

Introducción

El presente Proyecto de Grado gira en torno a un tema que ha sido motivo de estudio a través de la historia, llegando a conclusiones acertadas en las últimas décadas gracias al avance tecnológico que se ha desarrollado en el mundo.

“El Efecto del Sonido en el Ser Humano” es un tema que se entiende por naturaleza sin necesidad de alguna explicación científica. Pero en este proyecto se profundizara sobre el proceso que el sonido lleva desde su origen hasta su destino, también las distintas alteraciones que causan las ondas sonoras en el ambiente, y el efecto que crean sobre los cuerpos que impactan.

En la actualidad la ciencia posee un nivel tecnológico único en su historia, que permite experimentar y evidenciar el efecto que el sonido genera sobre la materia y su entorno. Básicamente lo que este proyecto quiere transmitir es la importancia que tienen las ondas de sonido en sus distintas formas sobre la mente y cuerpo del ser humano. Así mismo el impacto que desarrolla en una persona influyéndola y afectándola directamente en su vida cotidiana.

El proyecto va ser presentado dentro de la categoría de Investigación, optando por este camino ya que lo principal es trabajar en base a un respaldo científico, con el fin de abarcar distintas áreas del sonido para luego unificar las diferentes teorías y puntos de vista, tanto antiguas como modernas.

De esta manera se busca profundizar el proceso de las ondas sonoras y la diversidad de efectos que crean en el ser humano y su entorno.

El sonido ha sido motivo de incontables estudios a través de la existencia del ser humano. Inclusive es uno de los temas con mayor dialogo dentro de la filosofía antigua

"La relación matemática derivada del **Número** rige el mundo microscópico del alma y el macroscópico del Universo. Estas relaciones matemáticas pueden materializarse en una secuencia de sonidos". (Pitágoras, 550 a.c)

En la actualidad muchas personas pasan desapercibidas ante la importancia que tiene el sonido en sus vidas. Las ondas sonoras generan un gran impacto dentro de sus conciencias, la mayoría de gente desconoce las razones de como el sonido altera su estado mental y emocional con simples frecuencias y ritmos. De la misma manera no se toma en cuenta como la presencia del ruido y la contaminación sonora a gran nivel puede llegar a afectar los distintos procesos del cerebro y la actividad sensorial.

Tampoco han salido a la luz nuevas ciencias que comprueban estos hechos, como por ejemplo la Cymática, ciencia que estudia el movimiento y comportamiento del sonido a un nivel físico. Exponiendo que el sonido puede influir en el estado de un cuerpo solido y que es posible alterar su forma con simples variaciones.

Esta nueva tecnología ha expuesto nuevos horizontes para la humanidad. Dejando en evidencia que las ondas de sonido están

formadas por patrones geométricos. Estos patrones son delimitados por algoritmos matemáticos, y son capaces de cambiar de acuerdo al nivel de intensidad de su vibración.

De esta manera el presente Proyecto de Grado busca exponer los distintos estudios realizados sobre el sonido, unificando teorías científicas sobre la física y la percepción del sonido. Mostrando los efectos psicológicos y fisiológicos que causa, abarcando temas relacionados con música, tecnología, anatomía, filosofía, contaminación sonora, entre otros.

El objetivo principal de este proyecto es comunicar al público la importancia del sonido en sus vidas. Cómo las ondas sonoras influyen sobre el cuerpo y la mente del ser humano ya sea de una manera positiva o negativa. También busca comunicar los descubrimientos y avances tecnológicos dentro de nuevas áreas como la musicoterapia, frecuencias binaural, holofonia, cymatica.

Según Gnosis[DVD]: "Vivimos en un inmenso océano de sonidos del cual, infinitas ondas rizan las costas de nuestra conciencia en miríadas de patrones e intrincadas formas de diseño. Esas mismas poderosas fuerzas que mueven las corrientes revolviendo las misteriosas profundidades, donde la Luz pocas veces alcanza, penetran en nuestros cuerpos, nuestras mentes hasta la esencia misma de nuestro ser".

(2005)

Otro de los objetivos es comunicar la importancia del sonido armónico dentro de la tecnología audiovisual y el mundo del diseño. La influencia de la armonía y de sonidos ordenados permite al cerebro funcionar diferente, procesando mejor la información, inclusive mejorando su memoria. Por eso mismo la armonía del sonido ocupa un papel importante dentro del diseño, la tecnología audiovisual y el mundo digital.

La ciencia y la tecnología han alcanzado un nivel en donde se pueden evidenciar estos hechos fácilmente. Abriendo nuevas puertas para la exploración de la conciencia humana, es hora de abordar estos temas y profundizarlos recurriendo a los avances que hoy en día se presentan.

El proyecto se desenvuelve dentro de un marco teórico que lo conforma la acústica, la percepción del sonido, la música y diversas áreas como la psicología, filosofía, antropología, siempre enfocadas al sonido como eje central. Siguiendo diversos procesos metodológicos pero dentro de un modelo explicativo.

Está dividido en cinco capítulos que trabajan el tema desde distintas áreas. El primer capítulo, La física del sonido, abarca temas de acústica y principios básicos del sonido. El segundo capítulo, La percepción del sonido, profundiza sobre los distintos procesos del oído y mecanismos del cerebro en respuesta al fenómeno auditivo. El tercer capítulo, Efecto del sonido, desarrolla los distintos efectos psicológicos y fisiológicos ante estímulos auditivos.

El cuarto capítulo, La influencia de la música, abarca la teoría musical, su evolución y los aportes que ha brindado el arte musical durante la evolución. El quinto capítulo, Tecnología sonora, expone los nuevos proyectos y experimentos en distintas áreas de sonido, música, tecnología y ciencia.

De esta manera el Proyecto de Grado expone como el sonido afecta las vidas de las personas creando efectos en sus cuerpos y mentes. Unificando estudios antiguos y modernos para exponer la importancia que ocupa este fenómeno dentro de la vida cotidiana, y sobre todo su influencia dentro del diseño y el mundo audiovisual.

Capítulo 1. La Física del Sonido

El sonido es un fenómeno vibratorio que se transmite en forma de ondas, para que este se pueda producir se requiere de una fuente que lo genere y de un medio que lo transmita.

Lo que el humano interpreta como sonido es una sensación auditiva producida por el movimiento ondulatorio en un medio elástico. Este medio puede ser sólido, líquido o gaseoso; la velocidad del sonido varía dependiendo del medio a través del cual viajan las ondas sonoras.

La perturbación creada por la vibración se propaga a través de este medio conductor debido a rapidísimos cambios de presión, generados por el movimiento vibratorio de un cuerpo sonoro. Estas vibraciones son captadas por el oído para luego ser transformadas en impulsos nerviosos que se mandan al cerebro. También pueden ser interceptados por un instrumento de captación que trabaje con el rango de frecuencias necesaria para la onda.

La función del medio transmisor es fundamental, ya que el sonido no se propaga en el vacío. Por ello, para que exista el sonido, es necesaria una fuente de vibración mecánica y también un medio elástico a través del cual se propague la perturbación.

Juan Paz afirma que: "El sonido en sí es cierta forma de onda. En cualquier disturbio vibratorio que, propagado a través de un medio elástico, causa una alteración en la presión del medio capaz de producir una sensación auditiva en una persona con audición normal, o

de poder ser detectada por un instrumento de captación dentro del rango de frecuencias e intensidades de percepción del oído. Origina en dicho medio una serie de compresiones y enrarecimientos, desplazándose a través de esta a una velocidad que depende de la naturaleza del mismo medio. El sonido se propaga a través de medios gaseosos (Por ejemplo el aire), pero también lo hace en medios líquidos y sólidos." (2005)

El científico Robert Boyle, realizó un sencillo experimento colocando un reloj despertador dentro de una campana de vidrio. Se extrajo el aire generando un vacío y se impidió de esta manera que se escuchara la alarma del despertador. A medida que se dejaba ingresar pequeñas cantidades de aire comenzó a oírse la campanilla.

La velocidad del sonido en el aire (a una temperatura de 20 °C) es de 340 m/s. Pero no solo el aire es buen medio para que se propague el sonido, de hecho en el agua es aproximadamente cinco veces más veloz, y en los metales casi veinte veces más rápido que en el aire.

Resumiendo, el sonido se transmite en forma de ondas, y existe siempre y cuando el emisor sea una fuente sonora vibratoria. Es fundamental que el medio elástico sea capaz de transmitir el movimiento ondulatorio hasta el receptor, y que el receptor tenga la capacidad de interpretar las ondas sonoras para luego transformarlas en un elemento audible.

1.1 Onda Sonora

Una onda sonora es una onda longitudinal, y sería la forma física que se le asociaría al sonido. Mecánicamente las ondas sonoras son un tipo de onda elástica. Y como todo movimiento ondulatorio, el sonido puede representarse por una curva ondulante, como una sinusoidal y se pueden aplicar las mismas unidades de medida que a cualquier onda mecánica.

En principio, estudiaremos a través de un ejemplo sencillo como se forma una onda típica sinusoidal, que es la que caracteriza a los sonidos para poder estudiar posteriormente sus componentes.

