por m^3 y de varios grosores comparados.

- A.- $d=100$ mm (4'')
- B.- $d=75$ mm (3'')
- C.- $d=50$ mm (2'')
- D.- $d=25$ mm (1'')

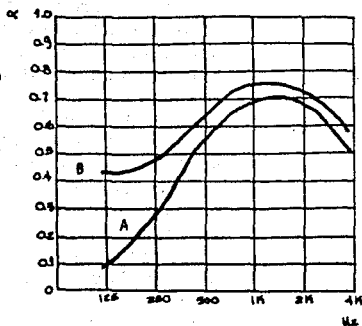


Figura 10.- Efecto de pintar en unidades acústicas prefabricadas porosas.

- A.- superficie no tratada
- B.- una capa de pintura aplicada con pistola rociadora.
- C.- una capa de pintura aplicada con brocha.
- D.- dos capas de pintura aplicadas con brocha.

- amontonamientos cortados proveen más absorción que amontonamientos entrelazados bajo condiciones idénticas.

Las paredes tapizadas contribuyen a la absorción del sonido de la siguiente manera:

- tapetes instalados sobre paredes cubiertas son mejores que tapetes pegados directamente sobre las paredes.
- los tapetes con capas minerales o lana, usados como relleno, proveen más absorción.

B. Paneles (membranas) absorbentes. Algún material impene-
trable instalado sobre un apoyo sólido pero separado de és-
te por un espacio de aire, actuará como un panel absorben-
te y vibrará cuando sea golpeado por las ondas sonoras. -
La vibración flexional del panel, entonces, absorberá una
cierta cantidad de sonido incidente (energía sonora) convir-
tiéndola en energía de calor. Los paneles de esta clase son
eficientes absorbedores a bajas frecuencias. Cuando son -
seleccionados apropiadamente, los paneles absorbedores -
balancean un medio un poco excesivo y la absorción a altas
frecuencias de absorbedores porosos y contenidos de un --
cuarto. Así los absorbentes porosos contribuyen para una
característica de reverberación uniforme sobre todo el ran-
go de audio-frecuencias. Entre acabados de auditorios y --
construcciones los siguientes paneles absorbedores contri-
buyen a la absorción a bajas frecuencias: paneles de made-
ra y tablas duras, tablas de yeso, techos enyesados suspen-
didos, tablas plásticas rígidas, ventanas, vitrinas, puertas,
pisos y plataformas de madera, y platos metálicos. A cau-
sa de la resistencia incrementada contra el desgaste y la --
abrasión, muchos de estos paneles absorbentes no perfora-
dos son a menudo instalados en las partes bajas de las pare-
des.

C. Resonadores de cavidad. Los resonadores de cavidad (o de
Helmholtz) consisten de un cuerpo encerrado de aire apri-
sionado contra paredes rígidas y conectado por una abertu-
ra estrecha (llamada la náriz) al espacio circundante, en
el cual las ondas sonoras viajan.

Un resonador de cavidad absorbe máxima energía sonora -
en una región estrecha de la banda de bajas frecuencias. --
Una jarra vacía o una botella también actúan como un reso-
nador de cavidad. Los resonadores de cavidad pueden ser
aplicados (a) como unidades individuales, (b) como paneles

resonadores perforados, y (c) como resonadores cortados en tiras (rajados).

a. Resonadores de cavidad individuales. Los resonadores de cavidad individuales hechos de vasijas de arcilla vacías de diferentes tamaños fueron usados en Iglesias - Escandinavas medievales. Su absorción efectiva tiende entre 100 y 400 Hz. Bloques de concreto estándar usan una mixtura regular de concreto pero con cavidades ranuradas, llamados unidades de bloques sonoros, constituyen una versión contemporánea del resonador de cavidad. Puesto que eliminan la necesidad de instalar adicionalmente superficies de tratamiento de absorción del sonido, ofrecen un medio económico para el control de la reverberación o del ruido. Los bloques son moldeados en dos series, llamados tipo A y tipo B. Las unidades de tipo A tienen ranuras de aproximadamente 6 mm. (1/4 de pulgada) y elementos de relleno no combustibles en sus cavidades. En ambos tipos las cavidades están cerradas en la parte de arriba, las ranuras permiten que las cavidades cerradas actúen como resonadores de Helmholtz. Su máxima absorción del sonido ocurre a bajas frecuencias, decayendo en las altas frecuencias. Su gran ventaja consiste en su robustez y durabilidad, lo cual permite su uso en gimnasios, albercas, plantas industriales, terminales de transportación, etc.

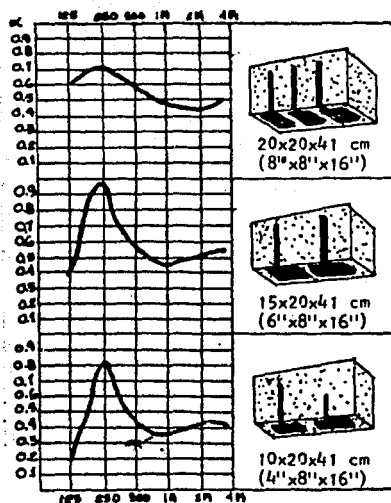


Figura 11.- Unidades de bloques sonoros típicos usados como resonadores de cavidad individuales.

- b. Paneles resonadores perforados. Los paneles perforados, espaciados a distancia de un apoyo sólido, proveen aplicación práctica ampliamente usada del principio del resonador de cavidad. Contienen un gran número de narices, constituyendo la perforación del panel, funcionan así como un arreglo de resonadores de cavidad. Las perforaciones son usualmente circulares (algunas veces ranuradas). El espacio de aire entre la perforación forma el cuerpo no dividido del resonador, separado en encierros por elementos horizontales y verticales del sistema formado.

Los paneles resonadores perforados no proveen tal absorción selectiva como los resonadores de cavidad simple, particularmente si una manta de aislamiento es colocada en el espacio de aire entre la tabla perforada expuesta visualmente. Las curvas frecuencia-absorción de paneles resonadores perforados, generalmente, muestran un valor (pico) máximo en la región media de la escala de frecuencia con una caída aparente arriba de los 1000 Hz. Por esto, si el mismo tratamiento de panel perforado fuera usado extensivamente en un auditorio, el T_R sería desfavorablemente corto a la frecuencia del valor de absorción pico. Varios paneles o tablas comerciales están disponibles en formas perforadas, adecuadas para aplicaciones como paneles absorbentes perforados, tales como láminas de asbesto-cemento, acero sencillo, corrugado, y expandido o láminas de aluminio; láminas de plástico rígidas y paneles de madera y madera compuesta; paneles de fibra de vidrio reforzada, y láminas de acero con cubierta plástica.

