

UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA DEL ESTADO DE PUEBLA

FACULTAD DE ARQUITECTURA



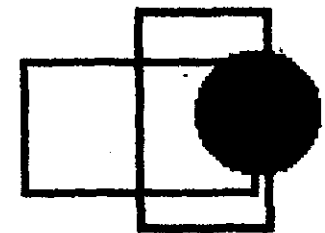
BIBLIOTECA CENTRAL
USO UNICAMENTE EN SALA

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
ARQUITECTO

PRESENTA

RICARDO ELVIRA RAYON

PUEBLA, PUE. JULIO 1998



ACUSTICA: UNA CIENCIA EN LA ARQUITECTURA.





UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

El uso de textos, imágenes, gráficas, 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 de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

- A DIOS :** Gracias por brindarme la oportunidad de concluir una meta mas en mi vida.
- A MIS PADRES:** Porque gracias a su apoyo incondicional y comprensión he dado fin a una etapa mas en mi vida.
- A MIS AMIGOS :** Alberto, Roberto, el Dr. Jorge Espinosa Avila, Porfirio, Francisco, Miguel Angel, Alejandro, Justino, Gerardo, Germán, y a todos mis demás amigos porque supieron alentarme en los momentos más difíciles.
- A MIS HERMANOS:** María Trinidad, Germán, Agustín, porque han tenido la paciencia y los consejos suficientes para que yo siga luchando.
- A MIS ASESORES:** Arq. Fernando Rodríguez Concha, Ing. Arturo Prieto Fuenlabrada, porque con sus sabias palabras y consejos contribuyeron a mi formación y a la conclusión de este trabajo.



A LOS LECTORES:

Al recorrer diversos caminos de la vida me doy cuenta que los obstáculos nos permiten crecer en lo mas profundo de nuestro ser, y que al luchar por vencerlos mas nos aferramos por alcanzar una meta trazada. Sin embargo, aun con el espíritu en alto, llegamos a caer en nuestra caminata; estas caídas en ocasiones nos dejan un amargo sabor a boca, o para mal, una herida en lo mas profundo de nuestra alma. Pero en los momentos más difíciles, la vida continua y nuestra mirada a de seguir hacia delante para continuar volando en pro de nuestro objetivo.

Al ver hacia atrás, logro observar que una carrera profesional ha sido únicamente una etapa en mi vida y que lo obtenido fue gracias a lucha en equipo. Si, en equipo ya que gracias a la comprensión y al apoyo constante de mis maestros, amigos y familiares fue como pude salir adelante y estar en estos momentos predicando estas líneas a quienes vienen detrás de mí, derribando muros para llegar algún día al lugar en que me encuentro en estos momentos: En la recta final.

Creo yo que el decir gracias a las manos amigas que se extendieron a mí alrededor seria muy poco en comparación de lo que recibí de ellas en aquel lapso de mi vida, con su paciencia, sus consejos y la enorme enseñanza de conocimientos que obtuve para hacer frente a la vida.

Seria extenso citar a las personas que dejaron huella en mi vida y en mi mente, pues en momentos de error supieron abrirme los ojos, en instantes de sordera me ayudaron a escuchar, y en tiempo de acierto supieron impulsarme para seguir luchando.

Es un tanto difícil expresar lo que en mi tiempo viví durante mi carrera profesional, con éxitos y fracasos, además de altibajos de estado de animo, pero aun contra esto tuve que luchar y seguir adelante.

Por ahora, espero que estas palabras sean de significado para los jóvenes arquitectos que siguen en pie de batalla para alcanzar lo que más desean en la vida, que luchen por hacer realidad sus sueños, que no se desanimen, pues en ocasiones quisiéramos que todo el mundo nos comprendiera y, si no es así, confíen en ustedes mismos y sigan de frente, pues para alcanzar la cima se requiere volar, astucia y fortaleza para no desfallecer y, si en algún momento caen tengan la seguridad de que muy en el fondo de su alma encontrarán las fuerzas necesarias para seguir ascendiendo; el águila escoge las mayores alturas para construir su nido, así mismo experimenten las alturas de la libertad con los mayores triunfos y compartir con el mundo una parte de su ser y de su talento para poder engrandecer a la humanidad actual.

GRACIAS.

RICARDO ELVIRA RAYON

JULIO DE 1998

I N D I C E

INTRODUCCION

CAPITULO 1

DESARROLLO SOCIO-CULTURAL DEL HOMBRE DENTRO DE LA COMUNIDAD CONTEMPORANEA

- 1 Desarrollo del individuo dentro de una comunidad
 - 1.1 La sociedad como unión de individuos
 - 1.2 La cultura como producto del fenómeno social
 - 1.3 Expresión cultural
 - A. La traza urbana de la ciudad de Puebla en el siglo XVI
- 2 Una ciudad y su entorno
- 3 Productos del fenómeno social en la ciudad de Puebla
- 4 El legado cultural poblano
 - A. El lenguaje
 - B. La Religión
 - C. Importancia de la arquitectura
- 5 La civilización
 - A. Ciencia y tecnología
 - B. El arte

CAPITULO 2

EL GRAN PRODUCTOR DE MULTIPLES SENSACIONES: EL SONIDO

1 ¿QUE ES EL SONIDO?

2 ¿QUE ES LA ACUSTICA?

2.1 El campo de la acústica desde el punto de vista de la física

- A. Movimiento ondulatorio
- B. Movimiento armónico simple
- C. Vibraciones
- D. Amplitud, frecuencia y período
- E. Amplitud (A) del movimiento
- F. Movimiento amortiguado
- G. Vibración completa
- H. Vibración libre o transitoria
- Y. El péndulo simple
- J. Ondas
- K. Experimentos de medida de las ondas sonoras
- L. Tipos de ondas
- M. Velocidad de propagación de una onda
- N. La velocidad de onda
- Ñ. Longitud de onda
- O. Paso de una onda de un medio a otro.
- P. ondas en la superficie de un líquido.

- 2.2 Presión del sonido
 - A. Infrasonido y ultrasonido
 - B. Velocidad del sonido

- 2.3 Propiedades del sonido
 - A. Intensidad del sonido
 - B. Altura del sonido
 - C. Timbre

3 EL HOMBRE Y EL SONIDO

- 3.1 El hombre y su producción sonora
- 3.2 Anatomía del sistema respiratorio como elemento productor del sonido en el ser humano
 - A. Consideraciones generales
 - B. Anatomía del aparato respiratorio
 - C. Vías de conducción
- 3.3 Anatomía del oído como elemento receptor del sonido en el ser humano
 - A. Meato acústico externo
 - B. Oído medio
 - C. Oído interno
 - D. Fisiología de la audición
 - E. El sonido y el cerebro

CAPITULO 3

LA ACUSTICA EN LA ARQUITECTURA

- 1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ACÚSTICA Y SU APLICACIÓN EN LA ARQUITECTURA**
- 2 ACUSTICA DE RECINTOS CERRADOS**
 - 2.1 Aumento de la intensidad sonora en un cuarto vivo.**
 - 2.2 Tiempos ideales de reverberación en recintos cerrados**
 - 2.3 Ondas estacionarias en cuartos**
 - A. Modos axiales**
 - B. Modos tangenciales**
 - C. Modos oblicuos**
 - 2.4 Materiales acústicos y su influencia en el tiempo de reverberación**
 - 2.5 Aislamiento del sonido**
 - A Reducción del ruido transmitido por aire**
 - 1 Paredes**
 - 2 Ventanas**
 - 3 Puertas**
 - B. Reducción del sonido por impacto**
 - 1 Pisos**
 - 2 Techos**
 - C Sistemas de ventilación**
 - 2.6 Factores acústicos en el diseño arquitectónico**
 - A. Arribos directos**
 - B. Reberveración a 500 Hz**
 - C. Calidez**
 - D. Intimidad**
 - E. Difusión, mezcla y unidad de conjunto.**

CONCLUSIONES

PROLOGO

La arquitectura, como testigo fiel de los momentos históricos de la humanidad, ha experimentado diversos cambios que de una u otra forma influyen en la vida de los pueblos, legando a las siguientes generaciones elementos que se integran a la cultura universal.

En el ámbito de la arquitectura han de considerarse diversos aspectos cuya intensión sea la de satisfacer las necesidades propias del hombre tales como los espacios adecuados, la iluminación correcta, la ventilación, una buena vestibulación. Entre estas necesidades no podemos hacer a un lado las características estéticas que corresponden a cada espacio humano, pues estas son capaces de contribuir al comportamiento psicológico del hombre y de cubrir expectativas espirituales del mismo, llevándolo a un mejor desarrollo y perfeccionamiento de su vida diaria.

Sin embargo, estas son solamente algunas de las características que se han de cubrir dentro del diseño de proyectos arquitectónicos, pues ahora nos corresponde enforarnos a un punto sumamente importante: el sonido.

El sonido, como resultado de la vibración de diversos cuerpos sonoros que nos rodean en la naturaleza, ya era contemplado por los griegos en sus construcciones, pues ya contaban con una visión amplia de la integración del arte con la funcionalidad de los espacios. Aunado a esto, el sonido no podía ser apartado de sus estudios, que eran transmitidos entre unas cuantas personas, dejando excelentes muestras en sus teatros.

La acústica, ciencia de los sonidos, fue retomada muchos años después por Sabine al realizar un estudio para mejorar el ambiente sonoro del salón del museo Fogg de Harvard, llevando a cabo diferentes experimentos que lo condujeron a interesantes descubrimientos, heredando de esta forma nuevos conocimientos a la ciencia moderna.

Desde luego, la arquitectura no pudo ser apartada de estos estudios, pues el sonido lo estudia el hombre, y es él quien ha de convivir con la acústica día a día, conduciéndolo a comportamientos y actitudes determinadas por las diversas frecuencias e intensidades de sonidos percibidos por el oído humano.

Al integrar el estudio del sonido a la arquitectura, no podemos apartarnos de tomar en consideración a la música, la cual requiere de espacios adecuados para ser escuchada e interpretada de la forma más perfecta posible y, de esta manera estaremos buscando una integración más completa de los elementos artísticos a la funcionalidad y estética de la arquitectura.

Por otra parte, en lo que se refiere al lenguaje oral, este ha pasado a ser de gran importancia en la búsqueda de una inteligibilidad propicia en las salas de conferencias y auditorios, logrando establecer parámetros que nos permitan las condiciones para percibir con gran claridad cada palabra emitida por el orador, alcanzando una comunicación más precisa y mensajes que transmitan la intención de expresión del ser humano.

Aún queda un largo camino por recorrer en el extenso campo de la acústica, que ahora es estudiado por científicos especialistas, pero también queda una intensa labor para los arquitectos, ;ya que cada espacio diseñado debe de ser pensado para el ser humano, quien tiene diversas actividades y necesidades y, estas no son unicamente materiales o económicas, sino también psicológicas, culturales, artísticas, sociales y religiosas y por tales motivos la arquitectura es una fusión de elementos que conducen al hombre a continuar con su progreso.

Este es unicamente el principio de futuros estudios y aun mas profundos, pero que podrá brindar al lector las bases para poder iniciarse en este bello campo de la ciencia del sonido, la acústica.

INTRODUCCION

La Acústica es la física del sonido. Aunque la teoría fundamental de la acústica trata de la propagación de vibraciones y ondas, podemos considerar este objeto como una ciencia multidisciplinaria ¹

La consideración de la acústica dentro de la arquitectura es una disciplina que ha sido estudiada y aplicada durante cientos de años, siendo a su vez una parte de la educación integral del arquitecto, persona que analiza, es testigo y protagonista de los fenómenos que afectan a la sociedad en la cual se desenvuelve. Más para poder enfrentar una gama de problemáticas es necesario la cultura y el conocimiento de más cosas día a día, aunque no debe quedar restringido al arquitecto el contener una cultura general, sino a todo individuo.

Dentro de esta problemática que enfrenta el arquitecto existen necesidades que a simple vista no logramos apreciar, como las psicológicas, las espirituales y las intelectuales, las cuales dejan sentir su efecto en el organismo cuando no son satisfechas, y tal es el caso de no poder enfrentar adecuadamente los problemas acústicos dentro de los recintos cerrados.

La acústica -como ciencia que estudia el comportamiento del sonido-, tiene horizontes muy amplios para aplicarse tanto al diseño arquitectónico como en la música, en el comportamiento humano como en la tecnología y la electrónica. Sin embargo, el considerar la acústica dentro de la arquitectura no es el simple hecho de medir un tiempo de reverberación y proponer algún material que acabe con todos los problemas de reflexiones múltiples o enmascaramientos, o aún más, el poner pantallas acústicas en determinadas zonas urbanas o espacios para lograr un aislamiento del ruido urbano, que tanto dolor de cabeza a dado a los científicos en la actualidad. No basta este conocimiento científico en la arquitectura cuando se tiene presente una teoría que rige nuestros principios y nuestras inclinaciones funcionales, estéticas, decorativas, etc. pues en el caso del estudio que a continuación realizaremos, observaremos la gran importancia que implica el punto de vista conceptual del sonido, a tal grado de que San Agustín opinara acerca del tiempo y del sonido.

¹"Teoría y problemas de acústica". William W. Seto/Serie Schaum. Mc. Graw Hill, Book Company

Pero no haremos a un lado las características mecánicas y físicas del sonido, su forma de distribución y la influencia de las formas en el incremento o decremento de su intensidad, así como la cantidad necesaria de sonido para cada tipo de espacio y dependiendo del uso de este, como las cabinas de radio o las salas de estudio, salones de clase o grandes auditorios.

Para el ritmo con el que vive el mundo actual no podemos ignorar el sonido, quien en muchos casos ha sido el culpable de neurosis, stress, y hasta la violencia en varias ocasiones. El abuso del instinto del hombre para reaccionar, ha sido sobreutilizado. Tal reacción ha sido determinada por una gráfica, que muestra el punto donde las frecuencias entre los 3 000 y 10 000 Hz. provocan una reacción acelerada, como los cláxones de los automóviles, que al encontrarse precisamente en este rango, ocasionan alteraciones nerviosas, segregación de adrenalina, así como la aceleración de las funciones digestivas, que desembocan en muchos casos en la violencia.

Por otro lado, el ruido de las ciudades que momento a momento crecen más, impiden el buen desarrollo humano y del hogar.

La música es un elemento que irá de la mano con este tema, dando oportunidad a conocer diversas dificultades precisamente problemas comunes, y otros no tan comunes. En el auditorio, y más aún cuando se trata de actividades mixtas (conferencias y conciertos) intervienen en el diseño de plafones, pisos, butacas, recubrimientos necesarios, así como la cantidad de sonido y de música que han de absorben en base a un determinado uso. También se verá que la acústica no es igual para todos los tipos de espacios, ya que el desenvolvimiento de la gente en ese recinto es totalmente distinto.

El sonido es fiel acompañante del hombre, y como ser sensible, son sentido del gusto, también necesita de la música, la cual le proporciona relajamiento, alegría, actividad, concentración, así como inspiración hacia la creatividad.

Cuando escuchamos un Adagio del periodo barroco, en particular, el movimiento es muy semejante a los latidos de nuestro corazón, y de esta manera nuestro cuerpo también escucha y siente lo que tiene a su alrededor. La musicoterapia ha sido creado para conducir al hombre por un mejor estado de vida, y si hacemos un acercamiento a la música y la arquitectura, llegaríamos a concluir que no pueden estar separadas, especialmente en los tipos de música que escuchamos en las salas de concierto, pues esto determinará su reverberación, dimensiones de la sala, y enlazando todos estos elementos nos llevarán a mantener la estabilidad emocional del individuo.

CAPITULO 1

DESARROLLO SOCIO CULTURAL DEL HOMBRE DENTRO DE LA COMUNIDAD CONTEMPORANEA

1. DESARROLLO DEL INDIVIDUO DENTRO DE UNA COMUNIDAD

El hombre como ser individual tiende a buscar la perfección en todos sus actos, sin embargo también necesita de sus semejantes para poder desenvolver todas sus potencias y de esta manera compartir su desarrollo.

El ser humano forma una comunidad -común unidad- en el momento en que toma conciencia de que forma parte de un grupo de otros seres humanos semejantes a él en el que han de trabajar por intereses comunes y bienes que trascenderán al tiempo y a la historia tales como la cultura, el idioma, la religión, el arte, la arquitectura, entre otros.

En una comunidad resulta interesante observar el desarrollo de cada individuo, ya que al desenvolverse éste aporta una parte importante a la sociedad en la cual se desenvuelve, integrándose a una coparticipación que persigue el bien común de todos y cada uno de los individuos.

La aportación de cada hombre a su comunidad conlleva a la futura aportación de su comunidad a las demás comunidades, distinguiéndose unas de otras por diversas características tales como sus costumbres, religión, forma de gobierno, economía, etc.

Esto demuestra que el hombre por medio del uso de su razón ha logrado alcanzar nuevos horizontes a través del tiempo, marcando de esta manera la historia de su comunidad; así mismo, la comunidad con su razón proporciona nuevos cambios y estructuras para el bien de cada uno de sus integrantes.

1.1 La sociedad como unión de individuos

El ser humano se reconoce como distinto de los seres infrahumanos y no humanos por su capacidad de pensar en términos abstractos, de elegir y tomar decisiones. Puede evocar el pasado, y reflexionar sobre sus propias acciones y reacciones. Partiendo de esto podemos concluir que:

“ El hombre es una criatura, síntesis única de materia y espíritu que dotado de inteligencia y voluntad no es un objeto más de la naturaleza, sino una persona, un sujeto libre y responsable con una vocación única e intransferible que trasciende al tiempo y a la historia.”

“Por ser portador de una dignidad sagrada, es superior a todos los demás seres materiales. Como persona, todo hombre, es sujeto de deberes y derechos anteriores a toda sociedad; los cuales deben ser reconocidos y protegidos por ella. “

“Social por naturaleza, capaz de transformar el mundo en su provecho, de progresar, de construir su sociedad y vivir conforme a su propia dignidad, el hombre está abierto a valores trascendentes como la verdad, el bien, la justicia..., a los que naturalmente aspira y a los que tiene derecho porque de ellos depende su auténtica felicidad y realización. ¹

Es claro que se muestra aquí al hombre como un ser superior y capaz de trascender por su espiritualidad y capacidad pensante superando a cualquier otro ser vivo existente en esta tierra.

Todos los seres humanos en cuanto se distinguen de los animales son personas. Los términos “racional” y “social” no son sinónimos, pero una de estas no existe sin la otra; el hecho de que una persona, es un individuo racional, implica que es una persona social. Estas son características exclusivas de las personas.

“La sociedad es natural y necesaria al hombre. En ella nace, en ella se educa y le proporciona los bienes indispensables para su pleno desarrollo. A ella debe servir contribuyendo a la realización del Bien Común, del que han de participar todos los miembros de la sociedad.”²

¹ Naturaleza y destino de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, p. 4

²ibidem. p. 4

El término "social" deriva del latín Socius, que significa compañero o asociado. La potencialidad para ser una Socius es innata en el hombre y se la llama a veces "sociabilidad". El hombre es social por naturaleza y la unión de varios ha pasado a formar la sociedad, por tanto, sin hombre no hay sociedad

Es importante detenernos en este punto, pues al establecer una relación entre razón y sociedad, es claro que el hombre no se desarrolla más si no es en sociedad. En sociedad el hombre busca solución a diversos problemas existentes, se desenvuelve de mejor manera, se obtiene la cultura, el arte, la ciencia, así como diversos elementos que sólo son posibles por la unión entre hombres.