Supongamos que tenemos una soga muy larga y que fijamos uno de sus extremos a una pared. Si después tomamos el extremo libre y movemos la cuerda hacia arriba y hacia abajo hasta una distancia desde su posición horizontal observamos que suceden fundamentalmente dos cosas. 1- Hay una onda que se propaga desde la soga hacia la pared. 2- Cada segmento de la soga realiza un movimiento periódico. (2005, Paz)

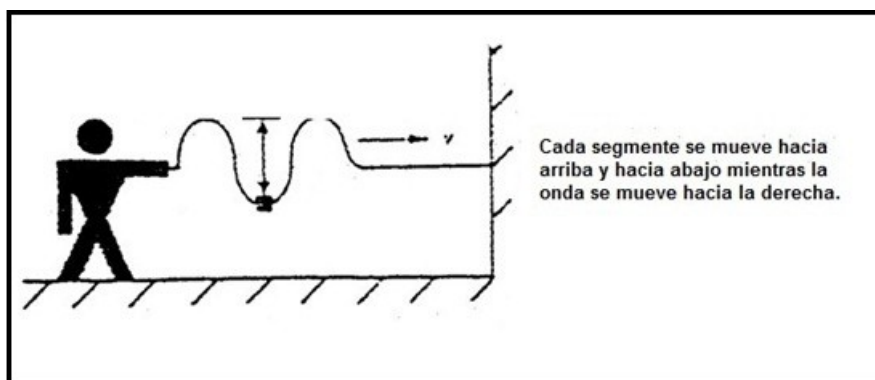


Figura #1: Ejemplo de Onda Sinusoidal
Fuente: Física del Sonido, Juan Paz

Si bien la soga se mueve hacia la pared, cada segmento de la soga se mueve únicamente hacia arriba y hacia abajo. Es decir, el desplazamiento medio de cada segmento de la soga es cero, pero la onda formada por todos los segmentos de la soga se mueve hacia la pared, transmitiendo cierta cantidad de energía a esta.

Con este ejemplo se logra entender cómo se produce una onda y la propulsión que contiene para desplazar la energía de un punto a otro. Hay que tomar en cuenta que las variaciones de presión, humedad o temperatura del medio, producen el desplazamiento de las moléculas que lo forman. Cada molécula transmite la vibración a las que se encuentren en su vecindad, provocando un movimiento en cadena.

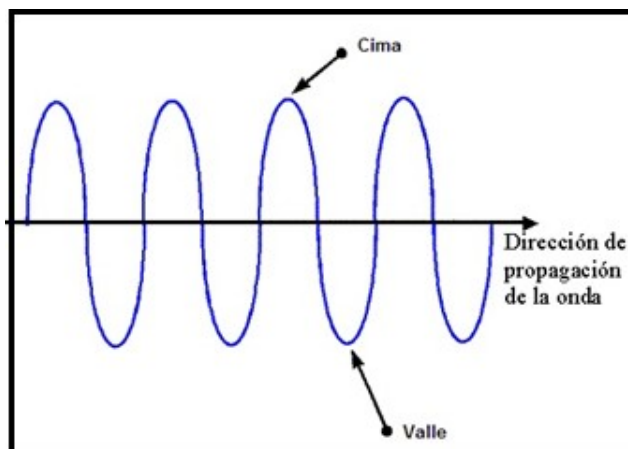


Figura #2: Onda Sinusoidal
Fuente: Ingeniería de la Onda, J. Paz

En el momento que las moléculas chocan entre si forman una compresión y cuando se alejan una rarefacción, estas se extienden por el aire formando una onda. La zona más alta o cima de la onda se relaciona

con las compresiones de las moléculas del aire, y por el contrario, las zonas más bajas o valles con las rarefacciones del aire.

1.2 Frecuencia

La frecuencia de un sonido vendrá dada en principio por el número de vibraciones por segundo que realiza el objeto vibrante, o sea la cantidad de ciclos por segundo que completan su oscilación. La unidad de frecuencias es el Herztio o Hz y se mide en ciclos por segundo. Nombrado por el físico alemán Heinrich Rudolf Hertz, quien descubrió la propagación de las ondas electromagnéticas.

Un ciclo es cuando la onda sube hasta un punto máximo de amplitud, baja hasta atravesar la línea central y llega hasta el punto de amplitud máximo negativo y vuelve a subir hasta alcanzar la línea central. Al tiempo empleado en completar un ciclo se le conoce como periodo.

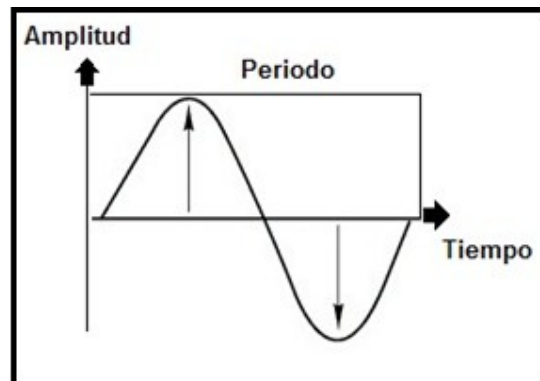


Figura #4: Frecuencia
Fuente: Sonido para audiovisuales. A.Birlis

La frecuencia permite distinguir los sonidos agudos de los graves, siendo los agudos producidos por frecuencias con mayor número de ciclos y los graves de menor número de ciclos.

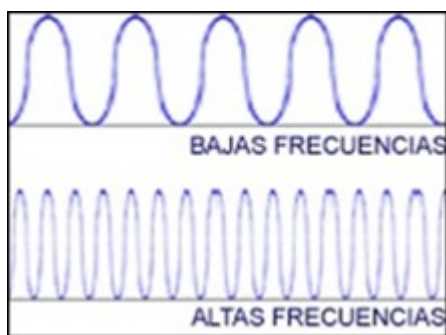


Figura #4: Agudas y Graves
Fuente: Sonido para audiovisuales. A.Birlis

En la siguiente figura se representan dos ondas. Una de ellas alcanza solo un ciclo en el mismo tiempo que la otra completa dos ciclos. Esta última tiene el doble de frecuencia.

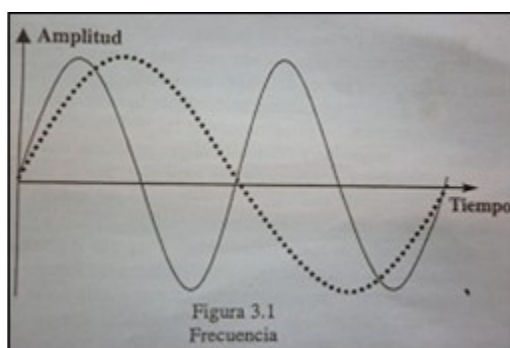


Figura #5: Ciclos
Fuente: Sonido para audiovisuales. A.Birlis

La frecuencia representa la posición del sonido en la escala musical y se conoce también como tono. El tono de un sonido depende del

número de oscilaciones por segundo. Cuanto mayor sea la frecuencia, más agudo será el sonido. Por ejemplo una frecuencia de 10kHz es más aguda que una de 5kHz. Ya que la de diez mil Hertz tiene más ciclos por segundo, es más elevado el tono.

De esta manera la frecuencia determina el tono. La altura de un sonido corresponde a la percepción del mismo como más grave o más agudo. Cada nota musical, tiene un valor en Hertzios.

Adrian Birlis afirma: "Los sonidos musicales están centrados en determinadas frecuencias, por ejemplo, el La de un concierto esta en 440Hz. (440 ciclos por segundo)." (2007)

La frecuencia predominante emitida por un cuerpo vibrante se denomina frecuencia fundamental, la cual producirá un tono determinado. Por ejemplo la cuerda de una guitarra vibrante en La, su frecuencia fundamental seria 440Hz. De esta manera se afinan los instrumentos.

1.3 Longitud de Onda

Otra dimensión característica del sonido es la distancia que existe entre dos cimas consecutivas o entre dos valles sucesivos de una onda. La distancia recorrida por la onda en el tiempo de un periodo se la conoce como longitud de onda y se mide en metros.

Conocer la longitud de onda es muy importante ya que nos ofrece una visión clara de los fenómenos sonoros al relacionarla con la frecuencia. Sabemos que la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia, esto quiere decir que a mayor frecuencia menor longitud de onda y viceversa.

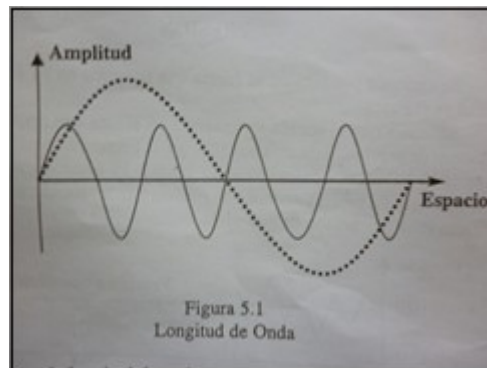


Figura #6: Longitud de Onda

Fuente: Sonido para audiovisuales, A.Birlis

En esta figura se observa con facilidad que los agudos cuyas frecuencias son muy altas tienen longitudes de onda pequeñas, y por lo contrario la onda grave tiene longitud de onda grande. Si un sonido debe atravesar grandes distancias sus frecuencias graves se verán beneficiadas frente a las agudas que se extinguirán más rápido. Esto explica porque cuando vemos caer un rayo muy lejos escuchamos el sonido del trueno muy grave.