- c. Resonadores con hendeduras o cortados en tiras. En el diseño de auditorios, el efecto acústico deseado a menudo puede ser completado usando mantas aislantes relativamente baratas a lo largo de las superficies del cuarto. Sin embargo, debido a su porosidad, las mantas aislantes necesitan protección contra la abrasión. Esto da una oportunidad para diseñar tratamientos de superficies de corativos-protectivos, o pantallas, con elementos de sección cruzada relativamente pequeña, y con espacio razonable para permitir que las ondas sonoras penetren entre los elementos de la pantalla dentro del apoyo poroso. La pantalla protectora puede consistir de un sistema de madera, metal, o tablillas plásticas rígidas, bloques con cavidades, o ladrillos, con una serie de aberturas o ranuras espuestas. La pantalla protectora, con sus elementos espaciados adecuadamente y la manta aislante de

trás de ésta, constituye un resonador con hendidura absorbedor. Trabaja como un panel resonador perforado en que tiene también una cavidad detrás de la nariz, formada por la hendidura creada por los elementos espaciados de la pantalla. La popularidad de los resonadores de hendidura en el control acústico de auditorios es debido al hecho de que ofrecen una amplia selección para el diseño, aunque son más costosos que los materiales acústicos comerciales.

En la figura 12 se muestra un esquema general del efecto que tienen en absorción los diversos materiales antes enunciados.

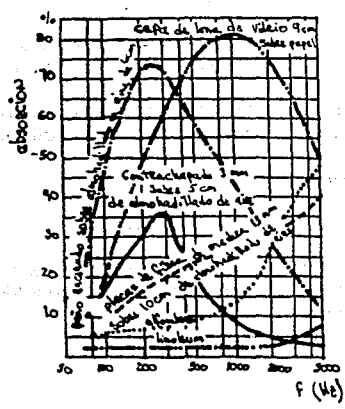


Figura 12.- Propiedades de absorción sonora de diversos materiales.

4.4.4. Detalles que deben ser examinados en la selección de construcciones o acabados para la absorción del sonido:

- Coeficientes de absorción del sonido a frecuencias representativas del rango de audio frecuencias.
- Duración y resistencia al fuego.
- Costo de instalación
- Durabilidad (resistencia a los impactos, daños mecánicos, y a la abrasión).
- Reflexión de la luz.
- Condiciones de trabajo (temperatura, humedad durante la instalación, y disposición de apoyos).
- Integración a los elementos del cuarto (puertas, ventanas, rejas, etc.) dentro del acabado acústico.
- Grosor y peso.
- Valor de aislación térmica.
- Requerimientos simultáneos para la adecuada aislación del sonido (en el caso de techos suspendidos y recubrimientos exteriores).

5. Reducción del ruido.

Cuando un campo sonoro se forma por una fuente continua estable omnidireccional en un cuarto cerrado, el nivel total de presión sonora en cualquier punto dado en el cuarto puede ser considerada como la suma logarítmica del nivel de presión del sonido el cual viaja directamente desde la fuente, y el nivel de presión del sonido reverberante debido a todas las ondas sonoras las cuales llegan al mismo punto después de una o más reflexiones de las superficies del cuarto. El nivel de presión del sonido directo depende solo de la potencia de la fuente y de su distancia al punto de observación.

El nivel de presión sonora del sonido directo L_d para una fuente no direccional es:

$$\begin{aligned} L_d &= 10 \log_{10} W - 20 \log_{10} r + 119.6 \quad \text{db} \\ &= L_w - 20 \log_{10} r - 0.6 \end{aligned} \quad (25)$$

donde: W es la potencia acústica de la fuente en watts, L_w es el nivel de potencia de la fuente en db referida a 10^{-12} watt, y r en la distancia desde la fuente en pies.

Si la distancia r desde la fuente es expresada en metros, la ec. 25 llega a ser:

$$L_d = L_w - 20 \log_{10} r - 10.9 \quad \text{db} \quad (25a)$$

De estas ecuaciones puede mostrarse que el nivel de presión sonora de crece 6 db cada vez que se duplica la distancia de la fuente, o 20 db -- con cada 10 dobles de incremento en la distancia.

El nivel de presión sonora del sonido reflejado, debido a la acumulación de reflexiones multiples de una fuente sostenida uniforme en potencia acústica, será aproximadamente uniforme en todo un cuarto si este es de proporciones regulares (donde la más larga disminución del piso no es más que cerca de cinco veces la altura del techo) y si la fuente no contiene fuertes componentes de frecuencia discreta.

Para una fuente de potencia acústica W , el promedio de nivel de presión sonora del sonido reflejado L_r en un cuarto de proporciones regulares depende solo de la absorción total A , ec. 21 y no de la distancia de la fuente.

Si A es expresado en sabines.

$$\begin{aligned} L_r &= 10 \log_{10} W - 10 \log_{10} A + 136.4 \quad \text{db} \\ &= L_w - 10 \log_{10} A + 16.4 \quad \text{db} \end{aligned} \quad (26)$$

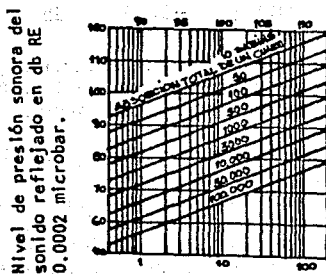
Si la absorción total es expresada en $M2.$, entonces la formula correspondiente a la ec. 26 es:

$$\begin{aligned} L_r &= 10 \log_{10} W - 10 \log_{10} A + 126.1 \quad \text{db} \\ &= L_w - 10 \log_{10} A + 6.1 \quad \text{db} \end{aligned} \quad (26a)$$

Debe subrayarse que la ec. 26 esta derivada de la suposición de la distribución difusa del sonido en el cuarto, una condición que usualmente se obtiene solo cuando el promedio del coeficiente de absorción α es -- pequeño, cuando hay discontinuidades en la superficie en absorción o configuración geométrica, y cuando muchas frecuencias son presentadas.

La relación del nivel de presión sonora reflejado L_r a la potencia acústica de la fuente W y la absorción del cuarto A es mostrada gráficamente en la figura 13.

Nivel de potencia de la fuente
en db RE 10 watt.



Potencia sonora de la fuente
en milliwatts.

Fig. 13. Relación del nivel de presión del sonido reflejado en un cuarto reverberante de la potencia acústica de la fuente y la absorción del cuarto.

El nivel total de presión sonora $L_d + L_r$, siendo la suma logarítmica* de los niveles del sonido directo y reflejado, será solo ligeramente más alto que el nivel de la componente más grande, por una cantidad que nunca excederá de 3 db.

De acuerdo a la ecuación 26 el nivel de sonido reflejado debido a una fuente de potencia acústica dada decrecerá como el logaritmo de la absorción del cuarto se incrementa. Si dos cuartos tienen absorciones de A_1 y A_2 y si el sonido en el cuarto es difuso, entonces la diferencia en nivel reflejado formado en los dos cuartos por la misma fuente será -- aproximadamente.

$$\text{Reducción} = 10 \log_{10} \frac{A_2}{A_1} \quad \text{db} \quad (27)$$

Esta relación es mostrada gráficamente en la figura 14.

*La suma logarítmica L en db de dos cantidades L_1 y L_2 , también en db es:

$$L = 10 \log \left(\log^{-1} \frac{L_1}{10} + \log^{-1} \frac{L_2}{10} \right) \quad \text{db}$$

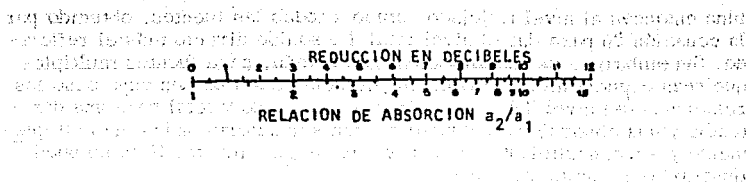


Fig. 14. Reducción en el nivel de presión sonora del sonido reflejado en un cuarto regularmente proporcionado, en el cual prevalecen condiciones difusas, debido al incremento de la absorción total de a_1 a a_2 .