"En la sociedad cada hombre tiene su propio lugar; y como persona responsable y libre, consciente de sus deberes y derechos, aporta su esfuerzo al servicio de sus semejantes y a la construcción de una sociedad ordenada y justa. Hombre y sociedad se implican e integran mutuamente. Uno sin otra son mutilaciones deformantes."³

Solo en sociedad y para la sociedad, el hombre podrá dar una mejor solución a los problemas sonoros actuales dentro del arte y de la arquitectura.

La socialización es un proceso mutuo entre una persona y sus semejantes, que resulta de aceptar pautas de comportamiento y adaptarse a ellas. No implica que la persona debe de ser un individuo. El ser humano es una persona social desde que comienza a existir, pero a lo largo de su vida está sujeto a continuos cambios y adaptaciones.

"La vida íntegra y sana de la sociedad depende de la plenitud de los hombres que la forman y de la madurez y el vigor de los grupos intermedios que la integran. Ellos son necesarios para garantizar la libertad de las personas y el cumplimiento del fin de la sociedad. La familia, la empresa, las asociaciones profesionales, los sindicatos, las instituciones educativas, etc. constituyen el cuerpo de la sociedad, y el cauce por el que cada persona contribuye al progreso de la misma; sin ellas el pueblo se convierte en masa."⁴

³ibidem p. 5

⁴ibidem p. 5

1.2 La cultura como producto del fenómeno social

El patrimonio cultural tiene su importancia social, ya que los bienes existen del pasado para tener su efecto en el presente, por otra parte, los bienes culturales son también creados en el presente para que estos repercutan en el futuro. Por su parte, el patrimonio cultural guarda una importancia en suma de ser conservado, el cual es muestra de la propia cultura y la identidad. De esta manera, la sociedad tiene el derecho de conocer de dónde viene para saber a dónde va y asegurar un patrimonio a las demás generaciones.

El hombre es síntesis de materia y espíritu, y por tal su esencia es lo que lo hace diferente de los demás seres, mientras sus accidentes son características que lo distinguen de sus semejantes. De esta manera, el hombre transforma su ser en la búsqueda de la perfección y en la lucha por realizar su fin.

El hombre para poder desarrollarse ha aprendido de las experiencias del pasado y del presente, alcanzando de esta manera la satisfacción de sus necesidades, pero el hombre no puede aprender todo en sí mismo, por lo que ha tenido que aprender de los que existieron y de los que existen.

“Las necesidades esenciales del hombre son satisfechas mediante el proceso que llamamos cultura, que se adquiere por medio de la socialización. La cultura se forma y se aprende mediante la relación entre las personas que participan dentro de la sociedad, por lo tanto, esta se transmite de manera social”⁵ En la cultura el hombre busca desarrollar sus potencialidades, pero en base a la forma como este pueda percibir la realidad. Por otra parte, el valor de un ser es el grado de perfección que ha alcanzado, de esta manera el valor ideal son el bien, la verdad, la unidad y la belleza.

El cultivo de los valores trascendentes da una mayor significación a la cultura que si se da mayor importancia a los valores temporales, de esta manera se ha de buscar siempre un equilibrio entre los bienes temporales y los bienes espirituales, aunque la experiencia haya demostrado que alcanzar este punto es muy difícil. Es por esto, que un hombre que ha alcanzado cierto desarrollo ha contribuido al desarrollo de la misma cultura, y todos los bienes

⁵Arq. Luis Felipe García Serrano. Conservación de la armonía urbano arquitectónica en la zona monumental de la ciudad de Puebla. Tesis Profesional. p4

materiales y espirituales encuentran sentido cuando contribuyen al desarrollo de los individuos y de la sociedad, reflejando en su forma de vida la cultura que han llevado a cabo, por primitiva que esta pudiera ser.

1.3 Expresión cultural

"Existen dos tipos de ciudades, las que surgen del establecimiento de un grupo de personas en algún lugar y así se desarrollan en el tiempo, y las ciudades que son inventadas por el hombre"⁶

Estas últimas surgen a partir de un ideal, tal es el caso de Amauroto de Utopía de Tomás Moro, y en especial la ciudad soñada por fray Julián Garcés, que a su vez fué propuesta por Carlos I de España y V de Alemania, que fue llevada a la realidad por la Segunda Audiencia integrada por Vasco de Quiroga, Salmerón y Ramírez de Fuenleal, siendo esta una ciudad especialmente para españoles.

De esta forma, nace en el valle de Cuertlaxcoapan, escogido por Motolinía y Saavedra, en 1531 por cédula real expedida de forma especial por la reina Isabel de Portugal, esposa de Carlos V.

"Necesidades de la época para crear nuevas poblaciones de españoles y el empeño del oidor Juan de Salmerón, dieron origen a la fundación de Puebla de los Angeles el año de 1531. Hernando de Saavedra, Corregidor de Tlaxcala, trazó la nueva población, hizo los primeros repartimientos, edificó iglesia y algunas habitaciones destinadas a sus pobladores. Se le dio título de ciudad de Puebla de los Angeles el 20 de marzo de 1532... y a instancias del capitán Gonzálo Díaz de Vargas el 20 de julio de 1538 se le concedió escudo de armas"⁷

A. La traza urbana en la Ciudad de Puebla en el siglo XVI

Existieron dos fundaciones⁸, la primera realizada al oriente del río San Francisco en un lugar localizado por los franciscanos a pedimento del oidor Juan de Salmerón entonces presidente de la Real Audiencia, entre el 28 y 29 de septiembre de 1530. La reina expide una Cédula Real fechada en Ocaña el 18 de enero de 1531 y el 16 de

⁶Ibide m, p. 60

⁷Apud. Bosquejo del Desarrollo de la Ciudad de Puebla. Enrique A. Cervantes, E.Z.C. México, D.F. 1937.

⁸Apud. Los historiadores Lic. Mariano Fernández Echeverría y Veytia y Lic. Francisco Pérez Salazar, así lo aclaran en su obra: "Historia de la Fundación de Puebla de los Angeles" (1700-1780) y "La Fundación de la Ciudad de Puebla" (1928), respectivamente.

abril de 1531 se realiza la primera fundación⁹, sobre la banda oriental del río. Según el cronista Torquemada, la traza la realizó un albañil; según el historiador Cerón Zapata fué el propio padre Motolinía que ofició la misma. De cualquier forma esta traza debe haber tenido poca importancia debido a que la ciudad no se desarrolló en la época colonial hacia esta parte, a excepción del convento de San Francisco.

La segunda fundación se realizó el 19 de septiembre de 1531¹⁰, al oriente del río de San Francisco, por deseos de los propios vecinos, trasladándose la mayor parte de los pobladores del barrio del Alto y ribera oriental del río San Francisco a la zona occidental. A partir de entonces, se consideró esta la fecha de fundación, realizándose celebraciones anualmente.

Se menciona que la traza en esta segunda localización de la población, fue realizada por Alonso Martín Pérez Partidor, español que era ya vecino del lugar y de los pobladores que deseaban el cambio, su último apellido se le dio por realizar el repartimiento. Según el historiador Hugo Leicht¹¹, el fundador y creador de la traza es el propio Lic. Juan de Salmerón, presidente de la audiencia, observando que su informe a los reyes españoles dice "La invención de ella (de la fundación de la Ciudad de los Angeles) no tiene más fundamento que pobre juicio". El propio Salmerón, nombró a Hernando de Saavedra, Corregidor de Tlaxcala, encargándole trazo y construcción del templo y las primeras casas de españoles con indios de las comarcas cercanas.

De cualquier modo esta traza fue la que definió el desarrollo de la ciudad en toda la época colonial y aún durante el siglo XIX. como era tradicional en estas fundaciones de poblados españoles, la traza se hizo a cordel, en forma reticular o tablero de ajedrez, orientándose las calles con un ángulo de 24° noreste-suroeste. Las manzanas son rectangulares con un lado menor de 85 metros, de noroeste o suroeste y de 170 metros en sentido noreste-sureste. No se conoce la extensión de la primera traza, pero su disposición reticular se seguía hasta fines del siglo XIX a excepción de las áreas localizadas al oriente del río de San Francisco.

⁹Apud. Historia de la Puebla de los Angeles en la Nueva España". Lic. Mariano Fernández Echeverría y Veytia, manuscrito. 1770-80. De. Talleres Labor, México, D.F. 1931. 2 Tomo 1, pág. 86.

¹⁰Ibíd.

¹¹Apud. El verdadero Fundador de Puebla. Dr. Hugo Leicht. Artículo en la revista de Oriente. Puebla, Pue. Agosto 1933.

En el siglo XVII la ciudad adquiere una gran importancia mercantil e industrial al tal grado de llegar a ser fuente de inspiración para el diseño de otras ciudades. En lo que se refiere a los estilos impregnados en la arquitectura, llegan influencias estilísticas de Europa, pero en Puebla no dejan de ser simplemente influencias.

Durante este período la ciudad adquiere una fisonomía de particular riqueza y de lograda armonía visual.

En el siglo XVIII, dada la problemática económica que se vivía por la prohibición del comercio intercolonial y la creciente importación de productos provenientes de la metrópoli, la ciudad logró superar problemas en tiempos de inestabilidad, aún cuando se crearon nuevas rutas comerciales y varias epidemias azotaron a la población.

“Las características de la vida barroca poblana se reflejan en el modo de vestir, en la gastronomía, en las letras y en la arquitectura, el afán decorativo se consolida (...)”¹² quedando plasmados el ladrillo, la cerámica de Talavera y el estuco dando una policromía que a su vez dio a la ciudad una personalidad única.

Durante el siglo XIX se inicia un período de interminables luchas e inestabilidad en el cual la ciudad se ve sitiada once veces.

Dentro de los efectos de un cambio radical en la ideología se pueden observar la sustitución de los altares barrocos por neoclásicos en las iglesias, originando en muchos casos un grave problema de desintegración arquitectónica.

“La traza de la ciudad tiene sus transformaciones, al igual que hospitales, colegios y conventos que sufren notables cambios al tener que adaptarse al nuevo espíritu liberal de las leyes de Reforma y la consiguiente expropiación de los bienes de la iglesia, provocándose grandes pérdidas en el patrimonio cultural”¹³

Posteriormente, durante el período de paz porfiriana, se observa claramente el gusto hacia lo europeo en el uso de mansardas, balaustradas, frontones clásicos, etc., acompañado por el resurgimiento de una nueva etapa industrial y comercial.

¹² Arq. Luis Felipe García Serrano. “Conservación de la armonía urbano arquitectónica en la zona monumental de la Ciudad de Puebla”. p.63

¹³ *Ibidem*, p. 64

En esta etapa se construyen edificios neoclásicos, eclécticos, románticos y art-nouveau.

En el siglo XX se observarán otros cambios que afectarán el contexto arquitectónico poblano por la influencia mundial.

A principios del siglo XX se presenta el estilo art-decó y en la época postrevolucionaria se inicia un movimiento nacionalista que se refleja en la arquitectura a manera de historicismo. Mas tarde se hará notar el uso de vidrio, concreto y acero en la zona monumental dando origen a una serie de ejemplos de clara desintegración urbano-arquitectónica, que afectarían a la identidad de la ciudad de Puebla.

"En los últimos años las intervenciones contemporáneas en el centro de la ciudad se consideran casi prohibidas, por un lado, por la dificultad que presentan en sí para la creatividad del arquitecto, y por otro, la mala legislación también ha contribuido a que se prefiera no entrar en problemas al buscar intervenir en dicho contexto, originándose el fachadismo por limitación legal y no obras de integración urbano-arquitectónica"¹⁴

El crecimiento rápido de la población a partir de la década de los cuarentas imprime un crecimiento físico inusitado que sale del control de las autoridades urbanas tanto estatales como municipales.

Proliferan los asentamientos espontáneos que surgen por la necesidad de asentamiento de los estratos económicos débiles que no pueden pagar tierra en fraccionamientos con todos los servicios, también aparecen los invasores profesionales y los fraccionamientos clandestinos. Paralelamente las autoridades urbanas ceden a la presión de los fraccionadores y autorizan lotificación que no tiene relación con una estructura urbana planeada y solo en algunos casos en forma rudimentaria se prevee la continuación de alguna avenida importante. Con estos fraccionamientos aparecen tramos de amplias arterias que nacen y mueren en el propio fraccionamiento. La disposición de los fraccionamientos, su orientación y circulaciones son de diseño particular y tienen poca relación con la estructura urbana.

¹⁴Ibidem. p. 73

2. UNA CIUDAD Y SU ENTORNO

El entorno que rodea a un edificio puede ser:

Natural, cuando no se involucra la mano del hombre.

Modificado, cuando el hombre influye en él.

Tangible. Contexto perceptible por los sentidos.

Intangible. Formado por valores inmateriales

Mediato. Se refiere a una zona determinada.

Inmediato. Contexto próximo al objeto.¹⁵

Pero la arquitectura no solo se ha de integrar a un entorno físico que lo rodea, como se ha visto anteriormente, sino también tiene un compromiso con el contexto cultural, originando nuevos espacios que permitan expresar la realidad social que le rodea, tal es caso de la realidad arquitectónica que vivimos en la actualidad, la cual expone claramente una confusión y una lucha al mismo tiempo entre los valores por rescatar que permitirían nuevos horizontes arquitectónicos, y por otro lado, las modas que se viven en el momento y que logran dejar huellas negativas en los contextos bien establecidos.

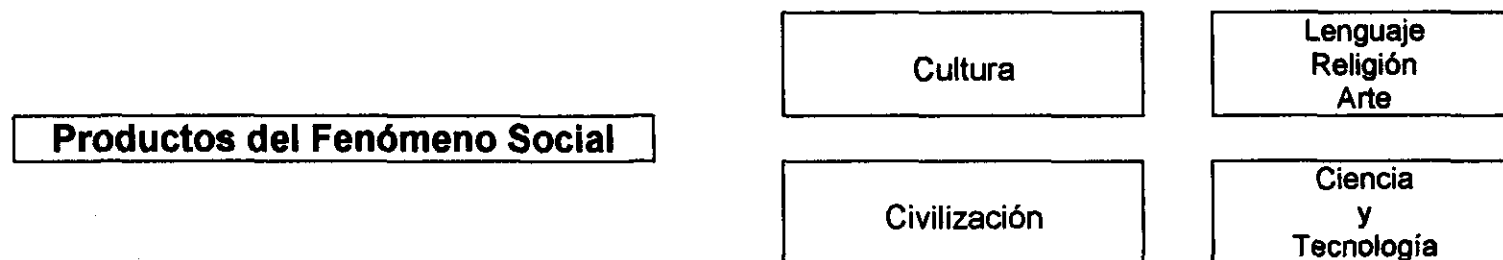
Estas relaciones físicas y culturales que dan sentido a las obras arquitectónicas, existen en diversos contextos y zonas, aportando de esta manera una unidad visual en el conjunto. Por otra parte, esta preocupación se ha dirigido únicamente a zonas protegidas, descuidando gran parte del contexto de una ciudad, que se ve amenazado ante la ruptura de una armonía que puede llegar a perderse. Esta es la razón por la cual gran parte de edificios contemporáneos que se pueden hoy observar ocasionan una ruptura visual al conjunto al cual están integrados, muestra del carácter antisocial de la arquitectura actual. Pero la armonía en la arquitectura no se origina precisamente en contextos que son homogéneos, sino en contextos heterogéneos que gozan de diversidad en su conjunto. Pero aún en

¹⁵ Arq. Luis Felipe García Serrano. Conservación de la armonía urbano arquitectónica en la zona monumental de la Ciudad de Puebla.

esta diversidad, han de existir elementos que destaquen en el contexto, a los cuales hemos de llamar hitos, los que han de tomar cierta importancia en el contexto en el cual se desenvuelven, pero no se ha de abusar de ellos, de lo contrario se provocaría una contaminación visual, la que es observada en las ciudades actuales ante la existencia de gran cantidad de edificios.

3 PRODUCTOS DEL FENÓMENO SOCIAL EN LA CIUDAD DE PUEBLA

Como su nombre lo dice, los productos del fenómeno social son elementos que se han originado a partir de la inquietud y la unidad de los diversos grupos sociales, formando parte de su identificación, parte de su forma de ser y gracias a los cuales es posible distinguir las diferencias entre uno y otro conjunto social. En lo que respecta al sonido, este ha permanecido vigente en cada uno de los elementos, ya sea como forma de expresión cultural, ya como lenguaje, como elemento integrante de una religión, o bien como una forma artística que busca la expresión de un pueblo a través de la música; en lo que a la ciencia respecta este no ha sido excluido de intensos estudios que han llevado a la aplicación del sonido aún en campos de la medicina, la física y la construcción -en el caso de la arquitectura-, llevada de la mano con técnicas que han ampliado el manejo de la acústica en diversas áreas del conocimiento. De esta manera, se cita a continuación una breve semblanza de los Productos del Fenómeno Social, que nos guiarán a lo largo de esta investigación para poder lograr fundamentos más claros sobre la influencia del Sonido en los diversos aspectos de la Sociedad y la Cultura.



4. EL LEGADO CULTURAL POBLANO

A. El lenguaje

Lenguaje es un sistema de expresiones con que se entiende una comunidad. De esta manera, podemos decir que **es un conjunto de sonidos articulados** con que los hombres manifiestan lo que piensan y lo que sienten; es un factor colectivo espontáneo que viene a representar el alma colectiva. El lenguaje implica sociabilidad y racionalidad, pues solo los seres humanos hablamos.

Importancia del lenguaje

Deniker ha clasificado el progreso de la humanidad según el tipo de idioma:

1. Pueblos incultos sin escritura, cuando mucho una pictografía: bosquimanos y negros.
2. Pueblos semicivilizados, con escritura ideográfica o fonética: chinos, mayas, aztecas.
3. Pueblos civilizados, con escritura fonética: pueblos occidentales.

Es importante hacer notar en este punto que la sociabilidad no se puede concebir sin el lenguaje.

B. La religión

Se ha definido la religión como "un sistema solidario de creencias y prácticas relativas a las cosas sagradas, a las cosas separadas y prohibidas; estas creencias y prácticas viven en una misma comunidad moral llamada iglesia a todos sus adherentes.

C. Importancia de la Arquitectura

La arquitectura es el arte de construir armonizando lo útil con lo bello. La meta de la arquitectura es combinar en un mismo plan las masas y la riqueza, las estructuras de tal manera de distribuir interés, belleza, magnitud, unidad y poder, sin sacrificar la convivencia.

La arquitectura monumental emerge en la era de los grandes reyes y sacerdotes. Se expresó en la construcción de los templos, de las tumbas y palacios de los reyes. Los pueblos nómadas no pueden practicar la arquitectura. Solo cuando se fijan en un sitio determinado, cuando se sedentarizan, pueden desarrollar el grande y continuado esfuerzo que toda obra arquitectónica requiere y cuando la pueden aprovechar. Los pueblos errantes no sólo no conocen la arquitectura, sino que ni siquiera conocen los verbos construir, edificar, amurallar, ni los substantivos templo, palacio o casa.