1.4 Amplitud

La amplitud de una onda es la medida de las máximas alturas de las ondulaciones, o sea de la potencia con que se producen las

vibraciones. Indica la cantidad de energía que contiene una señal sonora. No hay que confundir amplitud con intensidad.

La amplitud de un sonido corresponde a la magnitud del cambio, sea este positivo o negativo, de la presión atmosférica causado por la compresión y rarefacción de las ondas. Esta cantidad es un indicador de la magnitud de energía acústica de un sonido y es el factor que determina la potencia con que se percibe un sonido.

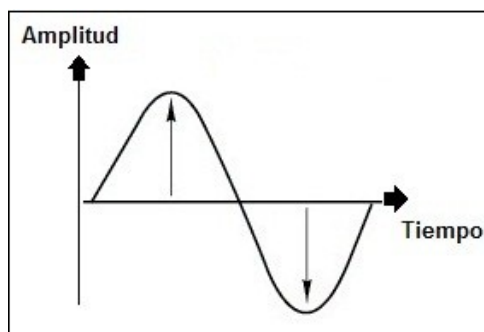


Figura #7: Amplitud

Fuente: Sonido para audiovisuales, A.Birlis

Si pulsamos la misma cuerda de una guitarra dos veces seguidas, primero de manera suave y luego con el doble de fuerza, escuchamos la misma nota pero la segunda con mayor intensidad. Esto prueba que las vibraciones no son más rápidas, dado que la nota no cambia, sino que son más amplias debido a que la cuerda se tensa con el doble de la fuerza y se aleja de una mayor distancia de su posición de equilibrio (2005, Birlis)

1.5 Intensidad

La intensidad permite distinguir si el sonido es fuerte o débil. Se define como la cantidad de energía acústica que contiene un sonido, es decir, su volumen.

La unidad de medida es el decibel o dB. Los sonidos que el humano percibe deben superar el umbral auditivo (0 dB) y no llegar al umbral de dolor (140 dB).

En la propagación real del sonido en la atmósfera, los cambios de propiedades físicas del aire como la temperatura, presión o humedad producen la amortiguación y dispersión de las ondas sonoras, por lo que generalmente no se puede aplicar medidas directas de la intensidad del sonido.

La intensidad del sonido caracteriza la razón a la cual la energía es entregada en la sensación audible, y está asociada directamente con la amplitud. Ya que la amplitud de un sonido corresponde a la magnitud del cambio, sea este positivo o negativo, de la compresión y rarefacción de las ondas acústicas. Esta cantidad es un indicador de la magnitud de energía acústica de un sonido y es el factor que determina que tan fuerte se percibe un sonido. (2003, Cádiz)

1.6 Armónicos

Los armónicos son una serie de sonidos cuya existencia el humano no se percata, ya que la mayoría de ellos son inaudibles. Estos sonidos son los que generan el timbre característico de una fuente de sonido, ya sea una voz humana o un instrumento musical. Son los que permiten diferenciar un tipo de instrumento de otro, o reconocer el timbre de la voz de una persona.

Hasta aquí se ha trabajado suponiendo que los sonidos son tonos puros, con una única frecuencia. Pero en la naturaleza los sonidos suelen presentarse como una frecuencia fundamental y un agregado de frecuencias secundarias que acompañan a la frecuencia generadora.

La amplitud de los armónicos más altos es mucho menor que la amplitud de la onda fundamental, por este motivo los armónicos altos generalmente son inaudibles. Lo que da diferentes timbres a diferentes instrumentos es la amplitud y la ubicación de los primeros armónicos.

Las diferentes trayectorias de las ondas sonoras de dos instrumentos tocando al unísono es lo que permite al oyente percibirlos como dos instrumentos separados. Al ser ejecutados es evidente que son un excelente recurso acústico para la potenciación musical, pero son pocas personas que estudian las características y atributos de esta serie de sonidos.

Cuando se ejecuta una nota en un instrumento musical se genera una onda de presión de aire. Esta onda sonora está acompañada por una

serie de armónicos, todos prácticamente inaudibles, pero que le dan al instrumento su timbre particular.

Por ejemplo, si dos instrumentos ejecutaran la nota Do, es decir la tecla blanca central de un piano. La onda fundamental de ambos poseería la misma frecuencia, en este ejemplo 264 Hz o ciclos por segundo. Pero sus timbres son diferentes porque cada uno produce una altura de armónicos diferentes.

Cada vez que se toca una nota, llamada primer armónico o fundamental, se escucha simultáneamente una serie de hasta dieciséis sonidos armónicos, conocida como escala de resonancia superior.

El estudio de los sonidos armónicos se remonta en la Antigua Grecia. Se sabe que Pitágoras pudo demostrar esta relación numérica entre los sonidos dando lugar al sistema musical occidental de doce notas que aún sigue vigente.

Lo que este notable matemático hizo fue expresar como razón de números enteros la longitud de cada una de las cuerdas de un instrumento musical, de modo que si una cuerda vibra con la frecuencia de un Do, otra cuerda que sea $\frac{16}{15}$ más larga dará la nota Si. Una de $\frac{17}{15}$ dará el Si bemol, una de $\frac{18}{15}$ dará el La, una de $\frac{20}{15}$ el Sol y así se baja toda la escala hasta el Do grave que se consigue con una cuerda que tenga el doble de la longitud original.

Para estudiar la serie armónica se numera cada sonido con un índice, comenzando por el número uno para el sonido fundamental.

Como se observa en la siguiente figura, se numera la frecuencia fundamental, ubicándola en una nota musical con su respectiva frecuencia.

Nº de Armónico	Frecuencia	Nota	Intervalo
1º armónico	66 Hz	do ₁	tono fundamental (el primer do a la izquierda del piano)
2º armónico	132 Hz	do ₂	octava
3º armónico	198 Hz	sol ₂	quinta
4º armónico	264Hz	do ₃	octava
5º armónico	330 Hz	mi ₃	tercera mayor
6º armónico	396 Hz	sol ₃	quinta, una octava sobre el 3º
7º armónico	462 Hz	si _b ₃	séptima menor (muy desafinada)
8º armónico	528 Hz	do ₄	octava
9º armónico	594 Hz	re ₄	segunda mayor, una quinta sobre el 6º
10º armónico	660 Hz	mi ₄	tercera mayor, octava del 5º
11º armónico	726 Hz	fa _# ₄	cuarta aumentada
12º armónico	792 Hz	sol ₄	quinta justa, una octava sobre el 6º
13º armónico	858 Hz	la ₄	sexta mayor (muy desafinada)
14º armónico	924 Hz	si _b ₄	séptima menor (muy desafinada, igual que el 7º)
15º armónico	990 Hz	si ₄	séptima mayor, una quinta sobre el 10º
16º armónico	1056 Hz	do ₅	octava

Figura #8: Serie de Armónicos

Fuente: www.pianomania.com

Los números asignados a cada armónico reflejan la ordenada disposición de las frecuencias, de modo que el 2 tiene el doble de

frecuencias que el 1, el 3 tiene el triple que el 1 y guarda una proporción de 3 a 2 con el 2. El 4 tiene el cuádruplo de frecuencia de la 1, doble que el 2 y proporción 4 a 3 con el 3, y así sucesivamente. Esta armoniosa disposición de las frecuencias hace que los sonidos musicales suenen agradables y placenteros.

1.7 Ruido

La mayoría de las formas sonoras que inundan el océano de sonidos en el que cotidianamente se encuentra inmerso el humano son complejas, es decir, formadas por múltiples componentes, no siempre conservan la minuciosa distribución de los armónicos musicales.

Los sonidos cuyos componentes superiores no aparecen dispuestos de manera ordenada suelen ser considerados ruidos. A las frecuencias superiores que aleatoriamente se distinguen en estos sonidos se las llama ahora parciales en vez de armónicos. Los ruidos tendrán entonces una frecuencia fundamental y una simultaneidad de parciales caóticamente desordenados e ininteligibles. (2008, Tablero)

Aunque el ruido es una señal aleatoria puede tener características y propiedades estadísticas. La densidad espectral es una de esas propiedades que puede ser utilizada para distinguir los diferentes tipos de ruido. Esta clasificación por densidad espectral usa la terminología de diferentes tipos de colores, y es común en diferentes

disciplinas, donde el ruido es un factor importante; como en acústica, ingeniería, medios audiovisuales, entre otras.

Dependiendo de la forma concreta que tenga su densidad espectral se definen varios colores para el ruido, haciendo un paralelismo entre las longitudes de onda del espectro visible y las del espectro audible.

Por ejemplo, el ruido blanco es una señal que contiene todas las frecuencias y todas ellas muestran la misma potencia. Su señal es plana creando un nivel de saturación extremo tanto en el espectro visible como en el espectro audible.