Puesto que de la ecuación 21 la absorción depende directamente del área total de las superficies (S), la ecuación 27 indica que, si dos cuartos son cubiertos con materiales que tienen el mismo promedio de coeficiente de absorción α , una fuente dada formará un nivel más alto de sonido reflejado en el cuarto más pequeño.

La ecuación 27 también se aplica al caso más típico donde la absorción del cuarto es incrementada aumentando material absorbente a las superficies del cuarto. En este caso, el área de la superficie S permanece igual pero el promedio del coeficiente de absorción α es incrementado. Entonces la ecuación 27 indica la reducción en nivel del sonido reflejado que puede ser esperado cuando la absorción total en un cuarto es incrementada de A_1 a A_2 . La ecuación 27 también puede ser escrita, para este caso, como:

$$\text{reducción} = 10 \log_{10} \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \quad \text{db} \quad (28)$$

Si un número de fuentes de sonido se presentan en un cuarto en lugar de la fuente sencilla considerada anteriormente, las relaciones de niveles de presión del sonido descrito, reflejado y total cambiarán en alguna magnitud.

La reducción en nivel de presión del sonido reflejado debida al incremento de la absorción del cuarto será la misma para cualquier número de fuentes iguales o desiguales como lo es para una fuente sencilla dada por las ecuaciones 27 y 28.

El nivel del sonido directo y reflejado combinados de fuentes desiguales en posiciones donde el sonido directo de una o más fuentes no es insignificante no puede ser computado a menos que la potencia y la distancia de cada fuente sean conocidas. El sonido de todas las fuentes combinadas, en un punto dado de absorción, es más convenientemente determinado, si sus potencias y distancias son conocidas por separado, calculando el nivel de presión sonora de cada fuente por la ecuación 25 y combinando los niveles según la figura 20 (cap. IV). Este nivel se com-

bina entonces al nivel reflejado debido a todas las fuentes, obtenido por la ecuación 26 para dar el nivel total del sonido directo más el reflejado. Sin embargo, es una situación más común, para fuentes múltiples que sean esencialmente iguales en potencia de salida, en cuyo caso las relaciones del nivel del sonido directo, reflejado y total para una distancia y una absorción del cuarto pueden ser determinadas más simplemente y sin conocimiento de la potencia de cada fuente. Esto se puede ilustrar de la siguiente manera:

Suponiendo que hay seis fuentes de ruido teniendo una potencia de 0.0115 watt cada una, las cuales están a distancias respectivas del punto de observación de 5, 7, 8, 10, 12, y 15 ft. Calcular el nivel de presión combinado del sonido directo y reflejado, para una absorción del cuarto de 100 sabines y con la absorción incrementada a 1000 sabines. De la ecuación 25 el nivel del sonido directo de cada fuente es.

Distancia, ft.	5	7	8	10	12	15
Nivel directo, db	86	83	82	80	78	76

El nivel total directo es la suma logarítmica de los niveles directos individuales y es 89.8 db.

De acuerdo a la ecuación 26, el nivel reflejado para cualquier absorción del cuarto con 6 fuentes iguales en lugar de una será aumentado a $10 \log_{10} 6 = 7.8$ db. Para una absorción de 100, por lo tanto, el nivel reflejado debido a seis fuentes de 0.0115 watt cada una es igual a 104.8 db. El nivel combinado del sonido directo y reflejado en el punto especificado de observación será 89.8 sumado logarítmicamente a 104.8 db, lo cual es 104.9 db, de acuerdo a la figura 20 (cap. IV).

Con la absorción A incrementada de 100 a 1000, o 10 veces, el nivel reflejado de acuerdo a la ecuación 27 es reducido 10 db a 94.8 db.

Debe notarse que la potencia de 0.0115 watt para cada fuente es escogida arbitrariamente. Para cualquiera otros niveles de potencia todos los niveles de presión sonora se levantarán o bajarán en conformidad, y la reducción de 8.9 en el nivel combinado debido al tratamiento acústico permanecerá igual. Debe también recordarse que la reducción de 8.9 db toma lugar solo en la posición particular escogida. En un punto más cerca a cualquiera de las fuentes de reducción será menor, y en puntos más distantes que 5 ft. de la fuente más cercana la reducción sería más grande y se aproximaría a 10 db, como un límite para la reducción en el nivel reflejado.

Generalmente hablando, las fuentes más cercanas al punto de observación, más bien que las más distantes, en gran parte rigen el nivel del sonido directo en relación al sonido reflejado, y determinan que tan aproximadamente la reducción en el nivel combinado en un punto se

aproxima a la reducción de el nivel reflejado.

6. Sonorización ambiental.

En la sonorización de espacios, bien sean cerrados o al aire libre, deben atenderse a otros requisitos no vistos antes.

- A. Espacio cerrado. El dato más importante dentro de la electrónica para sonorizar este espacio es la potencia eléctrica necesaria. Hacer un cálculo exacto, debido a su complejidad, es muy laborioso, por lo cual se hace uno aproximado mediante la expresión:

$$P = \frac{Vp^2}{2T_R} \times 10^{-4} \quad (29)$$

donde: P = potencia eléctrica necesaria (W)

V = volumen del local (m³.)

p = presión acústica deseada (microbar)

T_R = tiempo de reverberación (seg.)

Como presiones acústicas recomendadas están:

Sala de conferencias	4	microbar
Música ligera (restaurantes)	8	"
Conciertos o lugares muy ruidosos	12	"

En habitaciones normales, conviene colocar el altavoz, en una de las dos paredes largas. En caso de colocarlo en la pared -- corta favorece las resonancias.

Se logra una buena reproducción de tonos graves, colocando el altavoz o baffle en un rincón, ya que las paredes que forman el rincón actúan como una bocina. La colocación en un rincón tiene las ventajas adicionales, de: (a) las reflexiones son menos e irregulares y, en consecuencia, disminuyen los inconvenientes por formación, de ondas estacionarias, con sus puntos -- de máxima y mínima vibración; (b) permite que los agudos cubran toda la habitación.

- B. Espacio abierto. Se debe tomar en cuenta en este espacio, el tiempo atmosférico, ya que, por ejemplo, la niebla frena la propagación de las ondas sonoras, mientras que el viento se las -- lleva.

Existen dos posibilidades de sonorizar una superficie al aire -- libre:

- a. **Sonorización central.** Los altavoces se sitúan en las cercanías de la fuente del sonido, es decir, en el propio escenario donde se lleva a cabo la función. Este sistema no es factible en espacios muy grandes, ya que entonces la intensidad del sonido en las inmediaciones de los altavoces se hace insuportable.
- b. **Sonorización repartida.** Consiste en repartir los altavoces en el espacio. Con esto, se presenta el problema de que en algunos puntos el sonido alcanza al oyente desde diferentes altavoces, y si la distancia de dichos altavoces al oyente son diferentes, el sonido llegará a él con tiempos diferentes y, por lo tanto, la audición se hace difícil o imposible.