Esto quiere decir que la arquitectura nace después de que el pueblo practica la agricultura, después de que llega a la civilización, cuando conoce el Estado y ya existe la propiedad privada.

A la sombra de la arquitectura florece la escultura que adorna las entradas del templo con braseros o estatuas o ponen en sus fachadas imágenes de piedra; y también florece la pintura que cubre policromamente sus paredes o decora sus muros, sus bóvedas. El vitral, deslumbrante expresión lírica del templo gótico, es como una pintura monumental; ningún fresco concuerda con su belleza como el vitral de la arquitectura gótica; cuando el pueblo de los fieles frecuentaba la iglesias a horas diversas, la luz del sol encendía los vitrales con fuerza varia y hacía lucirlos como silenciosa orquesta en las alturas, como si fueran alfombras mágicas al camino del paraíso.

Por eso se afirma que la arquitectura es la más estatista de todas las artes, porque está ligada íntimamente a la aparición y desarrollo del Estado y porque cobija el desenvolvimiento de todas las bellas artes.

En ninguna de las bellas artes es tan evidente la fusión de la belleza y de la utilidad como en la arquitectura, donde la hermosura del edificio y su existencia misma están determinadas por las consideraciones de la utilidad que reporta.

Todas las bellas artes son sociales en su origen y en sus funciones, pero en la arquitectura este carácter social es más notorio; las obras arquitectónicas se levantan al servicio de un Estado, de un gobierno, de una institución, de un credo, de una clase social. Las obras arquitectónicas se levantan con el esfuerzo de la colectividad, son obras que plasman en sus piedras el gusto predominante de un época; que reflejan la bonanza del momento histórico en que se edifican; así, por ejemplo, el florecimiento arquitectónico de la Atenas de Pericles, de la Roma de los Cesares, de la Florencia renacentista, de las grandes ciudades mayas del Antiguo imperio, corresponde a épocas de auge económico, de la pujanza política de sus respectivas etapas. La arquitectura es a manera de termómetro de esplendor de un pueblo.

Aunque hay una concomitancia entre el bienestar económico de un pueblo y el brillo arquitectónico, la calidad artística de un pueblo no puede ser medida por su riqueza; pueblos opulentos pueden tener un arte mediocre; y pueblos miserables pueden alcanzar gran altura en su desarrollo artístico.

La arquitectura constituye una especie de archivo de las investigaciones sociológicas e históricas: en su estudio se ve la preeminencia de una clase social, el influjo o dominio de la casta sacerdotal; la actividad bélica dominante de un grupo humano.

Modernamente, con el triunfo de la máquina (particularmente el elevador que hace posible el rascacielos), y con la conquista de las estructuras de acero se ha operado una revolución arquitectónica. Las posibilidades de la arquitectura se han vuelto ilimitadas y ya extienden sus beneficios no sólo a las clases pudientes sino a la humanidad entera.¹⁵

5. La civilización

"La civilización es una realidad objetiva: las cosas en las que está visible el espíritu del hombre, las formas y estilos de vida aceptados por una comunidad determinada, las instituciones, las estructuras sociales, la organización de los grupos, los métodos y sistemas empleados en la convivencia. La civilización es la expresión tangible de la cultura. Y cultura puede decirse, es el alma de la civilización"... "La civilización es siempre un modo de ser: el modo de ser de una sociedad".¹⁶

A. Ciencia y tecnología como factores positivos de cambio en la civilización

En el sentido vulgar, ciencia equivale a conocimiento; para ser ciencia requiere de ciertos caracteres:

- 1o. **Ser total**; el objeto esté todo el presente a nuestro espíritu
- 2o. **Sistemático**; relación con la naturaleza y con el todo.
- 3o. **Verdadero**; la idea que se tenga del objeto corresponda a la realidad.
- 4o. **Cierto**; lo que sea conocido como verdad, se tenga por verdad en plena conciencia.

¹⁵Felipe López Rosado, Introducción a la Sociología, p. 211.

¹⁶Apud. Guzmán Valdivia, Isaac "La civilización actual contra el destino del hombre", p.19

Concepto de ciencia: "Generalización jerarquizada de fenómenos"; no hay ciencia de lo particular.

Ciencia es:

- Generalización, porque no hay ciencia de lo particular
- Jerarquizada; de lo más general se deduce lo menos general, por orden de jerarquías.
- Fenómenos; son aquellos que se nos aparecen a nuestros sentidos.

Ciencia natural y ciencia cultural. La ciencia cultural tiene el mismo rigor que la ciencia natural; la ciencia natural es nomotética; la cultural busca lo individual, es ciencia idiográfica.

Nomotético: Encaminado a la elaboración de conceptos empíricos universales.

Idiográfico: Método encaminado a la exposición de lo singular y lo particular.

B Arte

Arte. Busca hacer bien las cosas de acuerdo a cierto método, por ciertos procedimientos; no busca el conocer, sino el hacer las cosas.

Ciencia; le importa obtener reglas siempre generales, para conocer, aunque no tenga aplicación alguna.

Ley natural, la ciencia es un conjunto de leyes naturales; la ley natural es "el conjunto de condiciones necesarias que determinan los fenómenos". La ley natural es inviolable, la que emana de la voluntad legislativa es violable.

CAPITULO 2

EL GRAN PRODUCTOR DE MULTIPLES SENSACIONES: EL SONIDO

1. ¿QUÉ ES EL SONIDO?"

Sonido es el resultado de las vibraciones de un cuerpo sonoro. Las vibraciones producidas por los cuerpos sonoros, son regulares, de esta manera, los instrumentos musicales producen ondas sonoras mediante las vibraciones regulares, los cuerpos sonoros que producen vibraciones irregulares producen ruido.

2. ¿QUÉ ES LA ACÚSTICA?

El estudio del sonido y de los cuerpos sonoros se denomina ACUSTICA.

Los fenómenos sonoros están relacionados con la vibración de cuerpos materiales; cuando escuchamos un sonido, es un fenómeno producido por un cuerpo que vibra, tal es el caso de una persona que habla, produce un sonido por la vibración de las cuerdas bucales, efecto similar a las cuerdas de un violín o las cuerdas de un piano, de la misma manera sucede en los tambores.

Al vibrar un cuerpo, produce sonido, el cual se propaga en forma de ondas en un medio material (sólido, líquido, gaseoso), situado entre ellas y el sentido auditivo. Al penetrar en este producen una vibración y las sensaciones sonoras.

Cuando un cuerpo entra en vibración se producen compresiones y rarefacciones sucesivas, propagadas en el medio, semejante al movimiento que experimenta un resorte. Una molécula de aire alcanzada por la onda de compresiones y rarefacciones vibrará en presencia de esta y oscilará en la misma dirección; por lo tanto esta será una onda longitudinal. De esta manera, la vibración de los cuerpos altera la presión del aire que se encuentra en contacto con ellos, estas se emiten radialmente y las partículas de aire vibran en la dirección trazada por una línea entre la fuente de energía y la partícula en vibración.

2.1 El Campo de la Acústica desde el punto de vista de la Física

Al comenzar esta rama de la Arquitectura relacionada íntegramente y de manera usual con la Ingeniería en Acústica, no es posible ignorar los conceptos que de aquí en adelante nos servirán para poder comprender los fundamentos que esta requiere. Será necesario que el interesado en esta extensa materia, ya sea estudiante o egresado, pongan especial interés en los conceptos que a continuación se irán incluyendo como parte de este documento, con la intención de que sea de la mayor utilidad posible.

A. Movimiento ondulatorio

Para poder apreciar desde perspectivas más amplias la extensión del campo del sonido, es necesario conocer el proceso que se lleva a cabo en la difusión del sonido, ya que este tendrá un comportamiento muy semejante a las ondas de la luz, considerando la onda sonora dentro de las ondas electromagnéticas.

B. Movimiento Armónico Simple

Para una partícula en movimiento rectilíneo, si su aceleración a es siempre proporcional a su distancia x desde un punto fijo en el camino y es dirigido hacia el punto fijo, entonces la partícula es llamada para tener el Movimiento Armónico Simple (MAS), que es la forma más simple del Movimiento Periódico.¹

Para el entendimiento de este fenómeno, similar al que lleva a cabo la onda sonora, se expone el siguiente ejemplo:

a). Se supondrá un cuerpo apoyado sobre una superficie horizontal, sin fricción, sujeto en un extremo a un resorte:

b). El resorte se encuentra en reposo, O es el punto de equilibrio.

c). A , será la distancia provocada al empujar el cuerpo y comprimir el resorte, hasta el punto B ; F es la fuerza del resorte hacia el punto de equilibrio O , esto se puede considerar como una fuerza de restitución.

¹ "Teoría y problemas de acústica". William W. Seto/Serie Schaum. Mc. Graw Hill. Book Company

d). Al soltar el cuerpo, la fuerza F disminuye conforme se acerca al punto de equilibrio O , aumentando a su vez el cuerpo la velocidad, causada por el resorte al recobrar su posición original, F es nula al pasar o llegar al punto de equilibrio.

Como se observa, F es proporcional a la deformación del resorte, dada por $F=Kx$, donde K es la constante elástica del resorte.

e). Se observa que cuando el cuerpo pasa el punto de equilibrio por la velocidad adquirida, se origina nuevamente una fuerza F por la deformación del resorte, ahora, en sentido contrario y tendiente a O .

f). En B' se anula la velocidad, pues este punto es simétrico a B , volviéndose a acelerar el cuerpo hacia B . Como no existe fricción, el movimiento de vaivén seguirá indefinidamente entre B y B' . Todo cuerpo que realiza un movimiento similar está **VIBRANDO Y OSCILANDO**.

F es proporcional a la distancia al punto de equilibrio. Este movimiento vibratorio es denominado **MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE**. Se ha de partir de estos elementos para comprender de mejor manera el fenómeno de vibración de los cuerpos, que tendrán su efecto en las condiciones acústicas de los espacios a estudiar posteriormente. (Ver figura 1).

El Movimiento Armónico Simple puede ser una función **Seno** o **Coseno** de tiempo, y puede ser convenientemente representada por vectores rotatorios. El vector r de magnitud constante está rotando en contra de las manecillas del reloj. En una velocidad angular constante w ; sus proyecciones en los ejes x y y son respectivamente **funciones Seno y Coseno de tiempo**.² (Ver figura 2 y3).

Una Onda Armónica es un corte o figura (configuración de desplazamiento) que es sinusoidal, como una curva seno o coseno. una onda armónica moviéndose en la dirección positiva x con velocidad c .

² Apud. p.3

FIGURA No 1
MOVIMIENTO
ARMONICO
SIMPLE

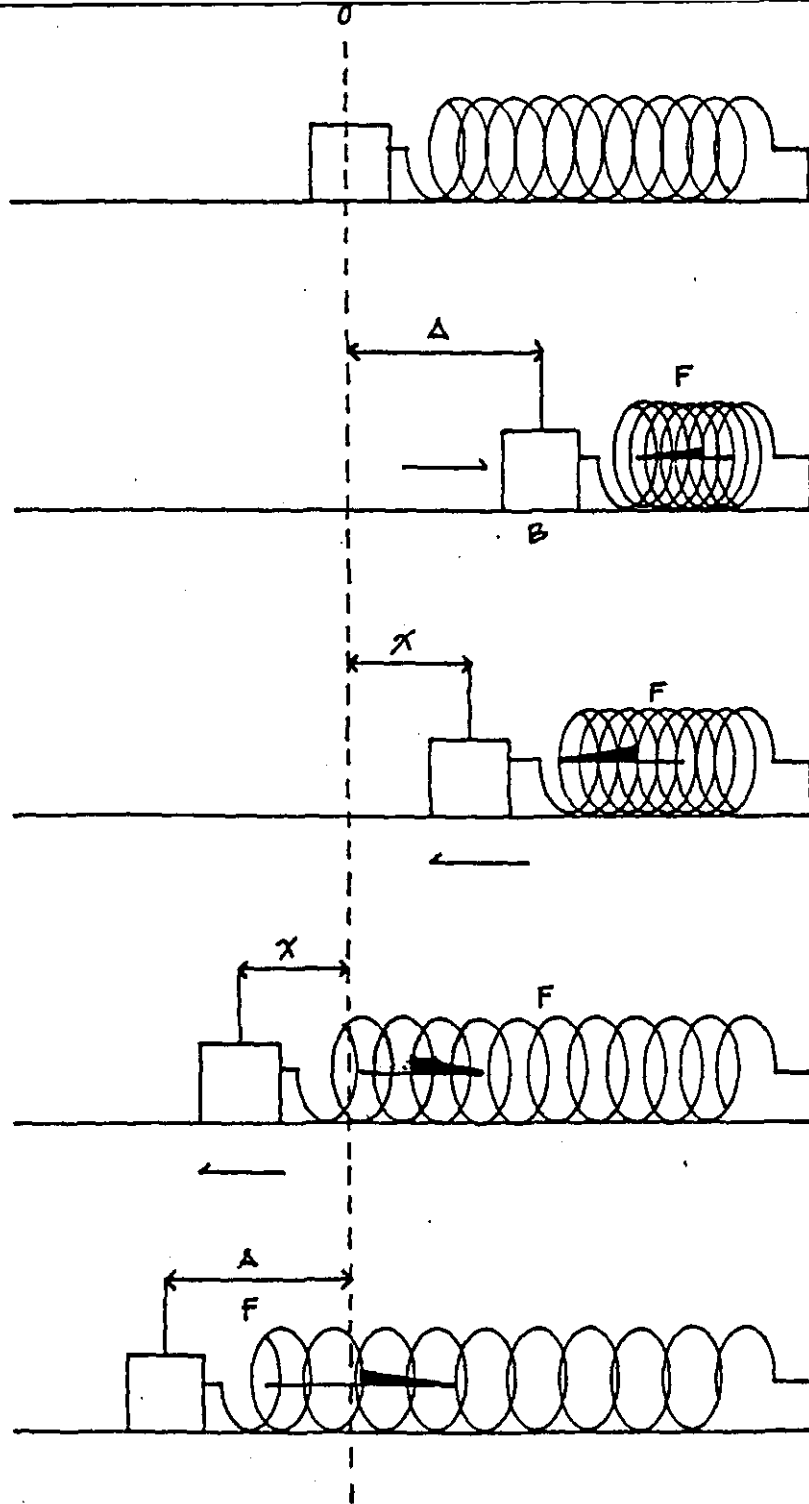
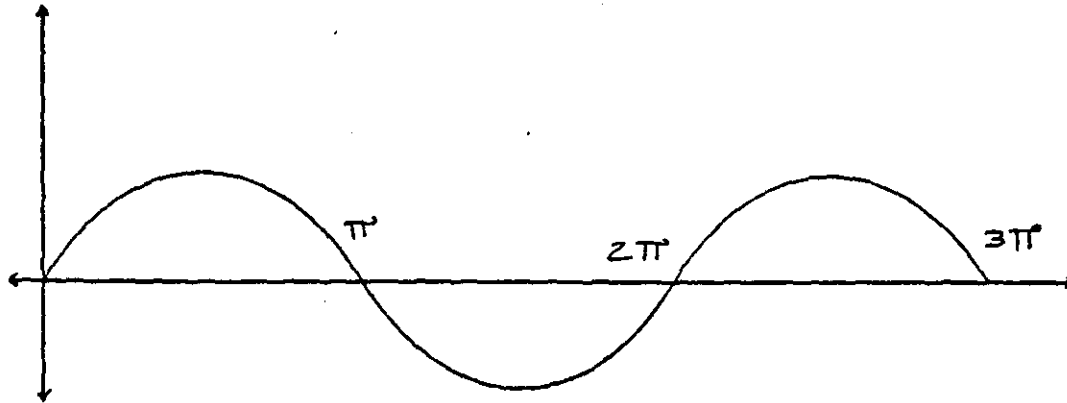


FIGURA No. 2

VARIACIONES Y GRÁFICAS DE LAS FUNCIONES



GRAFICA DE $Y = \text{SEN } X$

FUNCION SENO

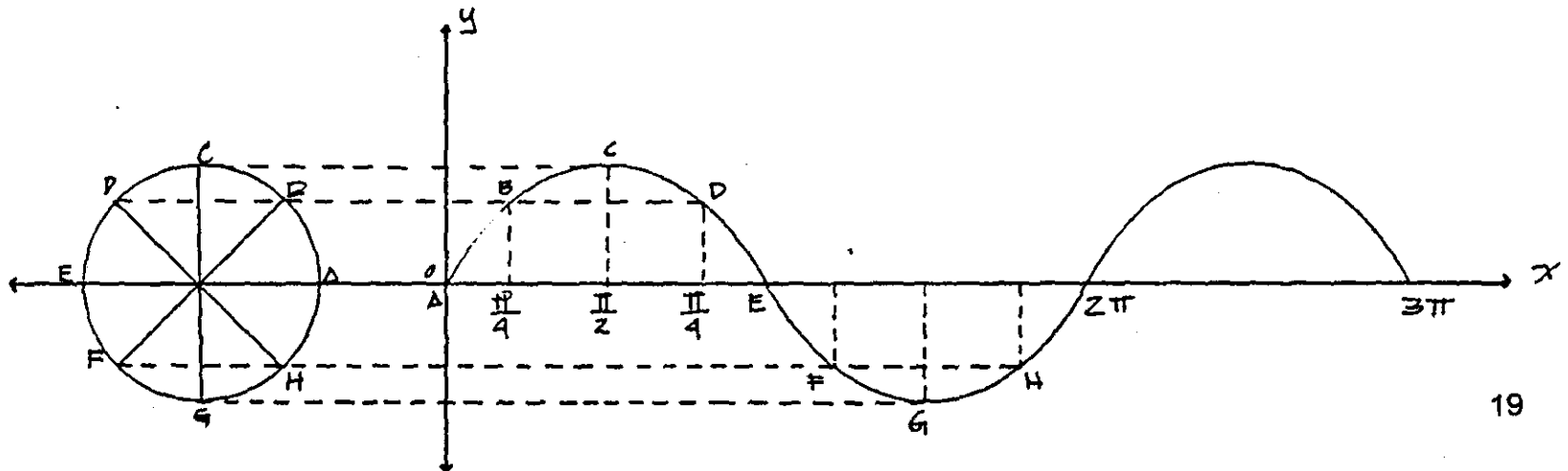
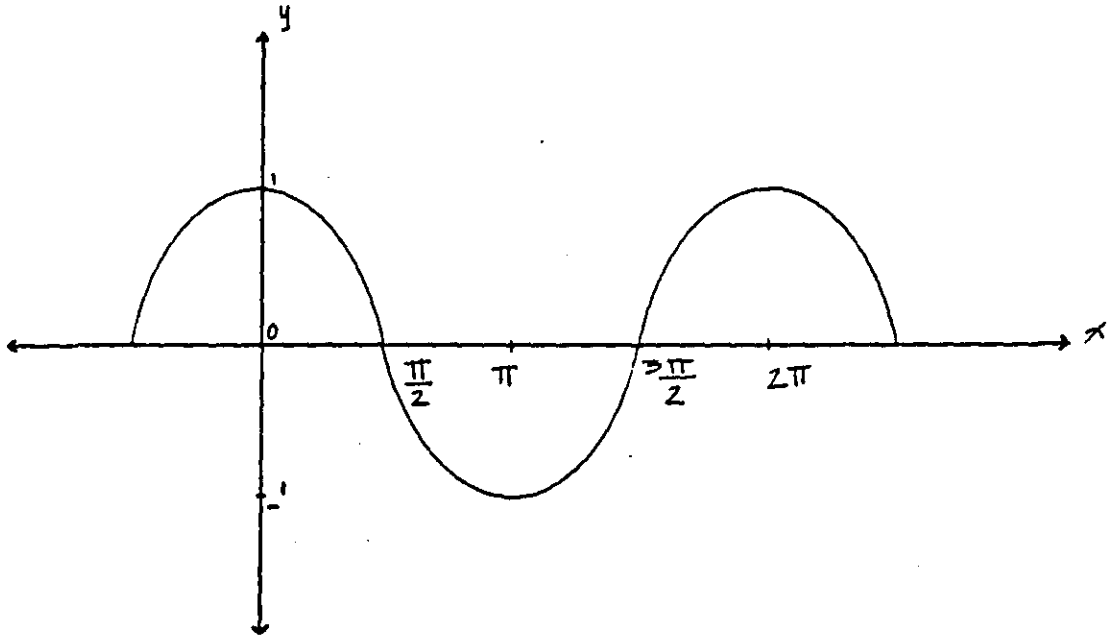


FIGURA No. 3

GRAFICA DE $Y = \cos X$



C. Vibraciones

Los sistemas poseedores de masa y elasticidad son capaces de un movimiento relativo, si el movimiento de aquellos sistemas se repiten después de un intervalo de tiempo, aquél Movimiento Periódico es llamado Vibración.