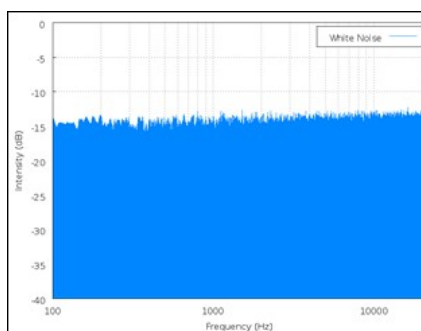
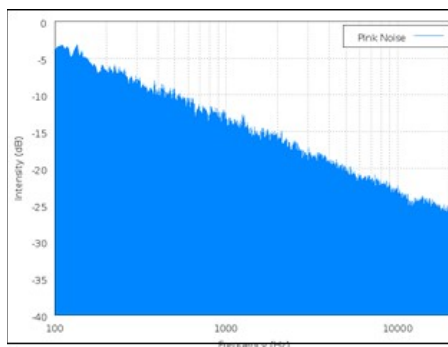


Figura #9: Ruido Blanco Fuente: www.sistemasynkro.com

Por otro lado, el ruido de color como la gran parte de los ruidos generados naturalmente, por ejemplo un vaso de vidrio que cae y estalla, recibe su nombre debido a que presenta coloración de mayor o menor intensidad en su gama de frecuencias.

Existen varios tipos de ruido de color, como el ruido rosa, azul, gris, violeta, entre otros. En la siguiente grafica podemos apreciar el



espectro visible del ruido rosa, donde aparecen frecuencias graves y su densidad espectral va en disminución.

Figura #10: Ruido Rosa

Fuente: www.sistemasynkro.com

1.8 Propagación

El comportamiento de las formas sonoras así sea un ruido o un sonido musical, natural o artificial, al propagarse por el aire sufrirá una disminución en su recorrido.

La temperatura hace que cambie su dirección mientras que el viento provocara distorsiones en su movimiento. La humedad y la temperatura del aire son factores que se toman en cuenta a la hora de estudiar la propagación del sonido al aire libre.

Ahora bien el sonido que sale de un parlante se desplaza en forma de ondas esféricas formando frentes de onda. En sus desplazamientos estos frentes de onda podrán encontrarse con obstáculos sólidos, en cuyo caso dependerá del tamaño del obstáculo para que el sonido se refleje.

También puede suceder que el frente de onda que viaja en un medio, por ejemplo el aire, se encuentre con otro medio, supongamos agua, lo que hace que el sonido se desvíe.

La reflexión es cuando un sonido se encuentra con un objeto sólido, como una pared, cuyas dimensiones superan su longitud de onda, inevitablemente las ondas sonoras tendrán que rebotar. Se dice que el sonido se refleja totalmente aunque una pequeña porción de energía sonora es absorbida por el objeto.

Es por eso que los anfiteatros se construyen en base a los principios de reflexión. De esta manera se pueden conseguir mejores condiciones

acústicas, construyendo estos escenarios en forma de parábola y ubicando el centro justo en el foco de la misma para conseguir que todos los sonidos se reflejen al público.

La difracción sucede cuando las dimensiones del obstáculo son pequeñas comparadas con las longitudes de onda de los sonidos que se enfrenta. Los sonidos graves con largas longitudes de onda al encontrarse con un objeto de dimensiones pequeñas como una columna o una puerta abierta, envuelven fácilmente al pequeño obstáculo, y siguen su camino. Sin embargo detrás de los objetos se produce una pérdida de intensidad del sonido, entonces se dice que el sonido se ha difractado dejando una región de sombra.

La refracción sucede cuando las ondas se desvían en la dirección de su propagación, o sea cuando el sonido pasa de un medio a otro diferente. La refracción se debe a que al cambiar de medio, cambia la velocidad de propagación del sonido.

La refracción también puede producirse dentro de un mismo medio, cuando las características de este no son homogéneas, por ejemplo, cuando de un punto a otro de un medio aumenta o disminuye la temperatura.

Capítulo 2. La Percepción del Sonido

El humano a través de su complejo mecanismo auditivo, percibe sensaciones sonoras creadas por estímulos vibratorios. El sonido suministra información de carácter vital acerca del entorno y sus cambios. La Naturaleza con su infinito repertorio de ruidos y formas auditivas, nos ofrece un universo de sonidos cargados de información.

Se puede decir que el sonido cumple la función de un signo, ya que permite realizar una asociación de sentido entre una forma sonora y un significado. También puede desarrollar emociones dentro de una persona, a la vez puede irritar o ser sumamente placentero, inclusive puede inducirnos a diferentes estados de ánimo.

La música con solo doce sonidos, logra describir situaciones dramáticas, cómicas, épicas. También puede llegar a crear paisajes con alto contenido realista o expresivo. El sentido del oído tal vez sea el que más mueva la imaginación ya que también promueve la memoria.

Cualquier oído sano puede distinguir todas las características o parámetros de un sonido, además de la procedencia o la ubicación exacta de este, incluso sin que se vea la fuente sonora que lo genera. Ya que el oído tiene un campo perceptivo de 360 grados, o sea escuchamos por igual los sonidos así nos lleguen de frente, de costado o por detrás.

2.1 El Sentido del Oído

El sentido del [oído](#), está encargado de hacer percibir los sonidos a base del aparato anatómico que se denomina órgano del oído, y se encuentra ubicado en ambas partes del lado posterior de la cabeza.

El órgano del oído presenta una serie de variaciones profundas en su exterior, las cuales son consecuencia de una adaptación a los medios exteriores. Es un órgano que se encuentra muy desarrollado, principalmente en mamíferos inferiores terrestres y acuáticos, en donde gracias a su evolución fisioanatómica, se han desarrollado alcanzando la perfección en su audición. En el caso de la raza humana no se encuentra tan desarrollado pero aun así posee un complejo sistema de audición que se compone en tres partes esenciales.

El oído externo está formado por el pabellón auricular, o sea la oreja. También encontramos el conducto auditivo externo que mide tres centímetros de longitud, posee pelos y glándulas secretoras de cera. Su función es capturar, canalizar y dirigir las ondas sonoras hacia el oído medio.

El pabellón auricular está en una base de cartílago elástico recubierto por piel blanda, dicha piel posee abundantes glándulas sebáceas, y en su parte media posee la arquitectura ósea. Que está formada por fibras de músculo que se comunican con el conducto auditivo externo, dándole firmeza y apoyo, a la vez también cierta capacidad de movimientos.

El conducto auditivo exterior recorre desde el pabellón hacia el tímpano. Dicho conducto mide en un promedio de alrededor de 3.5 cm de largo. Está compuesto de cartílago elástico, tejido óseo y piel blanda. Justo en la piel se localizan glándulas ceruminosas, que son una especie de glándulas sudoríparas, siendo las responsables de la producción de cerumen; que tiene por función proteger a la cavidad de agentes extraños como el polvo, parásitos, agentes virulentos y bacterias

función c



la misma

Figura #11: El Oído **Fuente: www.monografias.com**

El oído medio es un conducto estrecho que se extiende unos quince milímetros en un recorrido vertical y otros quince en recorrido horizontal.

Es hueco y está lleno de aire, limitado de un lado por el tímpano y del otro por la ventana oval y la ventana redonda, que lo comunican con el oído interno. Está en comunicación directa con la nariz y la garganta a través de la trompa de Eustaquio, que permite la entrada y la salida de aire del oído medio para equilibrar las diferencias de presión con el exterior.

Hay una cadena formada por cuatro huesos pequeños que atraviesan el oído medio, reciben los nombres de martillo, yunque, lenticular y estribo. Estos conectan acústicamente el tímpano con el oído interno, transmitiendo las vibraciones del tímpano amplificadas por medio de un proceso mecánico. El trabajo principal del oído medio es comunicar las vibraciones que el tímpano recibe, y por medio de la cadena de

huesecillos, convertir las vibraciones de acuerdo a su nivel de frecuencia para transmitir las luego al oído interno.

El oído interno se encuentra en el interior del hueso temporal que contiene los órganos auditivos y del equilibrio. Es un delicado sistema que trabaja con un nivel de complejidad extremo ya que es el encargado de convertir las vibraciones en impulsos eléctricos. Es aquí donde se encuentra el nervio auditivo y sus delicados filamentos. También es denominado laberinto, se divide a su vez en laberinto óseo y laberinto cóclea. En el laberinto óseo los conductos semicirculares pertenecen al órgano propio del equilibrio, mientras que cóclea o caracol pertenece al órgano de la audición.