Por este motivo debe adaptarse la potencia eléctrica, la característica direccional y la disposición de los altavoces a la magnitud y forma geométrica de la superficie.

La potencia eléctrica necesaria para sonorizar en espacio abierto viene dada por la expresión:

$$P = \left(\frac{pd}{E} \right)^2 \quad (\text{watt}) \quad (30)$$

donde: P = potencia eléctrica necesaria (watt)
 p = presión acústica deseada (microbar)
 d = distancia (m)
 E = sensibilidad del altavoz (varía entre 10 y 100 y es un dato dado por el fabricante)

Se recomiendan las siguientes presiones acústicas:

Zona tranquila (parque)	1	microbar
Zona con ruido (bar al aire libre)	2	"
Zona de reuniones (estadio deportivo)	3	"
Zona ruidosa (calle de gran circulación)	4	"
Zona muy ruidosa (circuitos automáticos)	5	"

La presión acústica aumenta a medida que nos acercamos al altavoz, es decir, no es uniforme. Para evitarlo y conseguir una distribución uniforme de la intensidad acústica, se recurre a la sonorización repartida, la cual por otra parte tiene el inconveniente de que el sonido llega al oyente desde varios puntos distintos, y con un desfase que perjudica la correcta audición.

Para evitar esto último se deben elegir altavoces cuya característica direccional sea la conveniente. La característica radial o direccional del altavoz debe adaptarse a la forma de la superficie que debe sonorizarse. Así, un altavoz cuya característica radial sea circular se adapta a una superficie cuadrada. Ver figura 15a.

Un altavoz cuya característica direccional sea arrifonada se adapta a una superficie rectangular. Ver figura 15b.

Un altavoz cuya característica radial sea acufiada se adapta a una superficie alargada. Ver figura 15c.

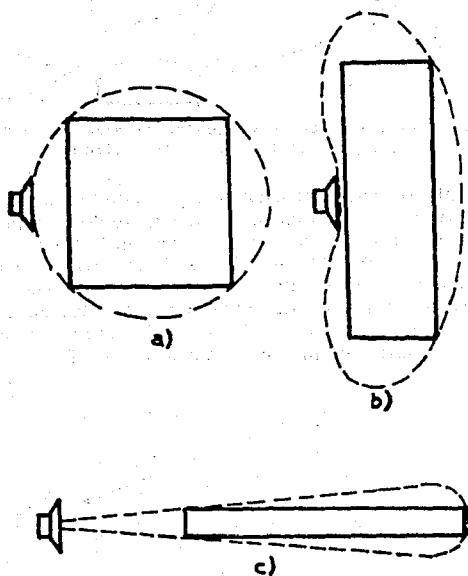


Fig. 15. Características direccionales de los altavoces.

En cada caso particular se debe pues, elegir el altavoz -- adecuado. Así, en la figura 16 se muestra cómo ha de sonorizarse un teatro al aire libre mediante 3 altavoces de característica radial circular, sin que se interfieran mutuamente.

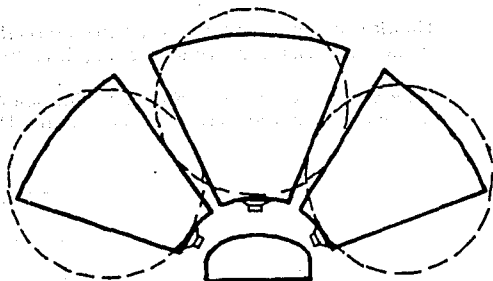


fig. 16. Sonorización de un teatro al aire libre mediante 3 altavoces de característica radial circular.

Una mejor distribución acústica se logra con las denominadas columnas sonoras. Estas están compuestas por una serie de altavoces colocados uno encima de otro, tal como se muestra en la figura 17. De esta forma se consigue que al oyente más alejado le lleguen las ondas sonoras de todos los altavoces casi al mismo tiempo, y como están en fase, se refuerzan, mientras que los oyentes más cercanos reciben las ondas sonoras defasadas, ya que la onda del altavoz "a" recorre un camino mayor que el altavoz "d", por ejemplo, anulándose entre sí.

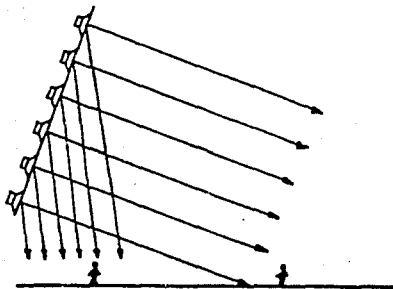


fig. 17. Columnas sonoras.

La sensibilidad de un altavoz es mayor en un grupo de altavoces que en uno solo. La relación entre ambas sensibilidades recibe el nombre de factor del grupo, y viene dado por:

$$g = \frac{E_t}{E} \quad (31)$$

donde: E_t = sensibilidad total

E = sensibilidad de un solo altavoz

En la figura 18 se indican los diferentes factores "g" de los grupos de altavoces representados. Con un grupo de 12 altavoces se tiene una sensibilidad total de:

$$E_t = 3.5 E$$

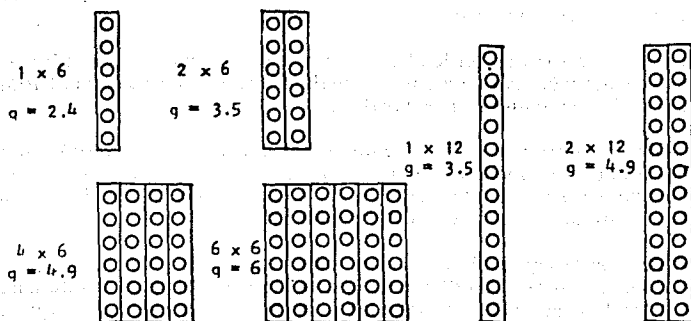


Fig. 18. Diferentes factores g para columnas sonoras.

Con la disposición en grupo no solo se obtiene una mejor distribución del sonido, sino que se mejora notablemente la calidad de reproducción, ya que la respuesta de frecuencia y las distorsiones pueden dominarse mejor en un grupo de altavoces que en uno solo.

El alcance también es mayor en un grupo de altavoces que en uno solo de la misma potencia. Supongamos un grupo de 6 altavoces, cada uno de ellos con una potencia de 4 watts y una sensibilidad $E = 40$, siendo la presión acústica deseada de 2 microbar; con estos datos la distancia alcanzada por el grupo de altavoces es:

$$d = \frac{E_t \sqrt{P_t}}{p} = \frac{gE \sqrt{6P}}{p} = \frac{2.4 \times 40 \sqrt{6 \times 4}}{2} = 235 \text{ m}$$

Sin embargo con un solo altavoz de 24 watts y sensibilidad $E = 40$, el alcance sería:

$$d = \frac{E \sqrt{P}}{p} = \frac{40 \sqrt{24}}{2} = 98 \text{ m}$$

En toda instalación de altavoces debe prestarse especial atención a que los micrófonos no queden dentro del campo acústico del altavoz, ya que en caso contrario el micrófono recogería el sonido del altavoz y lo enviaría de nuevo hacia el amplificador, originándose un acoplamiento acústico. La instalación actúa entonces como oscilador, proporcionando un silbido insoportable.