Las vibraciones se analizan bajo términos de Masa, Balaceo e Impetu , los que representan el cuerpo, la elasticidad, y la fricción del sistema respectivamente.³

D. Amplitud, frecuencia y período

Diversos cuerpos realizan este movimiento, como barras de metal, péndulos, cuerdas de instrumentos musicales, entre otros, ampliando este efecto a elementos constructivos dentro de la ingeniería y la arquitectura, como son vidrios, paneles y algunos tipos de muros y elementos decorativos.

El cuerpo que oscila está sometido a una fuerza que lo atrae a su posición original, tras haberse alejado del punto de equilibrio, esta fuerza es llamada **FUERZA RESTAURADORA**.

El tener presentes los siguientes conceptos nos permitirán un mejor manejo del instrumental de laboratorios de acústica, así como los diferentes fenómenos relacionados con el campo de la acústica.

E. Amplitud(A) del Movimiento.

Es la distancia entre el punto de equilibrio y posición extrema ocupada por el cuerpo en oscilación.

F. Movimiento Amortiguado.

Es la disminución de la amplitud hasta que el cuerpo alcanza el punto de equilibrio, esta disminución es gradual.

³ Apud. p.4

G. Vibración Completa (Ciclo).

Movimiento efectuado por el cuerpo de un punto extremo a otro punto extremo y regresando a su punto original (B-B'-B).

Período (T). Tiempo en que un cuerpo realiza un ciclo o vibración completa.

Frecuencia (F). Es el número de vibraciones completas realizadas por unidad de tiempo.

H. Vibración libre o transitoria.

Es el movimiento periódico observado como el sistema que es desplazado desde su posición estática de equilibrio.⁴

-Heinrich Hertz (1857-1884) emitió y recibió ondas de radio (ondas electromagnéticas), demostrando que tienen las mismas propiedades de la luz, estableciendo que la luz es una radiación electromagnética.

En el caso de la frecuencia, si el movimiento oscilatorio entre B-B'-B se repite 5 veces, estaremos hablando de 5 ciclos o vibraciones por segundo, considerando que los 5 ciclos se llevaran a cabo en un segundo.

f = 5 vibraciones/seg por lo tanto f = 5 cps
1 cps = 1 Hz (Hertz) por lo tanto 5 cps = 5 Hz de la misma manera f = 5 Hz.

Para obtener período: $T = 1 \text{ seg}/5 = 0.2 \text{ seg}$
Obtenemos: $T = 1/f$ $f = 1/T$

⁴ Apud. p.4

El estudio del Movimiento Armónico Simple se ha relacionado íntegramente con el estudio del péndulo, pues su importancia recae en sentido de tener un comportamiento muy similar al movimiento experimentado por elementos constructivos -como se habló anteriormente-. Se establece una relación entre la masa y la constante elasticidad (K) para obtener el período del M.A.S. (Movimiento Armónico Simple) de un cuerpo. Se explica este fenómeno mediante el siguiente procedimiento:

De aquí se deducen las siguientes observaciones y condicionantes:

1. Cuanto mayor sea la masa del cuerpo, mayor es el período de oscilación, y menor la frecuencia, oscila lentamente.
2. Cuanto mayor sea la constante K del resorte, mayor será la frecuencia.
- 3- La amplitud no interviene en el período.

I. El Péndulo Simple.

En esta sección sólo se tiene la intención de proporcionar un complemento de información en relación al Movimiento Armónico Simple, pues ante todo se intenta crear un panorama general que en algún momento el Arquitecto ha de tener presente, no precisamente el crear grandes científicos, pero sí un acervo cultural más amplio sobre la materia. El tema que se trata a continuación vuelve a estar presente en un gran número de elementos constructivos con los que convivimos diariamente sin darnos cuenta de lo que pasa con ellos; tal es el caso de los grandes ventanales, muros divisorios, mamparas, etc. que transmiten ondas sonoras gracias al M.A.S. que experimentan.

El péndulo es un cuerpo de peso despreciable que cuelga de un hilo, de longitud L, y constituye un Péndulo Simple, que oscilará en posición vertical. Es importante considerar que en estos casos, la fuerza restauradora que mantiene al cuerpo en oscilación es la componente de su peso tangente a la trayectoria. Cuando la amplitud no es muy grande, la trayectoria definida por el péndulo es un segmento de recta.

- *La fuerza restauradora será proporcional a la amplitud -distancia del cuerpo a la zona de equilibrio-.
- * Aquí se realiza el M.A.S.
- * Cuanto mayor sea la longitud del péndulo, mayor será el período.
- * Cuanto mayor es la aceleración de la gravedad, mayor será la frecuencia y menor el período.
- * El período del péndulo no depende de la masa ni de la amplitud de oscilación.

J. Ondas

Las ondas sonoras son causadas por una influencia o perturbación iniciada en algún punto y transmitida o propagada a otro punto en una forma predescible gobernada por propiedades físicas del medio elástico a través del cual la perturbación es transmitida.⁵

Como un cuerpo en vibración se mueve de su posición estática de equilibrio, este empuja el aire antes de ese y lo comprime. Al mismo tiempo, una rarefacción ocurre inmediatamente atrás del cuerpo, y el aire entra precipitadamente atrás del cuerpo, el aire entra para llenar el espacio vacío. En este sentido la compresión de aire es transferido a distintas partes y es llevado en un movimiento como ONDAS SONORAS. El resultado es el Sonido. Para el oído humano, el sonido es la sensación auditoria producida por la perturbación del aire. Por la posesión de inercia y elasticidad en sólidos y fluidos, estos transmiten Ondas Sonoras.⁶

Las ondas sonoras son ondas longitudinales, las partículas se mueven en la dirección del movimiento de onda. La propagación de ondas sonoras envuelve la transferencia de energía a través del espacio. La energía llevada por las ondas sonoras es parcialmente cinética y parcialmente potencial; la formación es debida al movimiento de las partículas del medio, lo posterior es debido al desplazamiento elástico de las mismas partículas las cuales se extienden en todas direcciones desde la fuente, estas serán reflejadas y refractadas, disipadas y difractadas, interferidas y absorbidas. un medio es requerido para la propagación de ondas sonoras, la velocidad de que depende en la densidad y temperatura del medio.⁷

K. Experimentos de medida de las ondas sonoras

En 1640 el matemático francés Marín Mersenne, calcula el tiempo en que regresa el eco a una fuente conocida. Calculó la velocidad de 316.68 m/seg. Unos veinte años después Borelli y Viviani logran mayor exactitud mediante el experimento de un cañón, midiendo diferencia de tiempo entre explosión y sonido, al llegar al observador.

⁵ Apud. p. 2

⁶ Apud. p.2

⁷ Apud. p. 2

En 1708, William Derham perfecciona el método, trepado en la torre de la iglesia de Upminster, condado de Essex, con un cañón situado a 19 kilómetros al otro lado del Támesis. Toma en cuenta la temperatura ambiente, obteniendo como resultados: 342.90 m/seg a 20 grados centígrados; a 0 grados, 331.31 m/seg; a 100 grados, 385.87 m/seg.

En 1895, William C. Sabine, físico de la Universidad de Harvard es solicitado para mejorar la acústica de la sala de conferencias del museo Fogg de arte, de Harvard, metido en una caja para evitar la absorción de su cuerpo, mide la reverberación, provocando una duración de 5 1/2 seg. por palabra, por medio del uso de un tubo de órgano y cojines como sistema de absorción obtiene una duración de 1.14 por sonido residual.⁸

Para explicar este campo, se recurrirá al siguiente ejemplo:

Propagación de un pulso. Cuando una cuerda está fija en uno de sus extremos y en otro por nuestra mano y a esta la movemos de arriba hacia abajo volviendo a su posición original, se producirá un movimiento llamado PULSACION o PULSO, que se propaga a través de la cuerda. Un punto determinado de la cuerda sube y baja mientras por el pasa la perturbación (pulso), reproduciendo el movimiento de la mano. Una onda es una serie de pulsos alternados hacia arriba y hacia abajo -que en este caso se producen por el movimiento constante de la mano que origina el movimiento-. La parte superior -del pulso superior- es llamada CRESTA; parte inferior -en pulso inferior - es llamada VALLE; la amplitud y frecuencia de las vibraciones del punto determinado del medio en que se propaga.

L. Tipos de ondas

Onda Transversal. Se lleva a cabo por medio de pulsos que se distribuyen de forma perpendicular a su dirección de propagación.

Onda Longitudinal. Se lleva a cabo por medio de compresiones y rarefacciones; de esta forma, los puntos del medio en que se difunden estas ondas vibran en forma paralela a la dirección de propagación, en el caso de un resorte.

⁸ Colección Time- Life Sonido y Audición pp. 18 y 19

M. Velocidad de propagación de una onda

Pueden cambiar las condicionantes para la mayor o menor velocidad de las ondas que se propagan en un medio determinado, así como la temperatura o el material.

N. La velocidad de onda

Será la velocidad con que los pulsos se propagan en dicho medio. Para esto ha de contemplarse:

$$V = \text{Longitud del medio} / \text{Tiempo}$$

La longitud del medio podría ser una cuerda, comparada con la longitud de un espacio arquitectónico; en el caso de la cuerda interviene el grosor, la tensión, material, etc.

Ñ. Longitud de onda

Se conoce como longitud de onda la distancia que recorre una onda en un período (T). Por otro lado, también es equivalente a la distancia entre dos cuerdas o dos valles. Se ha de considerar constante la velocidad de propagación de onda, teniendo la siguiente relación:

$$L = V(T) \text{ o bien } L = v/f$$

L(Lambda) = Longitud
V = Velocidad

La relación longitud frecuencia es inversamente proporcional: a mayor frecuencia, menor longitud, a menor frecuencia, mayor longitud.

O. Paso de una onda de un medio a otro

La frecuencia de una onda al pasar de un medio a otro no varía, sin embargo la velocidad es mayor en un medio delgado, y menor cuando es baja la distancia. Por otra parte la longitud de onda es mayor cuando la velocidad es mayor; la longitud de onda es menor cuando es baja la velocidad.

P. Ondas en la superficie de un líquido

Se pueden provocar por pulsos rectos y pulsos circulares; a diferencia de las ondas en una cuerda, se propagan en una sola dirección. Se aplican las siguientes condiciones:

1. La velocidad depende del líquido donde se esparcen las ondas.
2. La longitud será la distancia entre crestas y/o valles.
3. La frecuencia de la onda será la frecuencia de la fuente que la origina.
4. Las ondas circulares se propagan en todas direcciones, mientras que las ondas por pulsos rectos son paralelas entre sí a una sola dirección.

Q. El decibelio

Los ingenieros en electroacústica proponen otras escalas diferentes al Pascal W/m², utilizando varios logaritmos, en vez de magnitudes físicas, por ello crearon niveles:

Nivel de presión acústica

Nivel de intensidad

Nivel de potencia

Nivel de presión acústica

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{P_{ef}}{P_0}$$

P_{ef}. Presión eficaz del sonido o del ruido considerados -5

P₀. Presión de referencia escogida por convenio, igual a 2 X 10 Pa

En este caso P₀ y 20 tienen su utilidad, puesto que permiten expresar niveles de presión de sonidos y ruidos corrientes, mediante una cantidad positiva que es posible, con frecuencia, redondear a un decibelio en más o menos, sin perder mucha precisión. La referencia corresponde al nivel de audibilidad en personas jóvenes.

Si la presión acústica de un sonido o de un ruido es igual a 10 Po, 100 Po, 1000 Po, el nivel correspondiente es de 20, 40, 60 dB.

Nivel de intensidad acústica

$$L_I = 20 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

I = Intensidad acústica del sonido según la dirección considerada

I₀ = Es una intensidad de referencia igual a 10⁻¹² W/m²

Esta definición es análoga bajo todos los aspectos a la del nivel de presión, variando el factor que se halla delante del logaritmo.

El nivel de intensidad acústica se expresa en Decibeles (dB)

Nivel de potencia acústica

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{w}{w_0}$$

w = potencia acústica de la fuente expresada en vatios

w₀ = Potencia de referencia igual 10⁻¹² vatios.

Este nivel se expresa en decibeles (dB)

Los logaritmos de los miembros de la igualdad muestran que el nivel de presión acústica producida en un espacio libre a distancia r de una fuente puntual omnidireccional se halla ligada al nivel de potencia acústica de la fuente por la siguiente relación:

$$L_p = L_w - 10 \log 4 \pi r^2$$

Cuando la fuente es direccional, se transforma en:

$$L_p \neq L_w - 10 \log 4\pi r^2 + G$$

G= Índice de direccionalidad.

2.2 Presión del sonido

Otro punto que no ha de hacerse a un lado es precisamente la presión del sonido. Las partículas de aire se acercan y se alejan entre sí conforme avanza la onda sonora. Hay cambios de la presión del aire en un punto dado, por arriba de la presión atmosférica. La presión del sonido se medirá en Dinás, equivalente a 1/980 de 1 Gramo. En realidad la presión del sonido es muy pequeña, ya que equivale a 1 millonésimo de la Presión Atmosférica.

Si el cuerpo vibrara con una frecuencia mayor a 20 000 Hz o menor a 20 Hz, no se percibiría el sonido por el oído humano, aunque no es riguroso que el sonido quede entre este rango, pues varía de acuerdo a cada persona.

El sonido es una onda longitudinal comprendida entre los 20 y 20 000 Hz y la cual se propaga en un medio físico (sólido, líquido o gaseoso).

El sonido se propaga por medios como agua, aire metal, y esto es necesario para percibirlo. Sin embargo, no sucede como en la luz, ya que esta se puede transmitir a través del vacío, lo que no puede darse con el sonido, pues como se habló anteriormente, el sonido necesita de cualquier medio elástico para ser conducido, por lo que la persona no lo percibiría si existiese el vacío entre su oído y las ondas (vibración).

A. Infrasonido y Ultrasonido

Existen frecuencias mucho más altas o más bajas que se encuentran fuera de los niveles de audición del oído humano, y los cuales no ocasionan ningún efecto sobre el mismo. Estas frecuencias sólo pueden ser captadas por el refinado sentido de audición de los animales, ya que un cachorro canino es capaz de percibir ultrasonidos de 50000 Hz. En el caso de los murciélagos, estos son capaces de producir ultrasonidos que son reflejados en objetos, para

ser percibidos al mismo tiempo y evitar el choque contra estos, siendo el único sistema de orientación de estos animales. Los ultrasonidos producidos por el murciélago y que oye después pueden llegar hasta los 120 000 Hz.

Este mecanismo es un avanzado sistema similar al sonar, dispositivo electroacústico que produce ultrasonidos para localizar objetos que no son visibles o que llegan a ser muy lejanos.

De esta manera, los sonidos considerados por abajo de las frecuencias de los 20 Hz, en referencia con el oído humano son llamados Infrasonidos ; los sonidos producidos por frecuencias superiores a los 20 000 Hz son clasificados como Ultrasonidos.

Para el caso que se tratará en este estudio, nos enfocaremos únicamente a las frecuencias consideradas entre los 20 Hz y los 20 000 Hz, ya que el hombre se ve afectado por este tipo de sonidos en los espacios en los cuales se desarrolla, ya sean abiertos o cerrados; de esta manera, las frecuencias se medirán en octavas; intervalo entre dos sonidos con relación 2:1 de frecuencias. En el campo de la Acústica y de la Arquitectura las octavas más comunes son: 125,250,500,1000, 2000, 4000 y 8000 C.P.S.(Ciclos por segundo).

B. La Velocidad del Sonido

La velocidad del sonido es un tema que será de suma importancia y utilidad para nuestros objetivos posteriores, ya que como se verá, la velocidad del sonido se ve afectada por diversas condiciones, ya climatológicas, de humedad, temperatura y por el medio por el cual tiende a difundirse. Para ilustrar de mejor manera la explicación de este fenómeno, se hace referencia al caso común del relámpago y el trueno. La velocidad de la luz es de 300 000 Km/seg, y por ser tan grande el relámpago se observa en un instante; por el contrario, el trueno es escuchado más tarde, debido a la gran diferencia de velocidades. De la misma manera se realizó un experimento en el siglo XVII, detonando un cañón con distancia aproximada del observador de 20 Km, midiendo la diferencia de tiempo entre la visualización del fogonazo y el arribo del sonido al oído del observador.

Desde luego, con aparatos de tecnología moderna, se ha logrado conocer la velocidad del sonido, considerando una temperatura del aire a 20 grados centígrados como parámetro normal. No podemos perder de vista en este punto que la velocidad del sonido se ve alterada por el tipo de material que propicie su transmisión, así como de la temperatura actual. El calor acelera las moléculas de un gas, y por lo tanto propicia mayor velocidad de propagación del sonido.

La velocidad considerada para el sonido suele variar con una diferencia muy pequeña, pues ha variado el criterio según la persona que ha realizado ese estudio; se considera entre 332 y 339 mts/seg.

2.3 Propiedades del Sonido

En ocasiones nos enfrentamos al uso de términos como Timbre, Intensidad, Altura del sonido, y son precisamente los que nos permiten establecer las diferencias entre los sonidos y establecer sus propiedades correctamente, y los que se han de manejar con perfecta claridad para realizar un correcto análisis acústico con la terminología indicada.