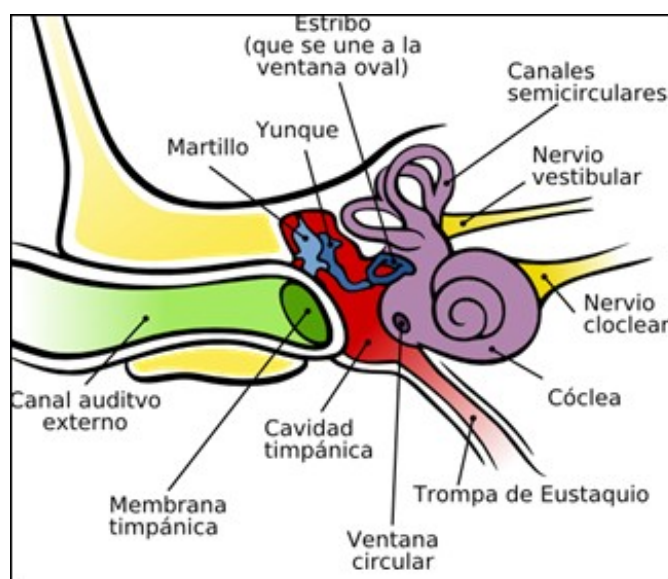


Figura #12: Oído Interno Fuente: www.monografias.com

El caracol es un largo tubo arrollado en espiral donde se encuentran las células receptoras de los sonidos. Estas células poseen distintos grados de sensibilidad para la detección de

los diferentes tonos o frecuencias. Esto permite al oído percibir los sonidos de acuerdo al espectro audible de frecuencias que cada persona posee. (2006, Goldstein)

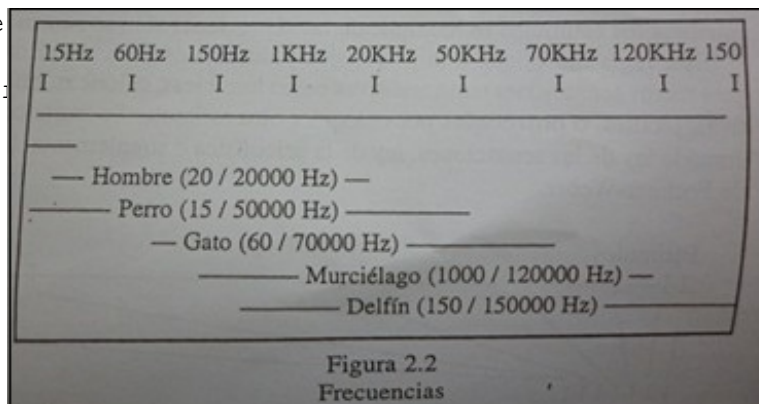
Las fibras nerviosas que salen del caracol y de los canales semicirculares se reúnen para formar el nervio auditivo. Es aquí donde mediante un proceso complejo entre las células receptoras y el nervio coclear, donde se forman los impulsos eléctricos que comunican al cerebro los sonidos.

Toda esta sucesión de eventos sucede tan rápido que los humanos son capaces de recibir los sonidos de manera instantánea y sin interrupción.

2.2 Percepción del Tono

Se entiende que la frecuencia se relaciona con el tono, a mayor frecuencia el tono es más agudo, a menor frecuencia es más grave. Pero no todas las frecuencias son audibles. El espectro de frecuencias que el ser humano alcanza escuchar va de 20Hz a 20000Hz. Fuera de estos límites los sonidos son inaudibles.

Por debajo de los 20Hz, valor considerado como el umbral mínimo de frecuencias, se habla de frecuencias infrasónicas, por encima de los 20000Hz, que se toma como umbral máximo, se denominan ultrasónicas. Si bien este pequeño compa



lio resulta

Figura #13: Rango de Frecuencias Audibles
Fuente: Sonido para audiovisuales, A.Birlis

El umbral diferencial del tono para ser audible en el sistema auditivo del ser humano, es decir para que la sensación de tono se incremente y se escuche un cambio tiene un cierto grado de complejidad.

Según los estudios realizados por el ingeniero Rodrigo Cádiz en la Universidad Católica de Chile:

A una frecuencia de 500Hz con el agregado de 1Hz ya se percibe cambio de tono. Pero a una frecuencia de 1000Hz hay que sumar 2Hz para percibir un cambio. A una frecuencia de 2000Hz se necesitan 4Hz de diferencia para que se note un cambio. A una frecuencia de 800 Hz ya se necesitan por lo menos 100Hz de incremento para que el oído humano detecte un cambio de tono, o sea que entre 8000 y 8100Hz no se perciben diferencias de tonalidad. (2003 Cádiz, R.)

Estos incrementos mínimos de frecuencia necesarios para que se perciba un cambio en la sensación de tono, se denominan umbrales diferenciales. El umbral diferencial de tono a 1000Hz es de 2Hz y a 8000Hz es de 100Hz, o sea que es menos preciso cuanto más aumentan las frecuencias. Esto es lo mismo que decir que en la sensación de tono, hay una pérdida progresiva de sensibilidad con el aumento de frecuencias.

El sistema musical occidental ha resuelto este intrincado dilema de un modo sencillo. Para ello la distancia del doble de frecuencia, denominada octava, o sea aquella distancia con la que se consigue la misma nota pero una octava más arriba, se divide en doce partes. Cada una de esas partes está a distancia de semitono. Un semitono es la mínima separación entre dos notas. Hay un semitono entre Do y Do sostenido, otro entre Do sostenido y Re, etc. Dicho de otra manera el semitono sería para la música occidental el umbral diferencial de tono.”

(2007)

Do y Do#	=	277 - 262	=	15
Do# y Re	=	293 - 277	=	16
Re y Re#	=	311 - 293	=	17
Re# y Mi	=	329 - 311	=	18
Mi y Fa	=	349 - 329	=	20
Fa y Fa#	=	370 - 349	=	21
Fa# y Sol	=	392 - 370	=	22
Sol y Sol#	=	415 - 392	=	23
Sol# y La	=	440 - 415	=	25
La y La#	=	466 - 440	=	26
La# y Si	=	494 - 466	=	28
Si y Do	=	523 - 494	=	29

Figura #14: Tonos y Semitonos
Fuente: Sonido para audiovisuales, A.Birlis

2.3 Percepción de la intensidad

La sensación de intensidad depende de la frecuencia, esto se debe a que el oído humano percibe con mayor sensibilidad el espectro de frecuencias que va de 500 a 5000Hz. O sea los sonidos cuyas frecuencias no estén dentro de ese rango tendrán que aumentar su nivel de presión sonora para ser percibidos con la misma intensidad.

La zona de mayor sensibilidad auditiva se encuentra cerca de los 3000hz. Para explicar porque el oído es más sensible en esta zona habría que especificar que la mayoría de los sonidos de la naturaleza se ubican dentro de estos límites. El habla humana el canto de los pájaros, los gritos que emiten casi todos los animales, la lluvia, el

viento, etc. Todos están en esta zona de máxima sensibilidad. Además la sensibilidad es tal que permite escuchar sonidos tan tenues como una brisa suave o un mosquito volando.

De esta manera la intensidad depende de la frecuencia, es por eso que para escuchar un sonido de 20Hz se necesitan por lo menos unos 80 decibeles para empezar a escucharlo. Así como los sonidos graves de fuerte intensidad como un volcán en erupción o un trueno pueden

producir esta frecuencia más fuerte que el umbral del dolor de intensidad, aproximadamente entre 120 y 130 decibeles.

Es por eso que en el discurso audiovisual se ha recurrido a utilizar notas graves, intensas, sumados a ruidos esporádicos para crear climas de terror o de suspenso para atemorizar al público.

2.4 Percepción del timbre

Gracias a la dimensión tímbrica se puede diferenciar una nota tocada por un instrumento de madera de otra tocada por uno de metal. También se puede apreciar distintos estados de ánimos de las personas.

El doctor Ángel Rodríguez Bravo define al timbre: "como una sensación auditiva compleja que permite percibir la estructura interna de los sonidos compuestos" (1998)

Para poder diferenciar los sonidos compuestos es necesario que el sonido dure más de 1 segundo. Ya que el oído no alcanza a discriminar sensaciones tímbricas en sucesos sonoros tan cortos, pues necesita percibir y reconocer las tres dimensiones simultáneamente.

- La armonicidad vendrá dada por el grado de armónicos y parciales dentro del sonido. O sea que tan claro o sucio es el sonido.

- La impresión espectral muestra la ubicación de las resonancias a lo largo del sonido. Por ejemplo si en el sonido predomina la intensidad en las frecuencias graves, las medias o las agudas.
- La definición auditiva muestra el rango de frecuencias que abarca el sonido compuesto. O sea la riqueza de frecuencias que lo compone. El rango de frecuencia bajo es menor a 3000Hz. Medio si no sobrepasa los 6300Hz y si alcanza los 20000Hz se le reconoce como un rango de frecuencia alto.

2.5 Dinámica de la percepción

Es importante conocer no solo la duración de un sonido, o sea el tiempo que tiene desde que empieza hasta que se extingue totalmente, sino también la de los pequeños sucesos intrínsecos a la forma sonora.

Un sonido que dure menos de 5 milésimas de segundo no llegara a escucharse. Un sonido que dure menos de 0.1 segundos no permite percibir el tono. Un sonido que dure menos de 1 segundo no permite percibir el timbre. (2005, Ruyela)

Todos los sonidos complejos pueden ser interpretados como una sumatoria de sonidos simples. Esto quedó demostrado en 1801 por el matemático Jean Fourier, cuando presento la técnica que permite reducir cualquier serie de ondas a una serie de ondas sinusoidales.

Por lo que las formas sonoras complejas podrán ser estudiadas como la unión de varias formas simples.

En la siguiente figura se muestra como se percibe una forma sonora compuesta. Sencillamente como la suma de tres formas sonoras simples. Esto es, a medida que el sonido evoluciona en el tiempo vamos reconociendo tres etapas perfectamente definidas: ataque, cuerpo y caída. A la curva que envuelve estas tres etapas se le llama envolvente y representa las variaciones de intensidad en función del tiempo.