En la reproducción estereofónica se precisan, al menos, un altavoz por canal, aunque en los modernos equipos HI - FI se utilizan dos baffles con 2 ó 3 vías cada uno.

Los baffles para amplificadores estéreo han de ser idénticos en sus características técnicas, lo cual no difiere en nada a los baffles utilizados en equipos monoaurales.

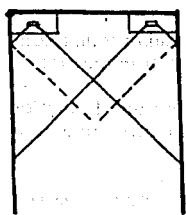
La única diferencia entre un equipo monoaural y un estereofónico estriba en la colocación del altavoz con respecto al oyente. En el sistema estereofónico es la combinación de los sonidos procedentes de cada baffle la que produce la sensación estereofónica.

Para obtener una auténtica sensación estereofónica los baffles deben estar separados por una distancia que, aunque depende de las dimensiones del local, nunca debe ser inferior a un metro, aconsejándose que la separación entre ellos sea la mayor posible.

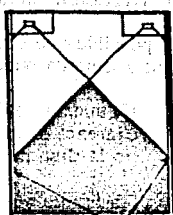
En la figura 19a se muestra una forma muy corriente de situar los baffles, la cual posee el inconveniente de que las ondas sonoras que inciden sobre las paredes se reflejan en ellas, interfiriendo así las ondas directas. Para evitar la reflexión de las ondas sonoras sobre las paredes, éstas deben tratarse con material absorbente, tal y como se muestra en la figura 19b. Obsérvese que la zona de audición es aquella cubierta por las ondas de ambos altavoces.

En el caso de habitaciones de pequeñas dimensiones, pueden conseguirse buenos resultados situando los altavoces tal como se muestra en la figura 20 y en la cual debe tratarse las paredes con materiales reflectantes.

Las figuras 21 y 22 muestran dos disposiciones bastante buenas de los baffles. La disposición de la figura 21, precisa que los altavoces formen entre sí un cierto ángulo, mientras que en la de la figura 22, llamada sistema multidireccional, los altavoces están situados dentro del baffle con el ángulo requerido, por lo que la caja queda alineada con la pared.



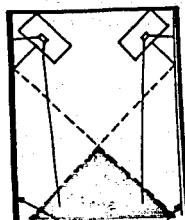
a)



b)

material absorbente

Figura 19. Disposición estereofónica.



audición

material reflectante

Fig. 20. Disposición estereofónica.

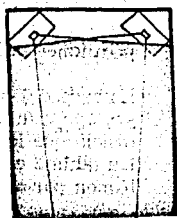


Fig. 21. Otro tipo de disposición estereofónica.

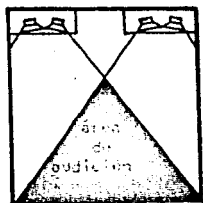


Fig. 22. Sistema multidireccional.

7. Requerimientos acústicos en el diseño de auditorios.

- A. Debe haber la sonoridad adecuada en todas las partes del auditorio, particularmente en los asientos remotos.

Las pérdidas de energía sonora pueden ser reducidas y una sonoridad adecuada puede ser provista de las siguientes maneras:

- a. El auditorio debe estar formado de tal forma que la audiencia esté lo más cerca posible a la fuente sonora, reduciendo la distancia que debe viajar el sonido.
- b. La fuente sonora debe estar levantada, tanto como sea posible, para asegurar un flujo libre de las ondas sonoras directas.
- c. El piso donde la audiencia está sentada debe estar propiamente erguido o inclinado, porque el sonido es absorbido más prontamente cuando viaja sobre la audiencia en incidencia raspante.
- d. La fuente sonora deberá estar rodeada cercamente y abundantemente con grandes superficies reflectoras del sonido para abastecer de energía sonora adicional a todas las porciones del área de audiencia.
- e. El área del piso y el volumen del auditorio debe mantenerse a un mínimo razonable, de tal modo, acortando la distancia que los sonidos directos y reflejados deben viajar. La tabla 2 es una lista de los valores recomendados de volumen por asiento para varios tipos de auditorios.

Tabla 2. Valores recomendados de volumen por asiento para varios tipos de auditorios.

Tipo de auditorio	Volumen por asiento M3.		
	Min.	Opt.	Máx.
Cuartos para discursos	2.3	3.1	4.3
Salas de concierto	6.2	7.8	10.8
Salas de ópera	4.5	5.7	7.4
Iglesias católicas romanas	5.7	8.5	12.0
Sinagogas e iglesias protestantes	5.1	7.2	9.1
Auditorios para multi-usos	5.1	7.1	8.5
Cinetecas	2.8	3.5	5.1

- f. Paralelismo entre superficies reflejantes del sonido opuestas, particularmente cerca de la fuente sonora, debe ser

evitado para eliminar reflexiones detrás de la fuente sonora.

- g. La audiencia deberá ocupar aquellas partes del área de asientos, la cual sea ventajosa para la audición y la visión.
- h. Si al lado de la fuente sonora primaria, la cual está normalmente localizada en la parte frontal del auditorio, existen fuentes sonoras adicionales y en otras partes del cuarto, entonces, estas fuentes sonoras deben estar también rodeados por superficies reflejantes del sonido. En todos los auditorios es esencial que la más grande cantidad posible de energía sonora sea emitida de todas las posiciones remitientes a todas las áreas receptoras.
- i. En adición a esas superficies reflejantes, las cuales sirven para reforzar el sonido directo hacia la audiencia, superficies reflejantes adicionales deben ser provistas para dirigir el sonido posterior a los ejecutantes.

B. La energía sonora deberá estar uniformemente distribuida (difundida) en el cuarto.

Dos puntos importantes deben ser considerados en el esfuerzo para proveer difusión en un cuarto: las superficies irregulares - elementos estructurales expuestos, decoraciones esculpidas en las superficies, ventanas con profundidad relevante, etc.) deben estar abundantemente aplicadas, y deben ser razonablemente grandes. Por razones de economía y estética, particularmente en cuartos pequeños, la aplicación de superficies irregulares es a menudo difícil. En tales casos, la distribución aleatoria de material absorbente o la aplicación alternada de tratamientos reflejantes del sonido y absorbentes del sonido son otros medios de fomentar la difusión.

El efecto benéfico de difusores acústicos en las condiciones acústicas de auditorios es completamente notable. Cuando un número considerable de superficies irregulares de tamaño apropiado ha sido instalado en cuartos con excesivo T_R las condiciones de audición son grandemente mejoradas.