A. Intensidad del Sonido.

Es la propiedad que se relaciona con la cantidad de energía de vibración de una fuente, emitida por la onda sonora; he aquí la existencia de sonidos fuertes o débiles. La energía es transportada por la onda y propagada en todas direcciones; cuanto mayor es la intensidad que transporta la onda hasta el oído humano, mayor es la intensidad del sonido -relación directamente proporcional- y a mayor amplitud de onda, mayor energía de vibración, o mayor energía transportada (relación de tiempo).

La intensidad es medida en Decibeles (dB), en honor a Alexander Graham Bell.

La intensidad también se ha conocido como el nivel de presión (según notas de Thomas D. Rossing) ; y la medida llega a ser relativa. Esta presión varía desde los 40 dB (un *Pianissimo*), hasta 90 dB (en una orquesta completa). Niveles más altos son captados por la amplificación electrónica en conciertos Pop. Estos niveles, en ocasiones sobre los 100 dB son dañinos para el oído en presentaciones prolongadas, y provocando efectos que en gran número de casos llegan a ser irreversibles, esto si consideramos por separado las consecuencias que a nivel psicológico llega tener el sonido a estas intensidades.

Varias escalas de intensidad han sido aplicadas en las últimas décadas:

1. Escala Sone. Escala psicofísica (Stevens, 1936).

La escala Sone es aceptada por la Organización Internacional de Unificación de Normas; pues actualmente aparatos electrónicos calculan sonoridades a partir del espectro de un ruido, haciendo medida en dB. La escala Sone convierte los dB en sonoridades.

2. Fone (Phone Scale, según traducción al inglés), considerada como una escala de aplicación mixta, tanto Física, como psicofísica.

3. Escala de nivel de Sensación.

4. En algunos documentos de estudios de psicoacústica no han sido dadas las indicaciones de intensidad.

B Altura del Sonido.

Es la capacidad del sonido que permite distinguir a su vez sonidos graves o sonidos agudos; de esto depende la clasificación de voces en la música. La altura depende de la frecuencia (f) de onda: masculino (bajo), baja frecuencia; femenina (alto), alta frecuencia, mayor altura y viceversa. Aquí hacemos la distinción entre la voz femenina y la voz masculina dado que las cuerdas vocales masculinas vibran a menor frecuencia que las cuerdas vocales femeninas; de la misma manera, los instrumentos musicales pueden emitir sonidos de distinta frecuencia, facultad que puede observarse y escucharse el sonido de un piano.

En la música el promedio es de 100 Hz. para Bajos, y hasta de 1 200 Hz. para Sopranos.

El oído humano puede sensibilizar frecuencias apenas audibles, por esto se emplean escalas de decibeles en referencia de diversos objetos que son fuente de sonidos.

También se ha considerado que tanto el timbre como la intensidad de un sonido (nombrado como volumen por algunos autores) son dos tipos de sensación psicológica, además de la respuesta del oído ante el rango de frecuencias establecido. Para identificar un sonido, el oído capta la frecuencia más baja, a la que se le llama Frecuencia Fundamental, acompañada por otras frecuencias, que son llamadas sobretonos o armónicos, los cuales son de gran utilidad en el campo de la música dentro de la afinación exacta de los instrumentos musicales.

C. Timbre.

Es la capacidad de identificar el mismo sonido emitido por fuentes distintas. Esto es debido a la forma de ondas sonoras. En el caso de un violín que emite un sonido de 440 Hz. de frecuencia, es distinta la forma de onda a la frecuencia emitida por un piano con 440 Hz. Dependen factores como materiales, otro tipo de cuerdas, temperatura, aire etc. Así mismo, nuestro oído es capaz de distinguir dos sonidos de la misma intensidad y la frecuencia misma, aún cuando las formas sean distintas. Se provoca el mismo fenómeno en la voz humana, por esto distinguimos las diferentes voces, dependiendo de cada persona. Pero después del diapasón y la intensidad, el timbre es la tercera experiencia de los tonos musicales. Al hablar de timbre identificamos vocales, instrumentos musicales, ruidos de nuestro entorno, ¿Y preguntarse cuáles son los parámetros a seguir para distinguir un buen timbre? Lo importante sería la amplitud de los armónicos.

Hace más de un siglo, Helmholtz dio una definición acerca del Timbre: "...timbre es la propiedad de la sensación del auditorio en términos de que un receptor puede juzgar que dos estados invariables (constantes) de dos tonos complejos que tienen la misma intensidad y tono (diapasón)son similares..."

Los sonidos no pueden ser ordenados con respecto a una sola escala, en lo que al timbre respecta; el timbre es un atributo multidimensional de la percepción de los sonidos. La búsqueda dimensional del timbre, nos lleva a la ordenación de los estímulos, en las dimensiones de un espacio del timbre.

Ahora bien, Von Bismark (1974) dio un ejemplo de la búsqueda dimensional de los tonos, su conjunto de estímulos contenía un gran número de tonos y ruidos estimulantes. Así definió los factores más importantes:

c.1) Agudeza, sutileza. Determinada por un aspecto de energía que tiene su punto de gravedad en la región alta de la frecuencia.

c.2) Solidez (densidad), factor que permite distinguir los aspectos tonal (compacto) y ruido (no compacto) del sonido.

Se ha de tener muy en consideración distinguir los aspectos tonal (compacto) y ruido (no compacto) del sonido.

El timbre permite obtener diversas reacciones muy determinantes en un público y en un determinado auditorio, de la misma manera se ha de cuidar que el tiempo de caída de un sonido permita la claridad de los timbres, cuando exista más de una fuente sonora en el escenario y con generación diversificada de frecuencias.

No podemos hacer a un lado que para identificar un sonido, el oído capta la frecuencia más baja, a la que se le llama Frecuencia Fundamental, acompañada por otras frecuencias, las cuales son llamadas sobretonos o armónicos, los cuales son de gran utilidad en el campo de la música para la afinación exacta de instrumentos y la formación de escalas. Según algunos estudiosos de éste campo opinan que las Frecuencias Fundamentales para hombre y mujeres son:

Frecuencia Fundamental Femenina: 250 C.P.S. (Ciclos por Segundo)

Frecuencia Fundamental Masculina: 125 C.P.S. (Ciclos por Segundo)

La frecuencia fundamental es acompañada de otras, puesto que se pueden encontrar vibraciones de distinta frecuencia en un objeto. Sin embargo debemos tener muy presente que los cuerpos no sonoros (los que únicamente producen ruido, o sensaciones desagradables) no tienen Frecuencia Fundamental, o en rara ocasión llegan a tenerla, puesto que la producción de frecuencias de estos cuerpos es poco estable y definida.

3 EL HOMBRE Y EL SONIDO

3.1 El hombre y su producción sonora

3.2 Anatomía del sistema respiratorio como elemento productor del sonido en el ser humano

Desde los pulmones se impulsa una corriente de aire hacia las cuerdas vocales ubicadas en la laringe. Las cuerdas vibran a una frecuencia controlada y por su propia masa, longitud y tensión, y a su vez determinan la frecuencia de las bocanadas de aire enviadas a la cavidad bucal. La sonoridad del sonido producido depende de la fuerza con la cual se dirige el chorro de aire contra las cuerdas vocales. En el caso de las vocales se determina el timbre del sonido mediante alteraciones en la forma de la cavidad bucal y la configuración de la lengua. Las otras cavidades aéreas, tales como las del tórax, la garganta, la nariz y los senos, controlan, mediante su acción resonante, el carácter "espectral" de los sonidos producidos. Las consonantes, sean las sonoras, tales como la b o sordas, tales como la p, se obtienen dejando escapar aire en forma violenta a través de aberturas entre los labios y los dientes.

La técnica de canto pone énfasis en el mantenimiento de un tono constante y preciso durante períodos prolongados y el cuidadoso control de las cavidades resonantes involucradas en la "modulación" y emisión de los sonidos. El logro de un timbre o cualidad aceptable es uno de sus más críticos requisitos.

La gama de frecuencias de la voz humana, desde la nota grave más baja hasta la nota más alta de una triple, es de más de cuatro octavas. La gama vocal se extiende desde 80 a aproximadamente 1400 cps. Las voces excepcionales han alcanzado límites superiores a éstos.

En el campo del lenguaje, el problema primordial es el de la inteligibilidad. Los sonidos del lenguaje incluyen vocales y consonantes tanto sonoras como sordas. Las vocales presentan un espectro que es predominantemente de baja frecuencia, pero si bien llevan consigo más energía que las consonantes, contribuyen poco a su comprensión. Así, la omisión de sonidos vocales o su reemplazo por ciertos sonidos neutros tal como "uh" no perjudicaría en forma seria el significado de una frase hablada. Sin embargo, las consonantes desempeñan un papel fundamental en la acción de tornar inteligible al lenguaje y su omisión torna a una frase prácticamente incomprensible. A menudo se estudian los sonidos del lenguaje mediante oscilogramas.⁹

⁹Alexander Efron, El mundo del sonido, pp. 33 y 34

A. Consideraciones generales

Para llevar a cabo sus actividades metabólicas todas las células corporales deben tener un suministro continuo de oxígeno. Además, debe haber un mecanismo para la eliminación del dióxido de carbono, principal producto de desecho resultante de procesos químicos que se efectúan en las células. En el hombre, estas funciones son realizadas por el aparato respiratorio, que constan de una serie de pasajes, tubos y membranas de pared delgada.

B. Anatomía del aparato respiratorio

Las estructuras que componen el aparato respiratorio pueden clasificarse en vías de conducción y vías respiratorias. Las vías de conducción simplemente proveen un medio por el cual el aire puede entrar y salir del aparato. Las vías respiratorias son aquellas partes directamente relacionadas con el intercambio de gases entre el aire y la sangre.

C. Vías de conducción

Consisten en cavidades nasales, faringe, laringe, tráquea, bronquios primarios, bronquios secundarios, bronquios segmentarios y bronquiolos terminales.

3.3 Anatomía del oído como elemento receptor del sonido en el ser humano

Se hace hincapié en este capítulo tomando en cuenta la importancia que el sonido representa en el cuerpo humano.

El oído además de tener funciones auditivas, cumple con funciones de equilibrio, dividiéndose en tres partes diferentes: **Oído externo, oído medio y oído interno.**(Ver figura No. 4)

Oído externo. Se conforma de:

- Oreja (Pabellón de la oreja)
- Hélix (Borde)
- Lóbulo

FIGURA No.4



SENTIDO DEL OIDO. El órgano del sentido del oído está formado por tres partes diferentes: oído externo, oído medio y oído interno. La audición propiamente dicha tiene lugar exclusivamente en el oído interno.

A. Meato acústico externo (Conducto auditivo externo)

La oreja, el hélix y el lóbulo cumplen con la función de transmitir las ondas sonoras al oído medio e interno. A su vez, el oído externo tiene a su vez glándulas sebáceas especializadas y cerumen para evitar entrada de cuerpos extraños, formado por tejido óseo cubierto de cartílago.

* Membrana timpánica (Tímpano); membrana delgada y semitransparente formada por tejido colectivo fibroso, situada entre meato acústico externo y oído medio. En su superficie externa es cóncava recubierta de fina piel, su superficie interna es convexa recubierta de mucosa, esta puede sufrir rupturas, debido a infecciones, presión excesiva o cuerpos extraños; la salida de líquido encefalorraquídeo puede significar fractura craneal.

B. Oído medio

Se separa del oído interno por una lámina ósea, en la cual se encuentran las ventanas coclear y vestibular. Es una cámara de aire con revestimiento epitelial, enclavada en el temporal.

* La pared posterior comunica con las células mastoideas del temporal por medio del antro mastoideo (una cámara); por este las infecciones del oído medio se difunden al temporal y encéfalo.

* La pared anterior comunica con la tuba auditiva (trompa de Eustaquio), esta se conecta a la nasofaringe, de esta forma se diseminan enfermedades de nariz y garganta al oído medio. La función de la tuba auditiva es regular la presión a ambos lados de la membrana timpánica, durante el bostezo o deglución permite entrada o salida de aire, hasta igualar las presiones interna y externa, pues la presión los cambios bruscos de presión originan ruptura de tímpano.

En el oído medio se encuentran tres pequeños huesos a manera de puente: martillo, yunque y estribo; se conectan entre sí por medio por articulaciones sinoviales.

La ventana coclear se cierra por la membrana timpánica secundaria (tímpano secundario). Los huesillos se unen a la ventana vestibular y a la membrana timpánica. Es importante considerar que encontramos dos músculos importantes en los huesecillos:

1. **Músculo tensor del tímpano (músculo del martillo).** Este se une al martillo en sentido medial, y tiene como finalidad aumentar la tensión de la membrana timpánica disminuyendo la amplitud de las oscilaciones, protegiendo al oído interno de sonidos de gran intensidad.

2. **Músculo estapedio (músculo del estribo).** Es el más pequeño de los músculos esqueléticos (estriados) del organismo; tiene por función tirar del estribo en sentido posterior, disminuyendo la escala de oscilaciones de este hueso, previniendo movimientos excesivos; bloquea vibraciones de sonidos de gran intensidad. La parálisis del músculo estapedio se relaciona con la HIPERACUSIA, o sensibilidad mayor de la normal (agudeza).

C. Oído interno

También es llamado laberinto, por la complejidad de sus canales; se divide en dos canales (divisiones): laberintos óseo y membranoso. (Ver figura No.5).

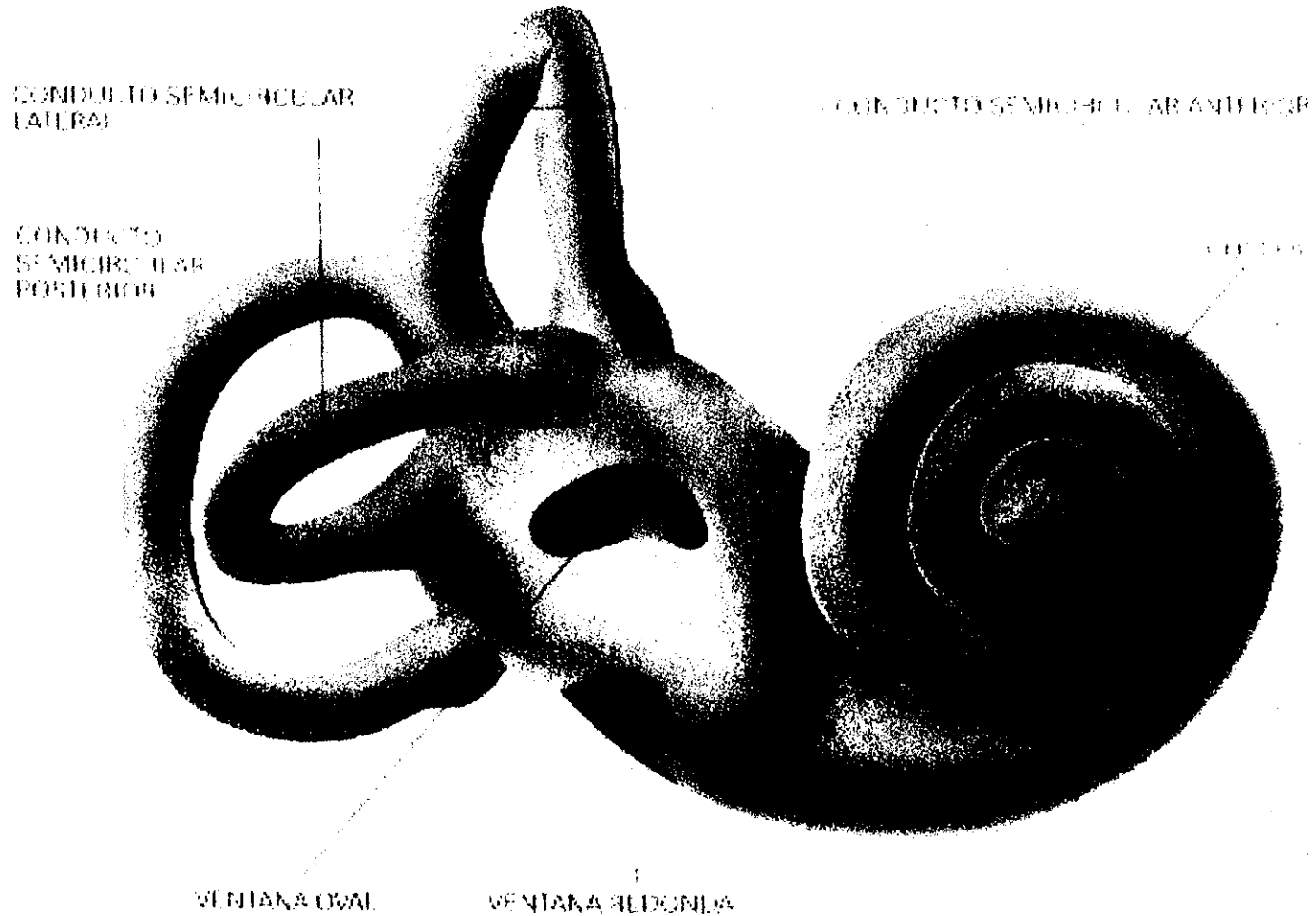
El laberinto membranoso se encuentra dentro del laberinto óseo; el laberinto óseo a su vez está formado por cavidades de la porción petrosa (petromastoidea) del hueso temporal, se divide en tres áreas: vestíbulo, cóclea (caracol) y canales semicirculares óseos. Se puede observar que el laberinto óseo tiene recubrimiento de perióstilo, el cual contiene un líquido llamado perilinfa. Esta perilinfa cubre el laberinto membranoso compuesto por tubos y sacos por dentro del laberinto óseo con la forma general de este.

Por su parte, el laberinto membranoso está recubierto de epitelio, conteniendo el líquido llamado endolinfa.

El vestíbulo, es la porción central del laberinto óseo; la parte del laberinto membranoso incluida en él, se forma en dos sacos: utrículo y sáculo, conectados por un pequeño conducto.

Canales semicirculares, en sentido postero-superior, en total forman 3 en ángulo recto entre ellos, parten desde el vestíbulo; por su forma tienen terminación en ampollas (ensanchamientos); los conductos comunican con el utrículo.

FIGURA No.5



OIDO INTERNO .En los conductos semicirculares del oído interno se asienta el sentido del equilibrio; estos conductos se hallan repletos de linfa, movimientos de la cual estimulan a células sensibles que transmiten señales eléctricas al cerebro para mantener la estática del cuerpo. En la cóclea se asienta el sentido de la audición.

La cóclea, ubicada delante del vestíbulo, forma un canal de 2 3/4 de vueltas alrededor del mediolo, el cual es un pilar ósea central. El corte transversal muestra una división en canales en forma de letra Y; la línea vertical es un tabique óseo, mientras que las ramas son prolongación del tejido membranoso. Por arriba de la lámina ósea se sitúa la escala vestibular y por debajo de ella la escala timpánica. La cóclea termina en la pared del vestíbulo, donde se abre la escala vestibular, la que a su vez termina en la ventana coclear.

La perilinfa y la escala vestibular están en contacto directo, y en este caso nos referimos a la perilinfa del vestíbulo.

El tercer conducto entre las láminas de la Y es el conducto coclear, formado por el laberinto membranoso el cual se separa de la escala vestibular por la pared vestibular del conducto coclear -membrana vestibular de Reissner- y se separa de la escala timpánica por la lámina basilar.