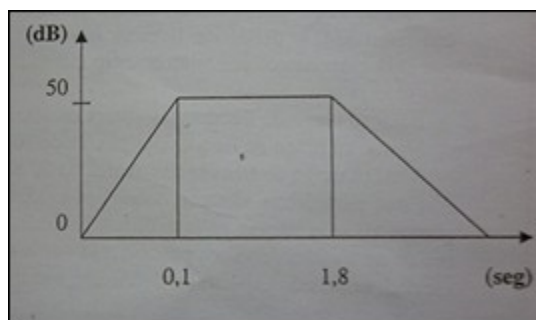


Figura #15: Ataque, Cuerpo y Caída
Fuente: Sonido para audiovisuales, A.Birlis

Ataque: es la etapa en que el sonido avanza desde no sonar hasta alcanzar su máxima intensidad. El ataque mínimo que se percibe es de 5 milésimas de segundo. Pero recién se distinguirá su intensidad real cuando hayan transcurrido 150 milésimas de segundo.

Cuerpo: Es la etapa en que el sonido mantiene constante su intensidad. La forma sonora se estabiliza, lo que permite que el oído centre su atención en otras variables. Aquí es cuando se define la

sensación de tono y de timbre. La duración mínima para que esto suceda es de 1 segundo. Si el cuerpo de un sonido dura menos que un segundo, como el que genera un instrumento de percusión, las sensaciones de tono y de timbre no alcanzan a ser percibidas en su plenitud. Por lo que el sonido es percibido como indeterminado.

Caída: Es la etapa en que el sonido emprende su descenso auditivo. Desde el valor de intensidad máxima hasta dejar de sonar. Una centésima de segundo es el menor tiempo que tarda en terminar un sonido. Las caídas suelen durar 5 centésimas de segundo. Los ambientes grandes provocan alargamientos en los sonidos, esto quiere decir que el volumen de una sala va influir directamente sobre la duración de un sonido.

El sonido también puede generar sensaciones volumétricas o de perspectiva con suma precisión. El oído procesa la información de todos los parámetros acústicos para reconstruir en la mente la sensación de volumen espacial.

Se puede percibir a cuantos metros están las paredes o cuan alto es el techo, etc. El oído ofrece un panorama certero del espacio sonoro. Todos estos cálculos se realizan constantemente y son procesos que el humano realiza inconscientemente.

Para que se perciban cambios en la distancia a la fuente sonora, se debe modificar la intensidad del sonido. Se sabe que la intensidad disminuye a medida que se aumenta la distancia.

Adrian Birlis afirma que: "existe un principio básico conocido como la regla de los 6dB, que resulta de gran ayuda. Se dice que la intensidad del sonido disminuye 6dB cada vez que se dobla la distancia. Por ejemplo si estando a 4 metros de la fuente sonora, la escuchamos con 50dB de intensidad; estando a 8 metros, el doble de distancia, la escucharemos con 44dB, o sea, 6dB menos." (2008)

Esta regla funciona muy bien cuando se trata de pocos metros. Por el contrario, para grandes distancias se deberá tener en cuenta la variación de la intensidad en función de las frecuencias. Los graves no suenan tanto como los agudos. Por lo que el sonido se escuchara desde el tercer piso con una gran pérdida de graves ya que las frecuencias agudas se verán favorecidas por la altura, debido a que por la refracción atmosférica subirán más rápido.

Por otro lado hay otra variable que debe tomarse en cuenta, la reverberación, que funciona como un tipo de reflexión del sonido. El eco es la reflexión más sencilla. Si la fuente de sonido se encuentra al pie de una montaña y grita, recién después de recorrer largas distancias el sonido chocara con la montaña y rebotara hacia la fuente. Cuando se escucha de nuevo el grito, ya ha pasado cierto tiempo desde que se emitió el sonido original.

Los dos sonidos, el directo y el reflejado, no se superponen en ningún momento. Pero en los espacios cerrados la fuente sonora todavía no ha dejado de sonar y ya es interferida por su propio

sonido reflejado. Además se pueden percibir múltiples repeticiones rebotando aún mucho después de que el sonido original se haya extinguido. A este fenómeno de reflexiones múltiples se lo conoce como reverberación.

Por último la direccionalidad del sonido también debe tomarse en cuenta como una variable a la hora de percibir una relación de distancia y perspectiva volumétrica con el entorno.

Identificar de donde proviene un sonido es muy fácil para el mecanismo de audición del ser humano. Gracias al sistema de escucha binaural. La distribución de las orejas a cada lado de la cabeza hace que se reconozca que un sonido proviene del lado izquierdo o del lado derecho.

2.6 Enmascaramiento

El enmascaramiento es la producción del ruido necesario para cubrir el sonido que está percibiendo un oído.

Según Adrian Birlis las condiciones necesarias de un ruido para que sea efectivo en el enmascaramiento constan de al menos dos factores.

Un mínimo de intensidad para que llegue a ensordecer el oído contrario, o sea debe tener la suficiente potencia como para bloquear la sensación auditiva del tono que se está explorando.

Tonalmente tiene que ser distinto a la frecuencia que se está aplicando, puede ser un tono más bajo o con alguna variación en su espectro sonoro. (2007, Birlis)

Por ejemplo, si en una esquina están dos personas conversando y de repente una motocicleta dobla justo enfrente de ellos. El ruido intenso del motor hará que sus voces ya no se escuchen. De esta manera la motocicleta produce un enmascaramiento sobre las voces de los individuos haciendo que un sonido tenga más presencia que otro poniéndolo por delante del otro sonido.

Cualquier sonido puede enmascarar a otro siempre y cuando sea parecido en frecuencia y que sea 10dB más intenso. Ya que ambos sonidos se reproducen simultáneamente y es necesario que otro sonido superponga al menor para que lo enmascare con totalidad.

2.7 Escucha Binaural

El proceso de audición es un proceso bastante complejo, mas allá de la función del sentido del oído y las características que el sonido tiene que poseer para que sea interpretado correctamente.

El cerebro humano, para interpretar un sonido ha de conjugar la información que le llega de ambos oídos. La información que el cerebro recibe de cada uno de los oídos es diferente, porque ambos oídos están físicamente separados. Esta diferencia de posición de los oídos es la que le permite al cerebro localizar la fuente sonora.

En el sistema auditivo la sensación tridimensional está relacionada con la diferencia de amplitud y tiempo que recibe cada oído. Es decir, la localización de los sonidos en el espacio se consigue con el procesamiento por separado de la información de cada oreja y con la posterior comparación entre ambas señales.

Los oídos forman dos canales receptores que son independientes entre sí, sin interferencias entre ellos, ni combinaciones de las frecuencias recibidas por cada uno. Los armónicos de un oído no se añaden ni restan a los del otro. Los sonidos se reciben independientemente por cada oído y crean efectos diferentes en distintas partes del cerebro. La información que recibe cada oído se procesa en el cerebro, donde comparando los impulsos nerviosos que produce cada sonido, se interpretan finalmente todos los aspectos de la onda sonora, conociéndose este fenómeno como fusión binaural.

La localización define la capacidad del individuo de determinar la ubicación de una fuente sonora en el espacio. Sólo es posible a

partir de la audición binaural. Con un solo oído no es posible localizar fuentes sonoras.

El sistema auditivo utiliza un conjunto de señales para determinar la ubicación de la fuente sonora en el espacio. Para poder estudiarlas se necesita un sistema de coordenadas. Una elección natural es establecer un sistema de ejes coordinados centrado en la cabeza.

Podemos verlo en la siguiente figura:

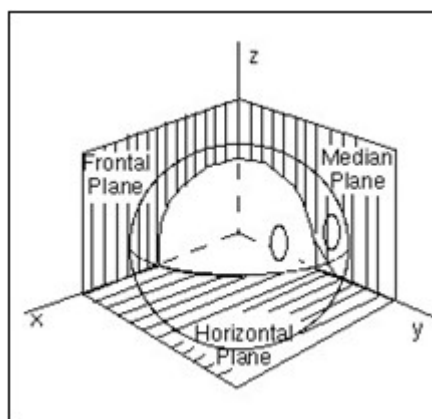


Figura #16: Escucha Binaural
Fuente: Escucha 3d y Holofonía, C.de la Parra

Podemos ver que el eje X pasa (aproximadamente) a través de la posición que tendría la oreja derecha, el eje Y apunta hacia el frente y el eje Z es vertical. Estos tres ejes definen los tres planos básicos: el plano XY o plano horizontal, el plano XZ o plano frontal, y el plano YZ o plano medio. Claramente, el plano horizontal define la distinción entre arriba/abajo, el frontal la distinción delante/atrás y el plano medio la distinción derecha/izquierda.

Para determinar la dirección del sonido el cerebro tiene en cuenta tres factores que interactúan.

Retardo temporal: se debe a que un mismo sonido producido por la misma fuente sonora casi nunca es igual para un oído que para el otro. Físicamente nuestros oídos están separados por la cabeza. Esto provoca que las ondas sonoras recorran un trayecto más largo antes de alcanzar cada oído por separado.