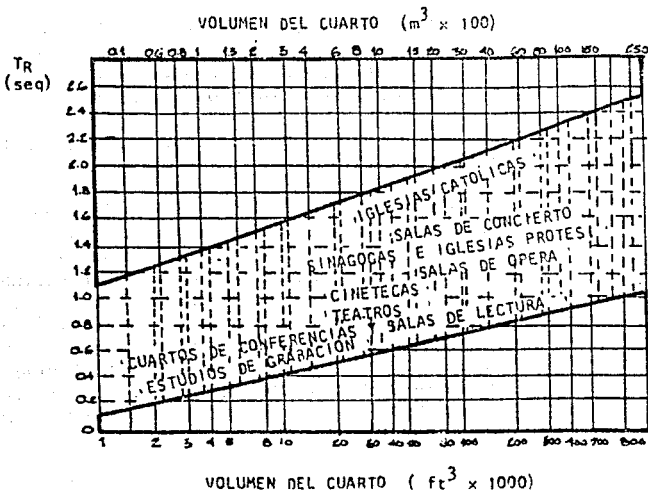
C. Óptimas características de reverberación deben ser provistas en el auditorio para permitir la más favorable recepción de los sonidos por la audiencia y la más eficiente presentación del programa por los ejecutantes.

Las características óptimas de reverberación de un cuarto, dependiendo de su volumen y de su función, implican: (1) caracterís

tica T_R vs. frecuencia (ver figura 22) ventajosa relación de sonido reflejado a sonido directo, (2) buena audición, y (3) óptimo crecimiento o decaimiento del sonido.

El control del T_R es un paso importante en el diseño acústico de auditorios, pero es secundario a un análisis cuidadoso de la forma del cuarto y la distribución propia de la energía sonora reflejada. El T_R óptimo de auditorios puede ser representado por una serie de curvas, especificando valores ideales relacionados al volumen y función del cuarto en cuestión. La figura 23 da un rango de T_R 's óptimos de auditorios graficados contra sus volúmenes, como son recomendados por varios autores, aplicados al rango de frecuencias medias de 500 a 1000 Hz. Estos valores sirven como una base digna de confianza para condiciones de buena audición en auditorios.

Fig. 23. Rango aproximado de T_R óptimos a media frecuencia (500 a 1000 Hz) para cuartos completamente ocupados de varios volúmenes y funciones.



En el diseño acústico de un auditorio, una vez que el T_R óptimo en el rango de frecuencias medias ha sido seleccionado y la relación T_R vs. frecuencia abajo de 500 Hz está determinada, el control de la reverberación consiste en establecer la cantidad total de absorción del cuarto que debe ser suministrada por los acabados acústicos, los contenidos del cuarto, etc. para producir el valor seleccionado del T_R . Para el cálculo simplificado del T_R la fórmula (19) puede ser usada. Esta fórmula muestra claramente que para el volumen más grande de un cuarto, habrá el más grande T_R , y que si la mayor absorción es introducida en un cuarto, habrá el T_R más corto. La fórmula también sugiere que el T_R puede ser cambiado dentro del mismo audito

rio incrementando o decrementando el volumen del cuarto (por ejemplo, bajando o subiendo un techo móvil) o usando absorbedores variables. En casi todos los auditorios, la audiencia tiene la mayor parte de la absorción, cerca de 0.45 M2. (5 ft2) - sabinas por persona. Cuando la asistencia fluctúa ampliamente, las condiciones de audición deberán también ser satisfactorias en la ausencia parcial o total de la audiencia. El camino más efectivo de lograr ésto, aunque ciertamente no el más barato, es reemplazar la posible pérdida de absorción de la audiencia por asientos tapizados, con el lado de abajo de los asientos - también absorbente. Como una regla general, los materiales absorbentes del sonido deben ser instalados a lo largo de aquellas superficies límites del auditorio las cuales están expuestas a producir tales defectos acústicos como ecos, reflexiones largamente retrasadas, y concentraciones del sonido.

- D. El cuarto deberá estar libre de tales defectos acústicos como - ecos, reflexiones largamente retrasadas, ecos agitados, concentraciones del sonido, distorsión, sombra del sonido, y resonancia del cuarto.
- a. Eco. Probablemente el más serio defecto acústico, el eco ocurre si un intervalo mínimo de $1/20$ seg transcurre entre la percepción de los sonidos directos y reflejados originados por la misma fuente. Una pared trasera reflejante del sonido, opuesta a la fuente sonora, es una superficie potencial productora de eco en un auditorio.
 - b. Reflexión largamente retrasada. La reflexión largamente retrasada es un defecto similar al eco, excepto que el tiempo de retraso entre la percepción de los sonidos directos y reflejados es un poco menor.
 - c. Eco agitado. Un eco agitado consiste de una sucesión rápida de pequeños ecos notables y es observado cuando un estallido corto de sonido, tal como un aplauso, es producido entre superficies paralelas reflejantes del sonido, aunque el otro par de paredes opuestas en el cuarto consista de superficies no paralelas, absorbentes, o difusoras. La eliminación de paralelismo entre superficies reflejantes opuestas es un camino para evitar los ecos agitados. El eco agitado también puede ocurrir entre superficies reflejantes del sonido no paralelas si la fuente sonora está localizada entre estas superficies.

Los ecos, las reflexiones largamente retrasadas, y los ecos agitados pueden ser prevenidos instalando materiales absorbentes del sonido a lo largo de las superficies.

reflejantes productoras de estos defectos. Si el uso de acabados acústicos a lo largo de estas áreas críticas no es factible, deberán suministrarse difusores o inclinaciones, para producir reflexiones cortamente retrasadas beneficiosas.

d. Concentración del sonido. Las concentraciones del sonido, algunas veces referidas como "puntos calientes" son causadas por reflexiones del sonido de superficies cóncavas. La intensidad del sonido en puntos calientes es anormalmente alta y siempre ocurre a expensas de otras áreas de audición, o "puntos muertos" donde las condiciones de audición son pobres. La presencia de puntos calientes y muertos crea una distribución dispareja de energía sonora en el cuarto. Recintos grandes, cóncavos intactos, particularmente aquellos que tienen grandes radios de curvatura, deben ser eliminados o tratados eficientemente con materiales absorbentes.

Un sistema de amplificación del sonido adecuadamente seleccionado y apropiadamente instalado puede reducir los efectos acústicos perjudiciales de los ecos, las reflexiones largamente retrasadas, los ecos agitados, y de las concentraciones del sonido, pero no puede eliminarlos completamente.

e. Distorsión. La distorsión es un cambio indeseable en la calidad del sonido musical debida a la desigual o excesiva absorción del sonido de las superficies a diferentes frecuencias. Puede ser evitada si los acabados acústicos aplicados tienen características de absorción balanceadas sobre todo el rango de audio-frecuencias.

f. Resonancia del cuarto. La resonancia del cuarto, algunas veces llamada coloración, ocurre cuando ciertos sonidos dentro de una banda angosta de frecuencia tienden a sonar más fuerte que otras frecuencias. Este defecto acústico es más serio en cuartos pequeños. Su eliminación es de particular importancia en el diseño de estudios de radio y grabación, donde el sonido es atrapado por los micrófonos.

g. Sombra del sonido. El fenómeno de sombra del sonido es notable bajo un balcón, el cual sobresale demasiado en el espacio de un auditorio. Tales espacios bajo el balcón, con una profundidad excediendo dos veces la altura, deberán ser evitados, puesto que privarán a los asientos remotos debajo del balcón de recibir una cantidad adecuada de sonidos directos y reflejados, creando así una pobre audibilidad en esta porción del área de audición.