Organo espiral (o de Corti). Es el de la audición, y consiste en células epiteliales de la cara interna de la lámina basilar. Sobre la lámina basilar se localizan células de soporte y células pilosas, funcionan como receptores auditivos. (Ver figura No.6)

Células pilosas internas, en sentido medial, forman un hilera a lo largo de toda la cóclea.

Células pilosas externas, tienen prolongaciones filiformes, en extremos libres, haciendo contacto con la endolinfa del contacto coclear, aunque en los extremos basales hacen contacto con la porción coclear del nervio vestibulococlear.

La membrana tectoria sobre estas células, es delicada, flexible y gelatinosa.

Mantendremos como punto importante que las células pilosas se lesionan fácilmente ante el ruido de motocicletas o de aeronaves y en caso de música con alta intensidad. Por ruido llegan a perder su disposición organizada, o degeneran ellas mismas o hasta las células de soporte. (Ver figura No.7)

En cuanto a la influencia de las ondas sonoras en el oído humano, se comentará más adelante con mayor detalle para entender sus efectos en bases a referencias obtenidas, sin embargo haremos un breve comentario al respecto.

El oído tiene agudeza para sonidos considerados entre 1000 a 4000 Hz, extendiéndose a 20 000 Hz. El oído puede cambiar variaciones hasta de 1 dB. El umbral de sonido, rango en que el oído joven percibe un sonido en un ambiente silencioso, es de 0 dB (aunque habría que considerarlo de sobremanera a condiciones bajo las cuales vivimos actualmente), considerando el umbral de dolor entre los 115 y 120 dB.

D. Fisiología de la audición

1. La oreja transmite el sonido que llega en dirección al meato acústico externo.

2. La vibración llega a la membrana timpánica; las ondas sonoras llevan consigo la compresión y descompresión del aire, el que origina el movimiento de la membrana; esta ocupa poco espacio al vibrar, por lo que la fuerza y la velocidad de esta tienen relación con las moléculas de aire. Ante sonidos de baja frecuencia su vibración llega a ser lenta, y ante sonidos de alta frecuencia su vibración es rápida.

3. La vibración del tímpano pasa al martillo, posteriormente al yunque y al estribo.

4. La oscilación del estribo provoca un movimiento hacia afuera y hacia adentro, si las ondas sonoras pasaran directo a la ventana oval, sin hacerlo por la membrana timpánica sin pasar a su vez por los huesecillos, sería inadecuada la percepción. La energía sonora suficiente para la transmisión de ondas homónimas es mínima. El tímpano tiene una superficie mayor a la de la ventana oval, 22 veces mayor, por lo que percibe 22 veces más energía, suficiente para la transmisión de ondas sonoras a la perilinfa de la cóclea.

5. El movimiento de la ventana vestibular ocasiona un movimiento ondulatorio de la perilinfa, sufriendo un desplazamiento.

• (Información: Principios de anatomía y fisiología. Gerard J. Tórtora. Ed. Harla, México. 1989. pp. 484-488. Ilustraciones: pp. A-79 a A-83).

6. Al moverse hacia adentro la ventana vestibular, la escala vestibular es empujada hacia la cóclea.

7. Aumenta la presión empujando la membrana vestibular hacia adentro, aumentando así mismo la presión de la endolinfa, en el conducto coclear.

8. La lámina basilar cede ante la presión, y sobresale en la escala timpánica.

9. El aumento de presión de la escala timpánica, empuja la perlinfa hacia la ventana coclear, de modo que esta sobresale en el oído medio. Cuando los sonidos disminuyen, el estribo se desplaza en sentido contrario, siendo el fenómeno opuesto.

10. Cuando la lámina basilar vibra, las células pilosas se vuelven contra la membrana tectoria. Esto origina potenciales generadores que dan como resultado impulsos nerviosos. Los diferentes tonos que percibimos guardan relación con la frecuencia de las ondas sonoras, provocando diversas vibraciones en la lámina basilar, así como en diversas zonas de esta. La lámina basilar es menos flexible en la base (área de la ventana oval), vibrando en esta región la lámina basilar ante la presencia de sonidos graves. En cuanto a la intensidad percibida de las ondas sonoras, mientras mayor es la intensidad de las ondas sonoras, mayor es la vibración de la lámina basilar

La frecuencia y la intensidad son **magnitudes audibles**, sin embargo la sonoridad es una escala **subjetiva**; de esta manera, un sonido de frecuencia fija cuya intensidad se aumenta, no altera la sección de la membrana basilar, pero sí la magnitud del estímulo, de esta manera "mientras más intenso es el sonido, mayor sensación de sonoridad"¹⁰. De la misma manera los sonidos de mayor intensidad pueden ocasionar el efecto de cambio de tono en el oído al involucrar más células pilosas, como sucede con la variación de frecuencia vinculadas con la respuesta de intensidades diferentes.

En el caso de estos sonidos, el efecto resulta ser similar cuando se escucha un silbato que emite un sonido de frecuencia constante y cuya intensidad se aumenta paulatinamente, se notaría que cambia su tonalidad, pero solo ha cambiado el efecto de sonoridad en el oído, no su tono. Esto puede suceder en otras circunstancias en los

¹⁰"El mundo del sonido", A. Efron/p.29

(Información: Principios de Anatomía y Fisiología. Gerard J. Tortora. pp. 489-490. Ilustraciones: pp.A-82 a A-83)

cantantes de opera, quienes dominan una mayor cantidad de técnicas para sostener una determinada nota musical con variedad de intensidad sonora.

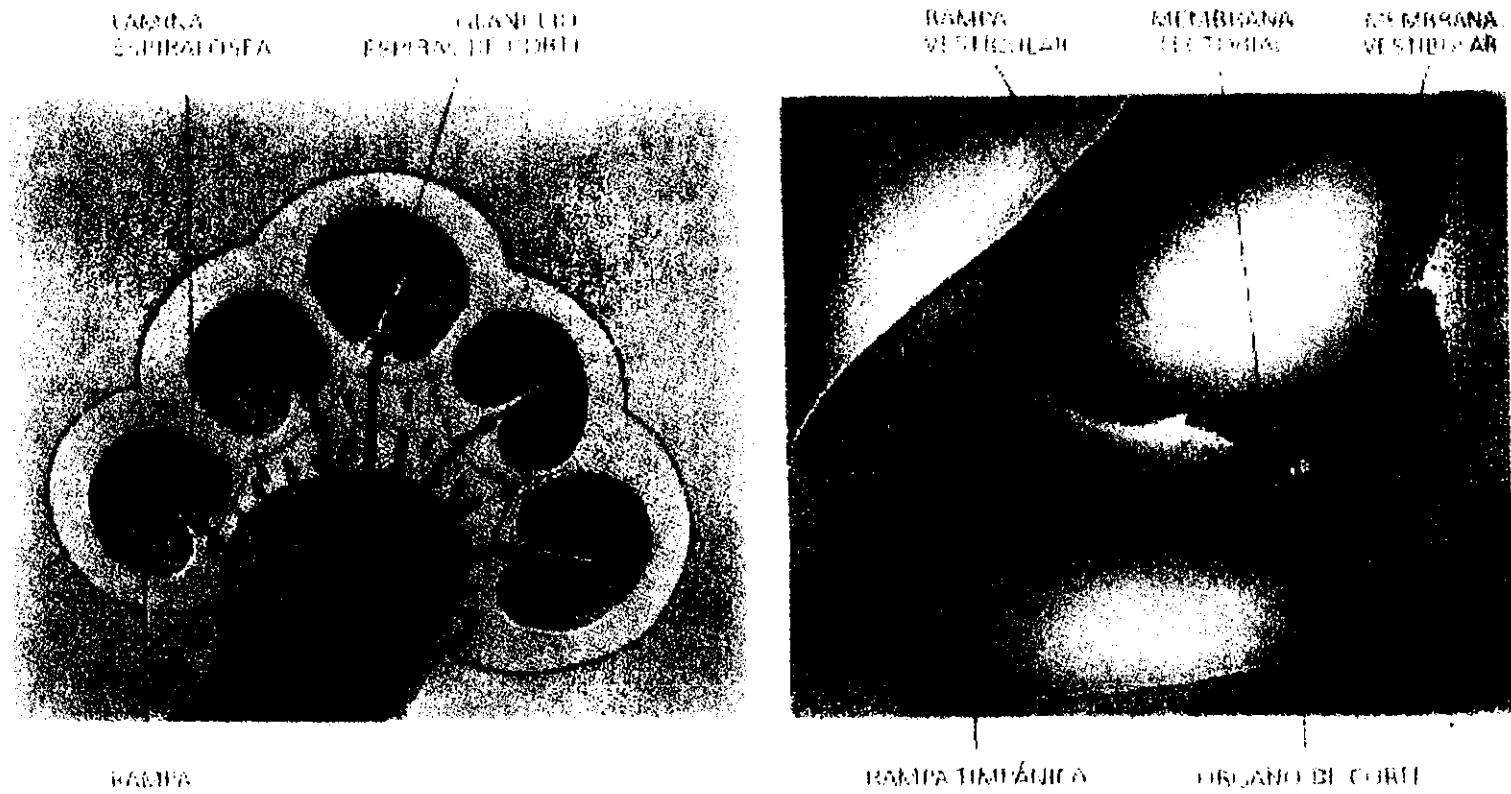
Esto es lo que establece la relación entre tono y sonoridad. ¹¹

Por otra parte, la **"Teoría del Lugar"** muestra la respuesta de la membrana basilar ante diversos tonos, los tonos bajos llegan casi al vértice de la cóclea, mientras los tonos altos se acercan al tímpano; esta localización permite al oído identificar diversos tonos.¹²

¹¹Ibid. P. 29 y 30

¹²Ibid. P. 28

FIGURA No.6



SENTIDO DE LA AUDICION. El caracol lo forman unas rampas espiroideas , entre las cuales está el órgano de Corti en el que se hallan las células sencibles a las vibraciones producidas por los sonidos.

FIGURA No.7



SENTIDO DE LA AUDICION. Las células acústicas se comprimen al ritmo de las ondas vibratorias y emiten las señales apropiadas hacia el sistema nervioso central, donde serán integradas y transformadas en sonidos consistentes.

E. El sonido y el Cerebro

Al involucrar los estímulos que el sonido puede provocar en el sistema nervioso, se hace en este punto una referencia de la ubicación del sentido auditivo en el cerebro humano.

El oído se encuentra ubicado dentro de la clasificación de los nervios correspondientes a la cabeza y el cuello, los que a su vez se localizan en la totalidad de los nervios craneales, ya que "se distinguen doce pares de nervios craneales numerados del I al XII, según su orden de emergencia en la superficie del encéfalo y su orden de salida de la cavidad craneal."¹³

Desde el punto de vista fisiológico, los nervios craneales son divididos en tres categorías:

1. Nervios sensoriales (Nervio olfatorio, óptico y auditivo)
2. Nervios motores (Nervio motor común, patético, motor ocular externo, espinal e hipogloso)
3. Nervios mixtos o sensitivomotores (Trigémino, facial, glossofaríngeo y neumogástrico)

De los tres nervios sensoriales, los nervios olfatorio y auditivo, son comparables a la parte sensitiva de un nervio mixto.¹⁴

De esta manera, el sentido auditivo pertenece a los nervios del VII par craneal con el nombre de nervio auditivo, dividido en dos funciones:

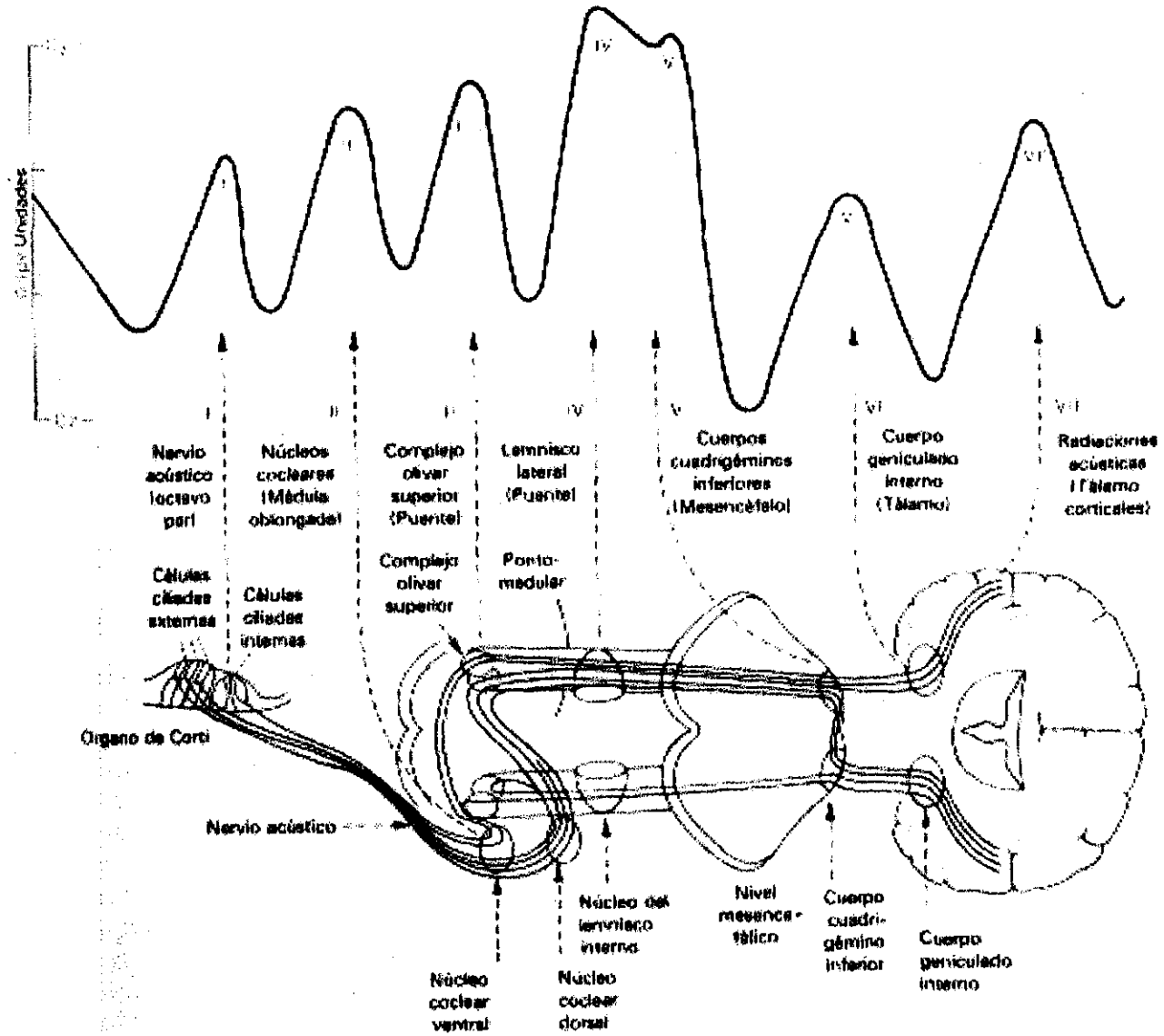
1. Nervio vestibular, con su origen en el borde inferior de la protuberancia, el cual tiene salida por el conducto auditivo interno, con la **función sensitiva de equilibrio**.
2. Nervio coclear, con origen en el borde inferior de la protuberancia, teniendo salida por el conducto auditivo interno, con una **función sensitiva de audición**.¹⁵(Ver figura No.8)

¹³"Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional", H. Rouvière/p. 257

¹⁴Ibid. P. 257

¹⁵"Anatomía y fisiología humana", S. Jacob/p. 290

FIGURA No.8



Registro gráfico esquemático de la audiometría mediante respuestas suscitadas en el tallo encefálico y que indica los niveles del sistema nervioso central donde surgen los diferentes tipos de ondas.

No es la finalidad de esta investigación el profundizar en el estudio de la relación neurológica del oído, pero no puede pasar desapercibido al ser una fuente tan importante de estímulos en nuestro cuerpo, estímulos tan importantes como la percepción de la música que en su infinidad de combinación de sonidos diversos puede provocar efectos positivos en un individuo, a tal grado que se ha llegado al empleo de esta como herramienta en terapias desarrolladas en el campo de la psicología y la psiquiatría. En el lado opuesto el ruido y la combinación de ciertos sonidos que resultan desagradables al oído, causan estragos en la personalidad y en la actividad humana, aspecto que se estudiará con mayor apreciación posteriormente.

CAPITULO 3

LA ACÚSTICA EN LA ARQUITECTURA

1 Antecedentes históricos de la Acústica y su aplicación en la Arquitectura

"... Es de suponer que los griegos habían estudiado la arquitectura acústica, pues a la fecha existen varios teatros que son sorprendentes por su perfecto diseño acústico, en lo que se refiere al lugar donde se colocaba el cantor (persona encargada de narrar la historia de los que se representaba), sin embargo no se conservan escritos de la época que traten del tema..."

El primer trabajo sobre arquitectura acústica se debe a Marcos Vitrubius Pallio, un ingeniero y arquitecto romano del cual se desconocen sus datos personales, pero que alrededor del año 25 a.C. publicó sus estudios y trabajos sobre la acústica de los teatros clásicos en diez tomos llamados *De Architectura*, los cuales se han conservado hasta la fecha (Ten Books on Architecture. Dover Publications, Inc.. N.Y.), en donde él mismo manifiesta que se basó en gran parte en trabajos del griego Aristoxenus.

El teatro griego y romano clásico eran construcciones en donde el espectáculo se realizaba al aire libre, lo que hacía que las representaciones dependiesen en gran medida de las condiciones climáticas.

"...La acústica de los espacios cerrados ha tenido una gran importancia desde que el hombre aprendió que era más cómodo reunirse en recintos cerrados, ya fuese con fines religiosos, de diversión, etc..."

El diseño de los auditorios, teatros, aulas, y otros espacios realizados por los griegos, se llevaron a cabo por experiencia, guiándose por supersticiones, provocando que los constructores guardaran sus "fórmulas", siendo transmitidas estas a unos cuantos "iniciados".

Sabine reemplaza toda una serie de supersticiones por claros conocimientos físicos y fórmulas basadas en exhaustivos estudios llevados a cabo en un cuarto que tomó como referencia al ser requerido por la corporación Harvard para realizar un estudio y una propuesta ante los problemas del salón Fogg del Museo de arte, en Harvard. Sabine

obtiene la relación entre el tiempo de reverberación, las dimensiones físicas y la cantidad de material absorbente, presentes en el cuarto.

No fue sino hasta que Sabine realizó un estudio sistemático y cuantitativo cuando todo el cúmulo de secretos y supersticiones al respecto comenzaron a ser reemplazados por fundamentos firmes basados en conocimientos científicos.

Wallace Clement Sabine (1868-1919) físico estadounidense y miembro del departamento de física de la Universidad de Harvard desde 1889 hasta su muerte, fue requerido por la Corporación Harvard para que estudiara e hiciera las proposiciones de modificaciones para remediar la mala acústica del auditorio del museo de arte Fogg en Harvard.

Mediante un estudio experimental exhaustivo acerca de las propiedades acústicas de un cuarto, al cual dedico el resto de su vida, Sabine obtuvo su famosa relación entre el tiempo de reverberación, las dimensiones físicas y la cantidad de material absorbente presente en el cuarto.