Longitud de onda: Los sonidos por encima de 1000 Hz que tengan una longitud de onda pequeña sólo serán escuchados por uno de los dos oídos. Esto se debe a que la cabeza evita que una parte del sonido alcance al oído que está situado en el lado opuesto a la dirección del sonido. A la diferencia provocada por la diferente distancia se suma la diferencia de intensidad para facilitar la localización espacial de la fuente sonora.

Enmascaramiento: Cuando se escuchan dos sonidos de diferente intensidad al mismo tiempo, el sonido más recio enmascara al suave.

De esta manera se comprueban los distintos mecanismos que utiliza el cerebro para localizar las fuentes sonoras. A través de complejos procesos entre la fisionomía y los procesos electroquímicos del cerebro, el ser humano puede experimentar un espacio sonoro tridimensional casi instantáneo.

Capítulo 3. El Efecto del Sonido

Se dice que todo cuerpo que recibe el impacto de un sonido absorbe una parte de él, dependiendo de la intensidad y la frecuencia puede

variar el índice de absorción. Más allá que el cuerpo refleje, difracte o refracte la onda, de alguna manera siempre será absorbido una fracción del sonido.

También puede ser interceptado por un cuerpo capaz de captarlo como lo es el sistema auditivo de algunos seres vivos. El ser humano más allá de absorber el sonido con su cuerpo, es capaz de captarlo e interpretarlo con su aparato auditivo, inclusive es capaz de crearlo para comunicarse entre sí por medio de las cuerdas vocales.

Más allá de la influencia del sonido dentro de la vida del ser humano como un medio de comunicación, también posee un alto nivel de importancia sobre el comportamiento fisiológico y psicológico de las personas. Ya que el sonido, dependiendo de su forma puede llegar a crear alteraciones en el funcionamiento del cerebro y el cuerpo, influyendo a una persona sobre su conducta, estado anímico y en procesos inconscientes del cerebro que regulan al cuerpo humano.

Evidentemente el sonido forma parte de la vida rutinaria del ser humano, la armonía en los sonidos crean un efecto específico dentro de las personas. Así mismo el ruido también crea efectos dentro del cuerpo y la mente, en la actualidad las grandes ciudades poseen un nivel altísimo de ruido industrial, el cual pasa desapercibido al ciudadano cotidiano sin saber el efecto que éste causa dentro de él.

3.1 Efectos Fisiológicos

El sonido puede llegar a causar efectos dentro de la anatomía del cuerpo humano. Ya sea un efecto dañino como puede ser la pérdida de audición o también distintas alteraciones dentro del funcionamiento del sistema respiratorio, cardiaco, digestivo, entre otros.

Al final del siglo XIX comenzaron las primeras experiencias científicas midiendo cuantitativamente los efectos fisiológicos de las ondas sonoras. En la actualidad la pérdida de audición es un caso muy común, ya que hasta la fecha no se ha logrado descubrir una cura para la pérdida de células auditivas, debido a que no se regeneran naturalmente y la medicina aún no ha descubierto un proceso para regresar la escucha a un paciente sordo.

En la actualidad los sistemas de reproducción de sonido han aumentado su nivel de potencia a gran escala. Así mismo el nivel de ruido industrial dentro de la sociedad ha incrementado un significativo número en los últimos 10 años.

Según Laura Rocha del diario La Nación: "Buenos Aires es la cuarta ciudad del mundo con mayor contaminación sonora". (2010)

Una exposición prolongada a elevados niveles de intensidad de sonido produce una pérdida progresiva de la sensibilidad del aparato auditivo. El aumento permanente del umbral de audición hace necesario que se tenga que incrementar mas potencia para producir sensaciones auditivas equivalentes, pero cada persona tiene un límite fisiológico y psicológico diferente de tolerancia al sonido.

La exposición a niveles de ruido intenso da lugar a pérdidas de audición, que si en un principio son recuperables cuando el ruido cesa, con el tiempo pueden llegar a hacerse irreversibles, convirtiéndose en sordera.

A continuación un estudio realizado en la Universidad de Granada, por el Doctor Francisco Javier Tablero Valas, el cual muestra el nivel de intensidad de sonido y el estímulo que se genera en el oído.

Intensidad de sonido	Valoración
Menos de 30 dB	muy discreto
30-40 dB	discreto
40-50 dB	ligeramente discreto
50-60 dB	entre discreto y ruidoso
60-70 dB	ligeramente ruidoso
Más de 70 dB	muy ruidoso

Figura 17: Intensidad del Sonido

Fuente: Percepción del sonido, Universidad de Granada, España.

Se pueden observar también otros efectos fisiológicos no auditivos debido a la presencia del sonido. Tales como la aceleración del ritmo cardíaco, aumento de la tensión muscular y presión arterial, alteraciones en el proceso digestivo, cambios en el ritmo respiratorio, entre otros. Estos se denominan efectos inconscientes.

Cuando nos referimos a los efectos fisiológicos inconscientes, estamos hablando de alteraciones funcionales involuntarias que, por lo general, pasan inadvertidas por el individuo. La mayoría de estas alteraciones son controladas por el sistema vegetativo (también conocido como sistema nervioso autónomo). El sistema

vegetativo administra funciones necesarias para la vida sobre las cuales no tenemos control voluntario, por ejemplo los sistemas: cardiovascular, digestivo, endocrino y respiratorio.

(Pablo Kogan, 2004, p.57)

Se ha comprobado que el sonido afecta al sistema cardiovascular elevando o disminuyendo el ritmo cardiaco, pudiendo llegar a la hipertensión debido al estrechamiento de los vasos sanguíneos. Así mismo afecta el proceso gastrointestinal alterando el proceso de digestión estomacal. Puede producir cambios en el ritmo respiratorio, cambios en la piel activando las glándulas sudoríparas o también en el sistema endocrino que puede sufrir alteraciones debido a la secreción de distintas hormonas.

Así mismo el sentido de la vista puede verse afectado debido a la dilatación de las pupilas en presencia de frecuencias específicas y variaciones de intensidad.

Estos cambios no son necesariamente dañinos, ya que, dependiendo de la frecuencia y la intensidad, el sonido puede crear distintas reacciones en el cuerpo. Por lo general un sonido armónico a un nivel discreto crea un efecto relajante y, por lo contrario, un ruido muy fuerte crea un daño físico resultando en un efecto dañino para el cuerpo y por consecuencia para la mente.

3.2 Efectos Psicológicos

El sonido puede alterar el estado psicológico de una persona ya sea de manera directa o indirecta. Si es un sonido directo como una conversación, una pieza musical o algo que ocupe la atención de una persona, o sea que preste atención al sonido conscientemente. Esta persona reaccionará ante el sonido ya sea emocionalmente o racionalmente, pero siempre con una reacción predeterminada ante el sonido. Por lo contrario un sonido indirecto afecta inconscientemente a una persona y puede llegar a crear alteraciones en el sueño, la memoria, la atención y el procesamiento de la información. Así mismo puede llegar a influir en un estado de ánimo no solo debido a su contenido textual o rítmico, sino por su potencia y frecuencia que juegan un nivel importante a la hora de escuchar.

Los efectos psicológicos del sonido se puede decir que son incontables, ya que depende de la reacción de cada persona ante un sonido repetitivo o de gran intensidad, debido a que cada uno tiene su propio nivel de tolerancia ante estas cualidades.

Por lo general un sonido a un nivel de intensidad muy fuerte puede provocar dificultades para conciliar el sueño. La aparición súbita de un ruido puede producir alteraciones en la conducta que puede hacerse más agresiva o mostrar un mayor grado de desinterés o irritabilidad.

En tareas donde se utiliza la memoria, se observa un mejor rendimiento en los sujetos que no han estado sometidos a sonidos fuertes o molestos. Ya que retener la atención ante un estímulo auditivo ruidoso, se torna más difícil.

El sonido puede crear un estado de relajación o estrés en una persona de una manera muy fácil y rápida. Debido a que el sentido del oído está trabajando constantemente y sin interrupción, el sonido puede llegar a alterar el estado mental de una persona solamente con estar presente y sin estar consciente de su presencia.

Debido a que el estrés y la relajación son estados mentales que se consideran distintos en cada persona, ya que no se puede llegar a medir con una cantidad exacta de decibeles ni frecuencias en que momento sobrepasa el límite. Pero se puede entender que el sonido ya sea directo o indirecto, genera una reacción distinta. Si es un concierto de Beethoven o el ruido de un taladro mecánico, ambos crean un efecto psicológico específico dentro de cada individuo.

Claro está que existen patrones generales, hay tipos de sonidos que influyen sobre el estado de ánimo de todos de manera parecida. Por ejemplo, los timbres agudos tienden a excitar y tonificar más que los graves, por una cuestión puramente física.

Las células que reciben las vibraciones sonoras y que transmitirán el sonido al cerebro a través del nervio auditivo, están agrupadas más densamente en el área receptora de los sonidos agudos, por lo que la cantidad de impulsos nerviosos que llegan al córtex es mayor. De manera que para activar, tonificar, estimular movimiento, es más lógico utilizar sonidos agudos y para relajar sonidos graves. Pero incluso así, cada persona puede necesitar ser estimulada de una manera o de otra dependiendo de su realidad vital y existencial en cada momento.