E. Los ruidos y las vibraciones, los cuales interferirán con la audición o con la ejecución, deberán ser excluidos o reducidos razonablemente en todas las partes del cuarto.

LISTA DE PELICULAS RECOMENDADAS PARA LA ENSEÑANZA
DE LA ACUSTICA.

EMBAJA DE ITALIA.

Referencia

- | | | |
|-----|-------------------------|-----------------------|
| 253 | El mundo de los Sonidos | (español, 11 minutos) |
| 65 | Do Re Mi Fa Sol | (español, 20') |
| 247 | Concierto Made In Italy | (español, color, 11') |

Un documental que se vale de un concierto de antiguos instrumentos para dar a conocer el arte italiano de la fabricación de violines, acordes, trompetas, etc.

EMBAJADA R. F. DE ALEMANIA

Referencia.

- | | | |
|---------|--|----------------|
| P-345-B | Procedimientos Electrónicos para la formación de sonidos | (español, 15') |
|---------|--|----------------|

Se ven: osciladores electrónicos, descomposición de los sonidos y de la voz por medio de filtros, ejecución de instrumentos musicales por medio de programación automática.

SERVICIO NACIONAL ARMO

Referencia

- | | | |
|-------------|--------------------------------------|------------------------|
| CH 7887 C.1 | El oído | (español, 12.5') color |
| 67582 | Que bien suena | (español, 27') |
| M 75 167 | Proteja sus oídos | (español) |
| CH 75126 | Escuchando lo que se quiere escuchar | (español) |

LISTA DE LIBROS RELACIONADOS CON LA ACUSTICA, DISPONIBLES
EN LA BIBLIOTECA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
LA FACULTAD DE INGENIERIA.

LIBRO	COLOCACION
1. Wave propagation and group velocity. Brillouin, Leon New York, Academic Press. 1960	534.2 B
2. Congres International D'Acoustique Belgique, Université de Liège. 1965	534 C
3. Fundamentals of Sonar Horton, J. Warren Annapolis, United States Naval Inst.	534 H
4. Sonics, techniques for the use of sound and ultrasound in engineering and science. New York, J. Wiley. 1955	534.H
5. Physical acoustics and the properties of solids. Mason, Warren P. Princeton N.J. Van Nostrand. 1958	534 M
6. Thechnical aspects of sound. Richardson, E.G. Amsterdam, Elsevier Publishing Company.	534 R 1953
7. The Theory of Sound Strutt, John William. New York, Dover Publications. 1945	534 S
8. Isolamento Sonoro de paredes e pavimentos. Cavaleiro e Silva, A. Ministerio das Obras Publicas Lisboa. 1972	F-LNEC 406
9. Sound-insulation rating and the new ASTM sound-transmission class. National Research Council of Canada Ottawa. 1962	F-NRCC TP-160
10. Schaum's outline of theory and problems of acoustics.	AC5 S2 S

LIBRO

COLOCACIONES

- | | | |
|-----|--|----------------------|
| 11. | La Ingeniería acústica y el bienestar social.
Ponencia que presenta al VII. congreso de
Ingeniería Civil, Groenewold, A. | C-1931
G 58 A 113 |
| 12. | Measurement the efficiency of damping materials.
Behar, A.
Acústica, vol 30. 1974. | C1949
B 1413 |
| 13. | Acoustics in architectural design
Doelle, Leslie
National research council of Canada. Ottawa. 1965 | 729.29
D |
| 14. | Physical and applied acoustics
Meyer Erwin
New York. Academic. 1972 | QC 243
M48 |
| 15. | Sound waves and light waves
Kock Winston
New York. Anchor Books Doubleday. 1965 | 534
K |
| 16. | Piezoelectric crystals and their application
to ultrasonics.
Mason, Warren Perry
New York, Van Nostrand. 1950 | QC 585
M4 |
| 17. | Sound transmission through a double-leaf wall.
Donato, R.
Ottawa. 1972 | F-NR CC
TP 506 |
| 18. | Psychophysics of Music
Roederer, Juan G.
London, English University. 1973 | ML 3805
R63 |
| 19. | Science and Music
Jeans, James Sir
New York, Dover. 1968 | ML 3805
J 43 S3 |
| 20. | Statistical sampli in community noise measurement.
Fisk, D.
Garston. 1974 | FBRE
7417 |
| 21. | Acoustics
Leo Beranek
New York, McGraw-Hill. 1954 | TK 5101
B4 |

22. **Modern Sound Reproduction** TK 7881.4
Olson Harry Ferdinand 057
New York, Van Nostrand. 1972
23. **Electroacustics** TK 5981
Gayton, M. G 38
London, Newnes-Butterworth. 1970
24. **Electroacústica.** TK 5981
Barquero, Joaquín Gómez B37
Madrid, Paraninfo. 1969
25. **Audio Cyclopedia** TK 5981
Tremaine, Howard M. 1969 T 74
26. **Transistor audio amplifiers** TK 7871
Tharma, P. 2T5
London, Iliffe. 1971

LISTA DE LIBROS RELACIONADOS CON LA ACUSTICA, DISPONIBLES
EN LA BIBLIOTECA DEL EDIFICIO PRINCIPAL DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA.

TITULO	COLOCACION
1. El mundo del sonido. Efron México, CRAT. 1969	QC 225 E 35
2. Física del sonido musical Josephs, Jess.	ML 3807 J 675
3. Técnica de la Acústica Klinger Hans Herbert Barcelona, Marcombo. 1969	TH 365 K 54
4. Acústica de los edificios Meisser Mathias Barcelona, Técnicos Asociados. 1973	TA 365 M 43
5. Compendio Práctico de Acústica Pérez Miñana José. México, Labor. 1969	QC 225 P 46
6. Mechanics, molecular Physics, heat and Sound. Millikan Robert, A. Boston, Ginn. 1973	QC 21 M 53
7. Vibration and Sound. Morse, Phillip McCord. New York, Mc Graw-Hill. 1936	QC 231 M 83
8. Mechanics, Heat and Sound Sears, Francis Weaston Addison Wesley, Mass. 1958	QC 23 S 36

LISTA DE LIBROS DISPONIBLES EN LA BIBLIOTECA CENTRAL DE LA
U.N.A.M. (EN C.U.), RELACIONADOS CON LA ACÚSTICA.