A la unidad de absorción se le dio el nombre de Sabine en honor a él.

El definió el tiempo de reverberación T como el tiempo requerido para que un sonido de intensidad de 60 db disminuya su intensidad a 0 db, con algunas modificaciones, este criterio se sigue empleando como el parámetro más importante a medir para juzgar la calidad acústica de un recinto cerrado.

La ecuación de Sabine para calcular el tiempo de reverberación en un cuarto cerrado es

$$T.R. = \frac{0.161 V}{a} \text{ (sistema métrico)}$$

$$T.R. = \frac{0.049 V}{a} \text{ (sistema inglés)}$$

En donde V es el volumen del cuarto, y a implica la capacidad de absorción de energía acústica del mismo.

La deducción teórica de esta ecuación se hace, generalmente basándose en conceptos de acústica arquitectónica geométrica o de rayos (de forma similar a la óptica geométrica), en la cual, se supone que la energía emanada de una fuente dentro de un cuarto, viaja desde la fuente hacia el cuarto mediante rayos divergentes.

Un rayo al chocar, contra las paredes del cuarto, es parcialmente reflejado y parcialmente absorbido.

Después de que han ocurrido un cierto número de reflexiones puede suponerse que el sonido dentro del cuarto se ha vuelto "difuso", es decir que la densidad de energía \bar{E} tiene el mismo valor en todo el volumen del recinto, y que todas las posibles direcciones de propagación son igualmente probables.

Esta teoría sobresimplifica el comportamiento real de las ondas acústicas dentro del cuarto, particularmente a bajas frecuencias, ya que desprecia por completo factores tan importantes como los modos normales de vibración del recinto, la localización de los materiales absorbentes, los fenómenos de interferencia y de difracción y todos los parámetros relacionados con la geometría del recinto, los cuales son bastante importantes pues pueden producir fenómenos de afocamiento, interferencia, etc.

Sin embargo, la aplicación de la teoría desarrollada por Sabine conduce a conclusiones que, en general, son válidas.

Como esta aproximación es bastante simple, es la que primero se usa para hacer una estimación de la calidad sonora de un recinto.

En un párrafo anterior se mencionó el hecho de que al tener una fuente sonora simple dentro de un cuarto, los "rayos" de sonido producidos por la misma son parcialmente reflejados y parcialmente absorbidos cada vez que chocan con las paredes del recinto y, consecuentemente, las ondas de la fuente hacia cualquier punto en particular del cuarto son seguidas por un gran número de ondas reflejadas. Si se supone que, las fases y las amplitudes de dichas ondas están distribuidas estocásticamente entonces, la cancelación de la energía acústica en un punto determinado, debido a interferencias destructivas, es prácticamente despreciable.

Si la fuente se mantiene operando en una forma continua, entonces la intensidad acústica alcanzada en cualquier punto del recinto aumenta a valores mayores que los que se alcanzarían estando al aire libre o en un recinto muy grande. Esta ganancia en la intensidad puede llegar hasta más de diez veces el valor de la fuente.

Para cualquier recinto, esta ganancia es directamente proporcional al tiempo de reverberación por lo que, si tenemos una fuente sonora débil es deseable tener cuartos con tiempos de reverberación grandes.

Si una vez que se ha alcanzado la completa difusión del sonido dentro del cuarto se corta la fuente de sonido, la recepción directa del sonido a lo largo de una trayectoria cualquiera, cesa después de un cierto intervalo de tiempo dado por

$$t = d/c$$

siendo d la distancia entre la fuente y el punto en cuestión.

Sin embargo, las ondas reflejadas continúan arribando al punto de observación en la forma de una rápida sucesión de ondas orientadas al azar con una intensidad que decrece gradual y uniformemente.

La presencia de esta energía acústica reverberante tiende a enmascarar el reconocimiento inmediato de una nueva fuente de sonido, a menos que este se produzca después de un cierto tiempo, requerido para que la intensidad de las ondas reflejadas decaiga entre 5 y 10 db por debajo de su valor inicial (esto no implica que se deje de escuchar el sonido anterior sino que se podrá reconocer un nuevo sonido).

Dado que el tiempo de reverberación es una medida directa de la persistencia de dichos sonidos, es obvio que si se desean minimizar los efectos de enmascaramiento, debe procurarse que los tiempos de reverberación sean lo más cortos posible.

Por lo tanto, para un recinto dado, la elección del mejor tiempo de reverberación deberá de ser un compromiso entre estos dos casos extremos.

Otro factor acústico importante que debe de ser tomado en cuenta para el diseño de un cuarto o de cualquier otro tipo de recinto cerrado, es la cantidad de protección que este deberá de tener contra los sonidos externos, con el fin de evitar enmascaramientos y otro tipo de molestias.

El factor más importante en este caso es el fenómeno de transmisión de sonido a través de las paredes y el piso, se debe de hacer notar que muchas de las medidas que se toman para reducir el tiempo de reverberación del recinto pueden servir a su vez, para disminuir notablemente la transmisión por la estructura del mismo.

2 ACUSTICA DE RECINTOS CERRADOS

2.1 Aumento de la Intensidad Sonora en un Cuarto Vivo (Teoría Clásica de Rayos)

Al momento de usar una fuente sonora dentro de un recinto, en forma continua, la absorción propia del medio y la debida a las paredes del mismo hacen que la intensidad acústica dentro del recinto no llegue a valores muy grandes (infinito).

En el caso de cuartos pequeños, la absorción debida al medio es prácticamente despreciable, quedando tan solo la debida a las paredes.

Si esta capacidad de absorción es grande, entonces la intensidad alcanza rápidamente un valor final el cual, para cualquier punto, es ligeramente mayor al producido directamente por la fuente, en este caso se dice que el cuarto es un "cuarto muerto" o amortiguado.

Si la capacidad es muy grande, idealmente infinito, entonces las condiciones se asemejan a las del aire libre o sea que no existe ninguna reflexión y por lo tanto solo se medirá el valor de la fuente, en este caso se dice que el cuarto es un cuarto sobreamortiguado o anecoico.

Si, por el contrario, el poder de absorción es pequeño, el aumento en la intensidad se efectúa lentamente, tomando un cierto tiempo para alcanzar su valor final, en este caso el valor final será bastante mayor que el obtenido directamente de la fuente y entonces se dice que se trata de un "cuarto vivo" o sonoro.

Si esa capacidad de absorción es muy pequeña, idealmente cero, entonces el valor final será muy grande y se dice que se trata de un cuarto reverberante.

Se dijo que, al dejar una fuente en un cuarto funcionando constantemente, se alcanza, debido a las múltiples reflexiones, una distribución uniforme de intensidad con direcciones al azar. Si la fuente empleada emite a una sola frecuencia se pueden general (y de hecho ocurre) patrones de ondas estacionarias, las cuales presentarán una gran variación en intensidad para distintos puntos. Por lo tanto, si se asegura que la emisión de la fuente se efectúe en una gama amplia de frecuencias, al menos de media octava, se puede fácilmente eliminar este problema.

2.2 Tiempos ideales de reverberación en recintos cerrados

VALORES TIPICOS DE TIEMPOS DE REVERBERACION

Sala de estar	0.35 seg
Estudios de emisoras (para habla)	0.3
Teatros	1.0
Estudios medianos de emisoras (para música)	1.2
Estudios grandes de emisoras (para música)	1.8
Grandes salas de conciertos	1.8

TIEMPOS DE REVERBERACION DE LOCALES CONOCIDOS

ESTUDIO O SALAS	VOLUMEN (en M³)	T.R. en seg
Estudio de emisoras para habla	1700	1.0
Estudio pequeño para música	3200	1.5
Estudio para música	5000	1.7
Estudio para música grande	6200	1.8
Royal Festival Hall, Londres	22000	1.47
Usher Hall, Edimburgo	16000	1.65
Beethovenhalle, Bonn	15700	1.7
Carnegie Hall, Nueva York	24300	1.7
Royal Opera House, Londres	12300	1.1
La Scala, Milán	11200	1.2
Metropolitan Opera House, Nueva York	19600	1.2

2.3 Ondas estacionarias en cuartos

Contra lo que podría pensarse, un recinto pequeño presenta más dificultades acústicas que una gran sala de conciertos. La principal de las dificultades se debe a las frecuencias de resonancia del local, o sea a la formación de ondas estacionarias. (Ver figura No.9)

A. Modos axiales

Como su nombre lo indica son los modos en que la onda estacionaria que se forma depende únicamente del rebote del sonido entre dos paredes una frente a la otra en una sola dimensión (movimiento unidimensional) o sea que dependen del largo o del ancho o de la altura exclusivamente.

B. Modos tangenciales

Los modos tangenciales son aquellos en donde la onda estacionaria involucra a dos de las dimensiones del cuarto (movimiento bidimensional) ya sean el largo y el ancho, el largo y la altura o el ancho y la altura.

El caso del movimiento tangencial no es armónico ya que los sobretonos no son siempre un múltiplo entero de la fundamental.

C. Modos oblicuos

La onda estacionaria formada en estos modos involucra a las tres dimensiones en conjunto (movimiento tridimensional).

Se debe de tener mucho cuidado en la colocación de las fuentes sonoras, mobiliario y demás cosas que se colocan dentro del cuarto, ya sea para impedir la formación de estas ondas estacionarias o bien para poder atenuar las que se formen.

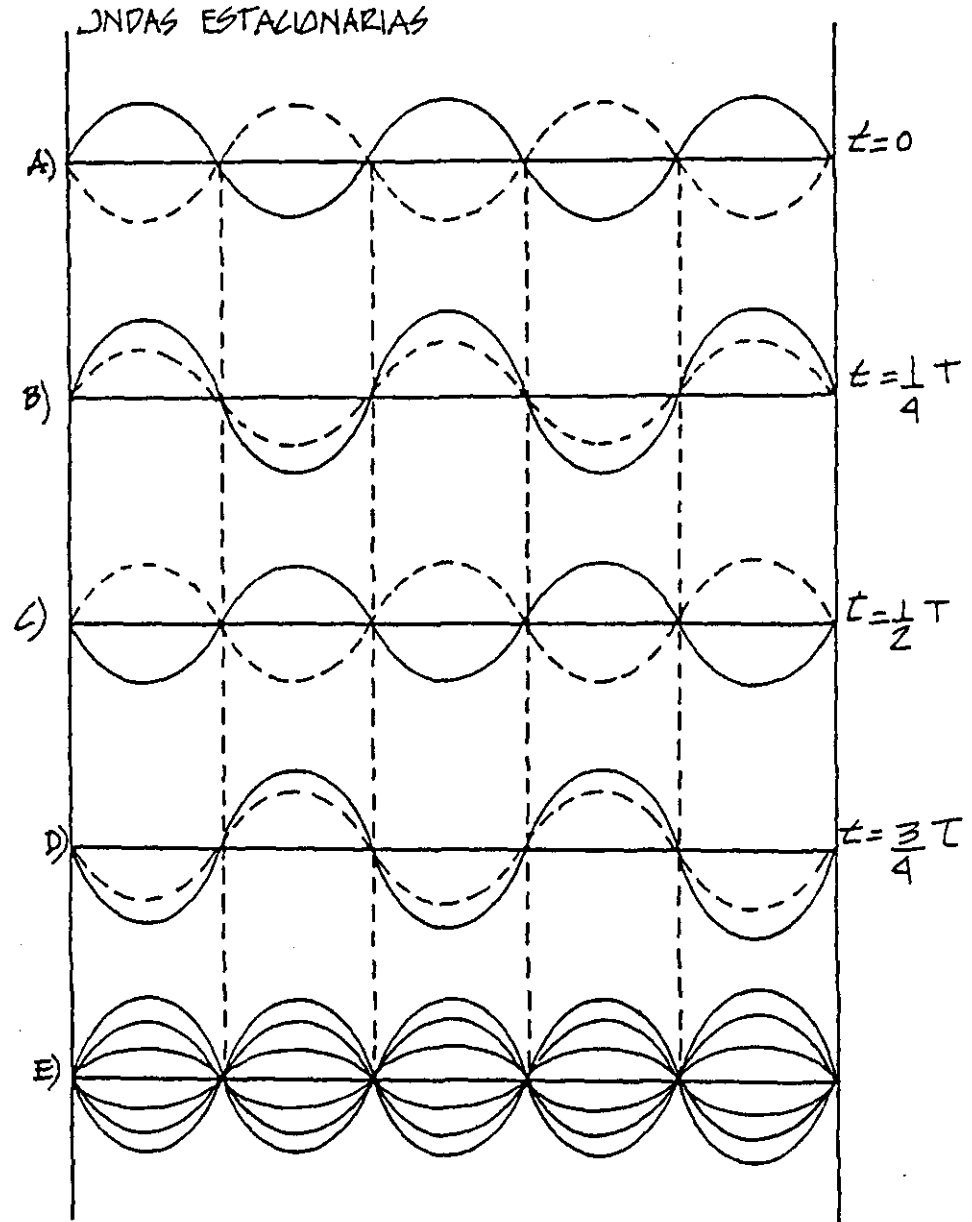
Para salas grandes las frecuencias fundamentales se encuentran por debajo del límite audible, por lo que no es tan importante su cálculo, aunque siempre es recomendable hacer algunos para estar seguros de que no van a afectar al sonido generado en ellas.

FIGURA No.9

ONDAS ESTACIONARIAS

La distancia entre nodos alternados o antinodos en una onda estacionaria es una medida de la longitud de ondas de las ondas componentes.

Un pulso que incide como una cresta se refleja como un valle propagándose con la misma velocidad en la dirección opuesta y viceversa.



Una vez que se han establecido los modos de vibración del local, se procede a medir los tiempos de reverberación a diferentes frecuencias para establecer su calidad acústica, si estos valores se apartan bastante de los valores deseables expresados en la tabla anterior entonces se procede a colocar material absorbente, ya sea en las paredes, techo o piso para tratar de alcanzar el valor deseable.

La sillería o butacas deberán de ser recubiertas con un material absorbente de tal forma que presenten una absorción similar al de una persona, esto con el fin de que el tiempo de reverberación del local no dependa del número de asistentes al espectáculo.

A continuación, en la tabla siguiente se presentan algunos materiales comunes y sus coeficientes de absorción.

2.4 Materiales acústicos y su influencia en el tiempo de reverberación

COEFICIENTES DE ABSORCION

MATERIAL	ESPEJOR	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Yeso acústico	2.5	0.05	0.1	0.15	0.15	0.2	0.25
Lana de vidrio	10	0.45	0.75	0.8	0.85	0.9	0.85
Espuma flexible de poliuretano	5	0.25	0.5	0.85	0.95	0.9	0.9
Espuma rígida de poliuretano	5	0.2	0.4	0.65	0.55	0.7	0.7
Tablero de fibra perforado	5	0.35	0.75	0.85	0.7	0.45	0.25

Alfombra turca	1.5	0.1	0.25	0.5	0.65	0.7
Planchas de corcho	1.4	0.5	0.15	0.25	0.25	
Cortinas (ligeras)	0.04	0.11	0.3			
Cortinas (pesadas)	0.01	0.5	0.82			
Persona en el auditorio, sentada en butaca tapizada	2.0	4.3	5.0	5.0	5.5	5.0

2.5 Aislamiento del sonido

Hasta ahora se ha estudiado la forma de asegurar que el sonido dentro de un recinto sea lo mejor posible tanto para el público como para la fuente sonora, evitando la formación de ondas estacionarias, adecuando los tiempos de reverberación, etc.

Sin embargo, la civilización y el avance tecnológico ha hecho que cada vez sea más difícil el encontrar un entorno silencioso tal que se pueda asegurar que ningún sonido externo podrá penetrar al recinto en estudio. La solución a este problema es en general difícil de alcanzar y bastante costosa y se refiere al aislamiento del sonido del recinto.

El sonido externo que puede afectar al local que se desea aislar es de dos tipos; el primero es el sonido transmitido por el aire, el cual puede ser directo y que consiste esencialmente de sonido externos que pueden penetrar al recinto por una ventana abierta, una puerta mal cerrada, un ducto de ventilación mal diseñado, etc. O indirectos como un avión que pasa y hace vibrar los vidrios de la ventana, las puertas, etc.

El otro tipo lo constituye el sonido de impacto, es decir, sonidos que son transmitidos por la misma estructura del recinto, entre estos sonidos están por ejemplo, los ruidos de cerca, el ruido de maquinaria, etc. Estos sonidos se transmiten por las paredes, piso y techo del local y son los más difíciles de poder controlar.

A. Reducción de ruido transmitido por aire

La eficacia de una pared para aislar del sonido se expresa en decibles .
Y que es conocido como el Factor de Reducción Sonora (Sound Level Reduction)

1 Paredes

Para un ruido transmitido por el aire, el factor de reducción que proporciona una pared de ladrillo sin recubrir es de aproximadamente 15 db., si se recubre la pared con yeso el factor aumenta hasta casi 40 db, esto muestra lo importante que es el hecho de disminuir la porosidad de la pared para atenuar al sonido que se transmite por el aire.

La vibración de una pared de ladrillo depende de varios factores, como son la masa, el espesor, la elasticidad y la densidad del material. En la práctica el más importante es la masa, sin embargo se encuentra que el doblar la masa solo aumenta el factor de reducción en 5 db, lo que implica que si se desea una reducción grande, de 50 db o más, el resultado sería el tener estructuras casi imposibles de construir a nivel práctico ya que se exigirían paredes demasiado pesadas y costosas.

Afortunadamente, empleando métodos discontinuos, es posible obtener factores de reducción grandes usando estructuras ligeras. El método más empleado consiste en colocar una doble pared lo cual no solo sirve para aislar del ruido sino también de los cambios climáticos.

El espacio existente entre las dos paredes es bastante importante si solo existe aire entre ellas pues entre más separadas estén será mejor el aislamiento, esto a menudo resulta impráctico por lo que, en general, se acostumbra rellenar el espacio entre las mismas con material absorbente como fibra de vidrio, algodón laminado, fibra de coco, etc.

Las paredes deben estar separadas mecánicamente para lograr un adecuado aislamiento sonoro. En las construcciones antiguas, donde el muro juega un importante papel de sustentación estructural, es difícil alcanzar este tipo de aislamiento, sin embargo, en las construcciones modernas donde las cargas se distribuyen a través de las losas, y columnas es más fácil diseñar sistemas de dobles muros alcanzando hasta un aislamiento de 80 db.

2 Ventanas

Las ventanas son el punto más débil dentro de los recintos ya que desempeñan funciones psicológicas, de iluminación y de ventilación.

El vidrio común que se emplea para el diseño de las ventanas llega a alcanzar hasta un aislamiento de 20 db, así como el vidrio laminado que puede lograr un aumento de aislamiento de 5 db más. Es recomendable tratar de integrar sistemas de ventilación e iluminación especiales para evitar el uso de ventanas, sin embargo, cuando estas son necesarias se recomienda diseñarlas mediante el sistema discontinuo que permite colocar vidrios dobles o triples aislados estructuralmente entre sí, tratando de que queden cerrados lo más herméticamente posible. Este método permite un aislamiento de ruido hasta de 40 o 60 db.

3 Puertas

Las puertas presentan los mismos problemas que las ventanas, por lo que se recomienda seguir los mismos pasos en el aislamiento de ventanas, mediante puertas dobles y colocando material absorbente entre ellas.

B Reducción de sonido por impacto

Este tipo de ruido lo constituyen las pisadas, arrastre de mobiliario, maquinaria, etc., y se transmite por medio de las estructuras del edificio. Es conveniente lograr un aislamiento de las estructuras mediante métodos especiales, aunque no es posible en todos los casos.

1 Pisos

Para las partes exteriores se ha recomendado usar el linóleo como recubrimiento el cual permite un aislamiento de hasta 3 db, por otro lado, la alfombra de al menos 1 cm de espesor permite una atenuación de hasta 20

db. En las zonas internas del edificio es recomendable colocar dobles pisos mediante entarimados, que se separan de la estructura, aislándolos del piso de concreto y de los muros mediante polines que a su vez estén aislados con material absorbente como el neopreno y la lana acústica. Se recomienda que el entarimado también esté alfombrado.

2 Techos

El techo del recinto a aislar también debe ser protegido contra todo tipo de ruidos. Para esto se recomienda que existan falsos techos de material absorbente que permitan la atenuación de ruidos de la estructura o de otro tipo como son sillas, escritorios -entre otros-, los cuales deben contar con soportes ahulados y/o rodamientos ahulados para evitar en la mayor cantidad posible el ruido que estos producen al moverlos.

C. Sistemas de ventilación

Otro problema en la producción de ruido son los sistemas de ventilación. Las dos causas principales de ruido en los ductos de ventilación son

- 1o. El motor
- 2o. El flujo del aire a través de las rejillas.

Para evitar la mayor cantidad de ruido producido por el motor se recomienda colocar lona corrugada tanto en el motor como en los diferentes ductos de ventilación, los cuales han de protegerse con material absorbente, ya que el ruido del motor se transmite tanto por ductos como por la estructura.

En el caso de las rejillas de ventilación, se aconseja que no haya cambios bruscos de dirección del aire y por otra parte, es preferible que se coloquen varios motores pequeños a uno grande, ya que la cantidad de ruido producido por estos es mucho menor.

En todo caso se toma a consideración la magnitud del problema, la factibilidad y el costo.

2.6 Factores acústicos en el diseño arquitectónico.

Para diseñar un auditorio, anfiteatro, sala de conciertos, el consultor en acústica debe considerar los siguientes aspectos:

A. Arribos directos.

En cualquier recinto debe existir una línea visual directa entre la fuente y el auditorio (audiencia); ha de tomarse en cuenta que la elevación de asientos contribuye con el aspecto psicológico de cada uno de los oyentes, así como también a la línea visual, no podemos olvidar el análisis de percepción de formas que afectan en el comportamiento humano. El arribo directo del sonido en cada una de las partes de nuestro auditorio permitirá la mayor claridad y entendimiento posibles.

B. Reverberación a 500 Hz.

Debe haber un balance adecuado entre arribo directo y el campo sonoro reverberante. Entramos a un campo sumamente importante dentro de la acústica, donde sin duda alguna han pasado desapercibidos en gran cantidad de proyectos arquitectónicos.

Se muestra la ecuación:

$$T = RV (1/3)$$

T= Tiempo de reverberación

V= Volumen del recinto.

R= Coeficiente acústico de uso.

La fórmula expuesta anteriormente nos permite conocer la relación tan íntima que guarda el volumen del recinto (volumen de aire) con el tiempo de reverberación, y a partir de este momento conjuntamos la reacción que el hombre tiene ante determinadas frecuencias y sonidos, los que a su vez forman efectos y atmósferas muy especiales, como anteriormente se citó en nuestro capítulo dedicado a los efectos psicológicos del sonido. Estas fórmulas permiten la estimación de ciertos límites en los criterios de diseño permitidos, ya que las condiciones varían considerablemente, al considerarse una sala de conciertos, es decir, un conferencista requiere de una reverberación que no exceda los 0.8 segundos sugiriendo un volumen de sala de conferencias $2.4 \times 10^6 \text{ m}^3$. En otra instancia, una sala de conciertos

requiere de un tiempo de reverberación que no exceda los 2 segundos, con un volumen de aire e $2.4 \times 10^6 \text{ m}^3$, volvemos a encontrar la relación directamente proporcional volumen/reverberación. Aquí resulta obvio que las mismas condiciones de reverberación conducen a un mejor uso o viceversa, el fracaso de su destino.; pero una orquesta colocada dentro de una sala de conferencias resultaría desagradablemente sobrepotente.

Suele ser una actividad compleja el hallar el tiempo de reverberación adecuado para cada actividad, y desde luego determinar el destino del espacio o proyecto en cuanto a la actividad que aquí se realice. Es además muy interesante el aspecto de las salas de conciertos, pues depende del tipo de música, tamaño del recinto y el efecto que se busca. Las salas de conciertos han de mantener un mayor tiempo de reverberación que para salas de conferencias.

Los estudios de grabación para música no clásica (Rock, Pop-Rock, Jazz, Country), requieren de bajos niveles de reverberación por la alta manipulación electrónica (reverberación artificial), como el caso de la limitación de la amplitud. El efecto de una audiencia en el tiempo de reverberación es un factor que el Arquitecto debe considerar, pues las variantes de tiempos de reverberación por audiencia pueden ser muy grandes, sobre todo en frecuencias arriba de 250 Hz.

Puede darse el caso en que un director de orquesta reciba una desagradable sorpresa al escuchar las grandes diferencias sonoras comparadas entre la sala con audiencia y durante el ensayo. Se recomienda un buen diseño de butacas perfectamente acojinadas y con perforaciones en fondo para una mejor absorción sonora, de esta manera, es mínima la diferencia de sonoridad y reverberación, pues una persona tiene casi la misma absorción que un asiento de este tipo. Cuando se busca la economía y no es posible acojinar los asientos, se sustituirá con el diseño acústico especial, equivalente al tiempo de reverberación cuando la sala de conciertos esté ocupada a dos tercios de su capacidad.

Beraneck sugiere la siguiente relación empírica entre el tiempo de reverberación y los paramentos del recinto, basándose en un estudio de salas de concierto:

$$1/T = 0.1 + 5.4 (ST/V)$$

ST. Area total del suelo de la audiencia, orquesta y coros. Es necesario tener cuidado al aplicar estos principios a espacios pequeños para verificar si cumple las diversas condiciones.

C. Calidez.

Es la comparación entre los tiempos de reverberación de frecuencias altas y frecuencias medias. Resulta de interés observar que la música barroca tiende hacia el lenguaje, mientras que la música del siglo XIX tiende hacia la música, y esto es de esperarse cuando la música barroca perseguía otro concepto y era desarrollada en cámaras, mientras que el clasicismo comenzará a desarrollarse en espacios mayores.

D. Intimidad.

La intimidad del sonido es de gran importancia tanto para el lenguaje como para la música, aunque de mayor manera para esta. La intimidad es una cualidad, y depende precisamente de los arribos reflejados inmediatamente después de la fuente principal; estos arribos, que en realidad forman lo que serían sonidos reflejados dirigidos, deben estar distribuidos uniformemente por toda la estructura. A estos arribos se les llama arribos retardados iniciales, pues es menester tener en consideración que el sonido no tiene una velocidad comparable con la velocidad de la luz, es por eso que se incluye el tiempo y la distancia para controlar los arribos, empezando de alrededor de 20 m/seg, aunque para teatros de opera se considera en 30 m/seg. Es importante hacer hincapié en este punto, pues para el caso de opera (voz humana) se está exigiendo una mayor distancia en un tiempo menor, y por lo tanto se ha de cuidar con extremo cuidado la forma y la temperatura en el ambiente.

Los arribos por laterales de las alas de los auditorios son mayores en importancia que los del centro, siempre y cuando se trabaje en planos con detalle para conocer la distribución de materiales, reflectores, diseño de plafones, ubicación de los demás materiales. Se recomienda que los reflectores lleven triplay, aunque rígidamente reforzados.

Se aconseja usar dibujos a escala del recinto, junto con su concha y sus reflectores para conocer las reflexiones emitidas; de esta manera se analiza de mejor manera un espacio evitando "sombras" o puntos críticos.

Han de considerarse las siguientes referencias para las formas arquitectónico-acústicas.

- * Evitar escrupulosamente los ecos.
- * La pared de fondo en cualquier recinto
- * La superficie plana, o cóncava mal diseñada puede ocasionar problemas.

- * Superficies grandes, planas y paralelas pueden ocasionar "aleteo" (ecos repetitivos).
- * Manejar el uso de irregularidades estructurales en superficies para dispersar las reflexiones.
- * Uso de elementos absorbentes espaciados aleatoriamente para suprimir las reflexiones y proporcionar algo de difracción.
- * En caso de usar balcones, deben ser bajos con superficies interiores con un diseño estudiado, evitando de esta manera la concentración de sonido.

De preferencia se ha de guardar pendiente aguda para que los asientos tomen buena trayectoria directa..

"...Para salas que se usan principalmente para lenguaje o música no amplificados, las hileras de asientos más cercanas a la fuente no deben subtender un ángulo, medido a partir de la fuente, de más de 120 grados, a menos que se ponga especial cuidado en prevenir arribos del techo, paredes, concha (si la hay), o superficies reflectoras especiales..."

E. Difusión, mezcla y unidad de conjunto.

Al producirse un campo sonoro en un recinto, este debe difundirse en todo el recinto, ya que se trata de un campo reverberante. Cuando se difunde se producirá una mezcla adecuada que permitirá que el sonido sea entendible y de mayor calidad tanto para el locutor y la orquesta, así como para los auditores. Pero el campo de reverberación no solo actúa sobre el público, sino que se debe cuidar el retorno reverberante hacia la zona de orquesta o donde se encuentre el locutor, ya que de esta manera se mantiene un control de la calidad del sonido que se está produciendo, sucediendo de manera análoga con el locutor, de otra forma el sonido se perdería en un vacío sónico, provocando que el locutor hable muy rápido, o muy fuerte, a su vez, el director de orquesta juzgaría como mala la acústica del lugar. El retorno reverberante permite a los músicos escucharse entre ellos.

Se recomienda que en un recinto grande el escenario no debe ser más ancho que el doble de su profundidad.

(E: Kinsler. p.420. Fund.. Acústica.)

Otros factores importantes en la inteligibilidad sonora así como el mantenimiento de una buena intensidad en todo el recinto serán:

- * Agitación del cuarto
- * Foco del cuarto
- * Sitio muerto

Agradezco de manera especial al Ing. Justino Guzmán López y a los autores del libro "Fundamentos de Acústica": Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppins y James V. Sanders, pues gracias a sus publicaciones fue posible la información que aparece en este capítulo.

CONCLUSIONES

Se han tratado en esta tesis diversos puntos que servirán de fundamento en el conocimiento de la acústica, mismos que podrán ser empleados tanto para el estudiante como para el profesionista en los diferentes proyectos que se presentan en la vida.

No se ha pretendido profundizar de gran manera para facilitar su manejo y entendimiento, por lo que le corresponde al interesado en este tipo de estudios, continuar contribuyendo al conocimiento de esta ciencia.

Como se podrá observar, se partió de la explicación de puntos muy sencillos, como el caso del movimiento armónico simple, el cual demuestra de forma clara el comportamiento de las ondas sonoras, que forman rarefacciones al moverse a través de un medio elástico, ya que el sonido no es capaz de extenderse en el vacío. De esta manera, se podrá comprender que existen tipos y formas de ondas que dependen de la fuente que las produce, así como del material del que está fabricada dicha fuente sonora. Por otra parte, cuando un cuerpo vibra sufre un efecto semejante al péndulo, moviéndose de un lado a otro, manteniendo una elasticidad que la permite recobrar su posición o forma original.

Los comportamientos de la onda sonora son posibles de observar en el agua, pues se expande en círculos en todas direcciones, mostrando de esta manera los nodos y los valles de la onda sonora. En este tipo de experimentos se puede reconocer que las ondas siguen una frecuencia determinada por la fuente sonora.

En lo correspondiente a la anatomía del oído humano se ha logrado apreciar la importancia que tiene el oído para el hombre, pues es un sentido que permite mantenernos de pie, sentados, girar, caminar y colocarnos en cualquier posición sin tener que sufrir problemas de equilibrio, una de las más importantes funciones auditivas, por otro lado da acceso a poder apreciar espacios, volúmenes de un determinado entorno, así como el identificar la direccionalidad de ciertas fuentes sonoras, como el caso de la capacidad aural del oído, el cual nos permite apreciar efectos estereofónicos en la música o la atmósfera mística en determinados espacios arquitectónicos como auditorios, salas de concierto e iglesias.

El ser humano podría vivir aún sin vista, sin olfato, o sin algún otro miembro de su cuerpo, pero logramos constatar que el oído es una herramienta de alerta, de conocimiento y de supervivencia indispensable para el hombre.

Las diversas sensaciones originadas en el cerebro, no han sido sino producto de la forma en que el oído capta y procesa la identificación de determinadas frecuencias en su interior, dando apertura a una mayor o menor magnitud de los estímulos.

El conocer los procesos de la audición bajo los aspectos de la anatomía dan a conocer otra dimensión para el profesionista permitiendo así la comprensión a mayor profundidad de diversos comportamientos sociales y sus consecuencias posteriores en una determinada comunidad.

La muestra de algunas enfermedades o complicaciones en el oído, es ejemplo del grave daño que el sentido auditivo ha sufrido por razones de contaminación, enfermedades, fármacos, así como posibles soluciones que la ciencia moderna propone ante tales problemas.

La anatomía del sistema auditivo será un punto de apoyo para alcanzar a la vez mejores propuestas arquitectónicas y ofrecer a los usuarios espacios más dignos tomando como base la naturaleza humana, lo que a su vez permitirá alcanzar un diseño más humano.

Si se comprenden los puntos explicados anteriormente, se podrá razonar con una visión más amplia el efecto del sonido en la arquitectura. Ese es el hecho que los griegos no contaban con una tecnología tan avanzada como la que nos rodea hoy en día, o los experimentos que muestran el comportamiento del sonido, sin embargo la experiencia de aquellos hombres permitió grandes avances en la aplicación de la acústica en sus construcciones. Más tarde, Sabine abrió una puerta a nuevos horizontes que hasta nuestros días continúan siendo aplicados.

En lo que a la arquitectura respecta, se considerarán vibraciones en los muros, ventanas, estructuras, pisos, techos, entre otros, que pueden provocar problemas sonoros graves, claro que ya se muestran tablas de referencia con materiales adecuados para la construcción de espacios con una absorción sonora determinada. Estos materiales han de emplearse con sumo cuidado, ya que de ellos depende que alcancemos los efectos sonoros que se persiguen ante un diseño arquitectónico.

No podemos hacer a un lado que ya se han establecido tablas del tiempo de reverberación en relación al volumen de aire de los espacios construidos, o en su caso, lo que se han de construir. El tiempo de reverberación es de suma importancia, pues de este depende de que la música sea bien percibida por cada uno de los auditores en una sala de conciertos, asimismo, la ópera, al considerarse dentro de la música, ha de contar con los elementos necesarios para que cada palabra sea comprendida sin sufrir enmascaramientos. De la misma forma sucede en las salas de conferencias, pues aún cuando se cuente con un avanzado sistema de audio, si no se ha prevenido con un adecuado diseño de la sala, será en vano contar con la más adelantada tecnología.

Como se puede ver, la acústica arquitectónica toma en cuenta toda una serie de conceptos que no se pueden separar uno del otro, pues ante todo busca una funcionalidad sonora, pero no hace a un lado el aspecto estético del espacio, así como las características estructurales. De la misma manera como se incluyen una cantidad considerable de detalles constructivos en un determinado proyecto, la acústica arquitectónica no hace a un lado aspectos como los efectos psicológicos del sonido en una sala de conciertos, el tipo de música adecuada para cada espacio, o bien, los espacios adecuados para cada tipo de música, la calidez, la intimidad y los materiales acústicos, que serán agradables a la vista y permitirán efectos sonoros que impacten la sensibilidad del ser humano.

Una vez más descubrimos que la acústica no solo contempla experimentos y complicados cálculos matemáticos, sino que aún más, ha llegado a perfeccionar el arte, logrando así que el hombre encuentre en el sonido una herramienta más para poder estabilizar su integridad como ser y desarrollarse de manera integral en la sociedad actual, tan llena de contrastes que conllevan al rompimiento del equilibrio emocional. Si dirigimos adecuadamente el sonido en el medio ambiente y en la arquitectura seguramente encontraremos nuevas expresiones culturales y artísticas que nos conduzcan a mejores alternativas de vida.

BIBLIOGRAFÍA

Tórtora, Gerard

"Principios de Anatomía y Fisiología"

5a. Edición

Ed. Harla/México, 1981

1 222 p.

Josse, Robert

"La acústica en la construcción"

Ed. G.G.,S.A., Barcelona, 291 p.

Resnick, Robert

"Física Parte I"

Compañía Ed. Continental S.A. de C.V.

México.

Guzmán López, Justino

"Escritos de Acústica"

Facultad de Ciencias, UNAM

1995

Seto, William W.

"Teoría y problemas de acústica"

Serie Mc. Graw Hill, Book Company, Serie Schaum

Neufert

"Arte de proyectar en arquitectura"

Ed. Gustavo Gilil. S.A. Barcelona

1982

Kinsler, E. Kinsler

Frey, Austin R.

Coppens, Alan B.

Sanders, James V.

"Fundamentos de Acústica"

Noriega Editores, Ed. Limusa, México,

1ª. Edición, 1990, 592 p.

Riviello Zenteno, Angelica

Croda de la Rosa, José Amado.

"Arquitectura humana"

Tesis

UPAEP, 1994, Puebla, México, 215 p.

"Plan director urbano"

Ciudad de Puebla. Gobierno del Estado de Puebla, gobierno del municipio de Puebla.

1980, Primera Edición, 548 p.

Efron, Alexander

"El mundo del sonido"

Traducción: Jorge R. Jauregui

Centro Regional de ayuda técnica

Agencia para el desarrollo internacional.

México-Buenos Aires, Ed. Bell, S.A.

Rossing, Thomas D.

"Musical Acoustics"

Percepción de los tonos musicales

Ideario UPAEP

"Naturaleza y destino de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla."

García Serrano, Luis Felipe

"Conservación de la Armonía urbano arquitectónica en la zona monumental de la Ciudad de Puebla"

Tesis profesional.

UPAEP

Cervantes, Enrique A.

"Bosquejo del desarrollo de la Ciudad de Puebla"

E.Z.C. México, D.F., 1937.

López Rosado, Felipe
"Introducción a la Sociología"



Colección Time-Life
"Sonido y Audición"

Jacob, Stanley
"Anatomía y Fisiología humana"
Traducción: Dr. Félix García Roig.
Ed. Interamericana
México D.F. 1982
4a. Edición.

Rouvière, H.
"Anatomía humana, descriptiva, topográfica y funcional"
Tomo I: Cabeza y Cuello
9a. Edición, Ed. Masson, S.A., Barcelona-México, 1988