LIBRO

COLOCACION

- | | | |
|-----|--|------------------------|
| 1. | La física del sonido musical
Josephs, Jess | ML 3807
J 676 |
| 2. | El mundo del Sonido
Efrón Alexander
México, CRAT. 1969 | QC 225
E 35 |
| 3. | Acústica de los Edificios
Meisser M.
Barcelona, Editores Técnicos Asociados. | TA 365
M 43 |
| 4. | Compendio práctico de Acústica.
Pérez Mifiana, José.
México, Labor. 1969 | QC 225
P 46 |
| 5. | Acústica.
Beranek, Leo. | TK 5101
B 42 |
| 6. | Physiological Acoustics.
Wever, E.G. | QP 461
W 46 |
| 7. | Todo el magnetófono en un solo libro.
Purves, F. | TS 2301
56 P 87 |
| 8. | Reproduccion del Sonido y de la Imagen.
Didier, A. | TK 7881
4 D 52 |
| 9. | Acústica Musical
Francisco Salgado A.
Ed. Universitaria, Quito, Ecuador | ML 3805
S3 |
| 10. | Teoría y problemas de Acústica
Seto, William W.
McGraw-Hill, México. 1973 | NA 2800
S 427 |
| 11. | Acústica de los Locales.
Weisse Karlhans
G. GILI Barcelona. 1956 | NA 2800
W 45 |
| 12. | Conference on the neural mechanisms of the
auditory and vestibular systems.
Betsesda, MD. 1959 | QP 461
C 67
1959 |

13. **Manual de Audiometría práctica.** RF 123
 Langenbeck Bernhard L 37
 Buenos Aires, Ateneo. 1966
14. **Musical Engineering** ML 3807
 Olson H. F. O 4
 Mc Graw-Hill, New York. 1952
15. **Manual de medidas acústicas para el control** TA 365
 del ruido. B 86
 Burk Werner
 Ed. Blume, Barcelona. 1969
16. **Física y técnica de la lucha contra el ruido.** TD 892
 Kurtze Gunter. K 85
 Bilbao. 1969
17. **Mechanics, Heat and Sound** QC 23
 Sears, Francis W. S 36
 Addison-Wesley . 1958

BIBLIOGRAFIA

Educación, Ayudas Audiovisuales y Técnicas de Investigación.

- M. L. Bigge y M. P. Hunt
Bases psicológicas de la educación
Ed. Trillas. México 1977
- Mckown, Roberts
Educación Audiovisual
UTEHA, México 1973
- Werner Correl
El Aprender
Barcelona. Ed. Herder
- El Colegio de México
Manual de Técnicas de Investigación
México, 1974
- Zubizarreta G. Armando
La Aventura del Trabajo Intelectual
Fondo Educativo Interamericano. Lima 1969

Capítulo I.

- Lindsay, Robert Bruce
Acoustics: Historical and philosophical development
Dowden, Hutchinson and Ross Inc. Pennsylvania (USA)

Capítulo II.

- Sero, William W.
Acústica
McGraw-Hill. Colombia 1973
- Beranek, Leo L.
Acoustics
McGraw-Hill. U.S.A. 1954

Capítulo III.

- White H. E.
Física Moderna
Montanery Simon, S. A. España 1965

- Efron Alexander ALFONSO
El Mundo del Sonido
Bell, S. A. Buenos Aires 1971
- López García, Victoriano
Acústica
Index. Barcelona 1970
- Seto, William W.
Acústica
McGraw-Hill. Colombia 1973
- Didier, Andre
Reproducción del Sonido y de la Imagen
Editores Técnicos Asociados. Barcelona, 1966
Vol. I

Capítulo IV.

- Burk, Werner
Manual de medidas acústicas para el control del ruido
Edit. Blume. Barcelona 1969
- Burns, William
Noise and Man
Edit. Murray. London 1973
- Beranek, Leo Leroy
Acústica. (Versión por Adolfo di Marco)
Edit. Hispano Americana. Buenos Aires 1961
- Harris, Cyril M.
Handbook of noise control
McGraw-Hill. New York 1957
- Lipscomb, David M.
Noise: the unwanted sound
Nelson-Hall. Chicago 1974

Capítulo V.

- Efron Alexander
El Mundo del Sonido
Bell, S. A. Buenos Aires 1971

- **Jeans, James Sir**
Ciencia y Música
Edit. Dover. New York 1968
- **Jess J., Josephs**
La Física del Sonido Musical
Edit. Reverte. México 1969
- **Olson Harry, F.**
Elements of acoustical engineering
Van Nostrand. Princeton 1960

Capítulo VI.

- **Beranek, Leo L.**
Acoustics
McGraw-Hill. U.S.A. 1954
- **Efron Alexander**
El Mundo del Sonido
Bell, S. A. Buenos Aires 1971
- **Jess J., Josephs**
La Física del Sonido Musical
Edit. Reverte. México 1969
- **Langenbeck Bernhard**
Manual de Audiometría Práctica
Buenos Aires. Ateneo 1966
- **Tremaine, Howard M.**
Audio Cyclopedia
- **Conference on the Neural Mechanisms
of the auditory and vestibular systems**
Betsesda, MD. 1959

Capítulo VII.

- **Didier, Andre**
Reproducción del Sonido y de la Imagen
Editores Técnicos Asociados. Barcelona 1966
- **Olson Harry, F.**
Modern sound reproduction
Van Nostrand. New York 1972
- **Fritz Kuhne**
Microfonos monofónicos, estereofónicos y transistores
Ed. Marcombo. Barcelona 1968

Capítulo VIII.

- **Hewlett Packard**
Acoustics Handbook
W. Germany 1968
- **Klinger, H. H.**
Técnica de la Acústica
Marcombo, S. A. Barcelona 1969
- **Klinger, H. H.**
Altavoces y Cajas de Resonancia para Hi-Fi
Marcombo, S. A. Barcelona 1976
- **Rúiz Vassallo, Francisco**
Manual de Baffles y Altavoces
CEAC. Barcelona 1977
- **Seto, William W.**
Acústica
McGraw-Hill. Colombia 1973

Capítulo IX.

- **Klinger, H. H.**
Técnica de la Acústica
Marcombo, S. A. Barcelona 1969
- **Klinger, H. H.**
Altavoces y Cajas de Resonancia para Hi-Fi
Marcombo, S. A. Barcelona 1976

- Ruiz Vassallo, Francisco
Manual de Baffles, y Altavoces
CEAC. Barcelona 1977

- Cohen, A. B.
Loudspeakers and Hi-Fi Enclosures
Edit: J. Rider Book.

Capítulo X.

- Didier, Andre
Reproducción del Sonido y de la Imagen
Editores Técnicos Asociados. Barcelona 1966

- Olson Harry, F.
Modern sound Reproduction
Van Nostrand. New York 1972

Capítulo XI.

- Díaz Hernández, Mario
Diseño de un amplificador de audio transistorizado de mediana potencia y bajo costo
Facultad de Ingeniería. Tesis 29-76-047-2

- Didier, Andre
Reproducción del Sonido y de la Imagen
Editores Técnicos Asociados. Barcelona 1966

- Olson Harry, F.
Modern sound Reproduction
Van Nostrand. New York 1972

Capítulo XII.

- Beranek, Leo Leroy
Music, acoustics & architecture.
Edit. Wiley. New York 1962

- Doelle, Leslie L.
Environmental acoustics
McGraw-Hill. New York 1972

- Egan, M. David
 Concepts in architectural acoustics
 McGraw-Hill. New York 1972
- Harris, Cyril M.
 Handbook of noise control
 McGraw-Hill. New York 1957
- Klinger, H. H.
 Altavoces y Cajas de Resonancia para Hi-Fi
 Marcombo, S. A. Barcelona 1976
- Northwood, Thomas D.
 Architectural Acoustics
 Dowden, Hutchinsons & Ross Inc. Pennsylvania 1977
- Ruiz Vassallo, Francisco
 Manual de Baffles y Altavoces
 CEAC. Barcelona 1977
- Seto, William W.
 Acústica
 McGraw-Hill. Colombia 1973