3.3 Contaminación sonora

La contaminación sonora es producto del conjunto de sonidos ambientales nocivos que recibe el oído. El ruido como parte de la contaminación ambiental, afecta seriamente a la capacidad auditiva provocando el envejecimiento prematuro del oído, sordera y daños irreversibles en el sistema auditivo. A la vez provoca otros trastornos en el organismo.

Según Francisco Javier Tablero: "Hace setenta años el ruido no existía como campo separado de investigación tratándose como un capítulo periférico de la física. Solo comenzó a contemplarse como materia autónoma a partir de la II Guerra Mundial cuando la industria pesada, la construcción de carreteras y el tráfico aéreoferroviario lo convirtió en problema social." (2008, p.855)

Los efectos nocivos del ruido sobre la salud van desde las alteraciones cardiovasculares, falta de concentración, aumento del estrés, síndromes de depresión y del sueño hasta la disminución del apetito sexual, generando la disminución de la calidad de vida.

Las sociedades modernas conviven con el ruido, pero desconocen sus efectos irreversibles. Este tipo de contaminación que deteriora el ambiente y altera la vida de las personas, se encuentra en el mundo cotidiano. Algunos ejemplos: el motor de los vehículos, las bocinas de los autos particulares o de transporte público, la construcción, las industrias, los bares y discotecas, los altavoces y parlantes, el tráfico aéreo y los aeropuertos, etc.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señaló que Buenos Aires, desde el año 2003, se convirtió en la ciudad más ruidosa de América Latina, y la ubicó en el cuarto lugar del ranking mundial, detrás de Tokio, Nagasaki y Nueva York. Y según la OMS, 1 de cada 10 personas sufre trastornos auditivos.

A continuación una tabla que muestra el rango entre decibeles y el impacto que genera en el oído humano un ruido cotidiano.

DB	Fuente del ruido	Impacto en el ser humano
150	Estampido sónico, bomba de estruendo	Peligro de sordera
130	Despegue de avión a reacción	Umbral de dolor
125	Moto a escape libre	Peligro de daño en el acto
120	Martillo neumático	Peligro de daño en el acto
115	Bocinazo, concierto de rock, discoteca	Peligro con más de 15 minutos de exposición
110	Maquinaria industrial	Muy perjudicial
105	Aeropuerto a 300 m	Muy perjudicial
100	Obra en construcción a 15 m	Perjudicial
95	Motosierra, cortadora de césped	Perjudicial
90	Estación de subte	Levemente perjudicial
85	Compresor, tráfico intenso	Límite tolerable
75	Paso de tren a 50 m, calle transitada	Soportable

Figura 18: Cuadro de Intensidad Sonora Fuente: Geoambiental.com

Los sonidos muy fuertes provocan molestias que van desde el sentimiento de desagrado y la incomodidad hasta daños irreversibles en el sistema auditivo. La presión del sonido se vuelve dañina a unos 75 dB y dolorosa alrededor de los 120 dB. Puede causar la muerte cuando llega a 180 dB. El límite de tolerancia recomendado por la Organización Mundial de la Salud es de 65 dB.

El oído necesita algo más de 16 horas de reposo para compensar 2 horas de exposición a 100 dB, que puede ser una discoteca ruidosa. Los sonidos de más de 120 dB, por ejemplo auriculares con un alto nivel de volumen o un recital masivo de rock and roll, pueden dañar a las células sensibles al sonido del oído interno provocando pérdidas de audición.

La sensación de calificar un sonido como molesto también es subjetiva. O sea cada persona tendrá su propia tolerancia ante un sonido específico. En la vida diaria no se encuentran vibraciones sino motoristas escandalosos, canciones que hacen bailar, anuncios divertidos o murmullos que interrumpen el trabajo. Un sonido puede afectar negativamente a la salud sin que sea valorado como ruido por el oyente.

Según Kryter: "la música rock electrónicamente amplificada puede ser deseada psicológicamente pero no físicamente" (1985 p.33)

El crecimiento demográfico, la industrialización, el aumento de la movilidad de las personas y la aglomeración en los núcleos urbanos son factores que incrementan la contaminación sonora. Estas causas provocaron que en el último siglo se hayan elevado excesivamente los niveles de ruido.

A pesar de los grandes avances tecnológicos que existen en la actualidad, el ruido sigue siendo un contaminante de gran magnitud, sobre todo en las grandes ciudades y ciertos ámbitos laborales e industriales. Los efectos de la contaminación sonora sobre los seres vivos son alarmantes y aun están muy poco difundidos.

3.4 Sonido Armónico

El estudio de la armonía es tan extenso que se remonta hasta la Antigüedad. Los grandes pensadores griegos, reconocidos músicos, famosos matemáticos y científicos, entre otros, han desarrollado varias teorías que hasta la fecha se siguen estudiando y debatiendo para comprender la estructura y la forma en que el humano percibe las frecuencias armónicas. En principio es un tema que relaciona la aritmética y la matemática, las cuales fundaron la base de las teorías que en la actualidad forman parte de las grandes leyes de armonía.

Pero no se puede hablar de armonía sin introducirse en la estructura musical. Es aquí donde la matemática y la música se ven intrínsecamente relacionadas. Siendo dos corrientes totalmente distintas ya que una apela al razonamiento y la lógica extrema, mientras la música se caracteriza por ser la expresión abstracta, pura y espontánea del sentimiento humano.

Platón afirmaba que: "Así como los ojos están para la astronomía, los oídos están para percibir los movimientos de la armonía"
(300 A.C)

Cabe entonces decir que este descubrimiento del número en la música, los pitagóricos lo aplicaron a toda la naturaleza por lo cual su cosmología va a tener la característica de otorgarle orden, proporción y medida a todo dentro del universo. Es decir, cada elemento en particular es lo que es por la proporción en que se

combinan sus partes con el resto de la naturaleza, y todas las partes tienen estos mismos elementos.

El orden, la proporción y la medida son las partes fundamentales que componen la armonía. Si todos los cuerpos tienen estos elementos, los números, todo esta en armonía, de ahí surge pues la célebre concepción pitagórica de la "armonía de las esferas", en la cual existen infinidad de cuerpos celestes en el cosmos moviéndose en armonía, y pueden ser representados por números.

Algunos pensadores suponen que el movimiento de los cuerpos celestes deben producir un sonido, dado que en la Tierra el movimiento de cuerpos de mucho menor tamaño produce dicho efecto. Afirman, también, que cuando el sol, la luna y las estrellas, tan grandes y en tal cantidad, se mueven tan rápidamente ¿cómo podrían no producir un sonido inmensamente grande? A partir de este argumento y de la observación de que sus velocidades, medidas por sus distancias, guardan igual proporción que las consonancias musicales, aseveran que el sonido proveniente del movimiento circular de las estrellas corresponde a una armonía. (Aristóteles 384-322 A.C)

Los aportes más recientes al estudio de la armonía, se han realizado con el fin de relacionar la música mediante la matemática, unificando las teorías antiguas a conocimientos de acústica y fenómenos que se presentan dentro de la física del sonido.

Existen tres leyes básicas para comprender el sonido armónico.

Ley de Octavas: está basada en el estudio de Pitágoras, quien descubrió que al mover la altura de un sonido, más agudo o más grave, llega un momento en que se repite el mismo sonido con las mismas características pero en otra frecuencia. Esto se conoce como octava dentro de la estructura musical.

Ley de Armónicos: se fundamenta en la serie de armónicos naturales que genera un sonido, es decir, cuando se toca un sonido determinado, se generan dentro de él sonidos que son menos audibles a los cuales se llaman armónicos, que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

Ley Auditiva Humana: Esta ley se basa en el promedio de como el oído humano percibe el sonido de acuerdo a las limitaciones audibles. Estas limitaciones se clasifican en:

A. **El rango Audible:** Se demuestra que el promedio audible humano escucha frecuencias aproximadamente desde 20Hz hasta 20 kHz.

B. **Alturas audibles:** El oído puede diferenciar con más facilidad frecuencias superpuestas una de otra cuando sus alturas sonoras se diferencian más, y viceversa. A medida que 2 frecuencias que se asemejan en altura el oído las confunde.

La percepción de la armonía es casi perfecta para el cerebro humano, ya que este órgano es el encargado de ordenar y transmitir la información que recibe por medio del aparato auditivo, para luego transformarlo en elementos audibles. De la misma manera el cerebro posee patrones y métodos selectivos que hasta la fecha siguen siendo estudiados.

El cerebro es un órgano electroquímico y su conformación actual en el ser humano es el resultado de transformaciones sufridas a lo largo de millones de años de evolución. El sistema auditivo central está formado por los nervios acústicos y los sectores del cerebro dedicados a la audición.

A través de los nervios acústicos, el cerebro recibe patrones que contienen la información característica de cada sonido y los compara con otros almacenados en la memoria para identificarlos. Aparentemente, si el patrón recibido difiere de los patrones almacenados, el cerebro intentara adaptarlo a alguno de los conocidos. Esto es notable por ejemplo en la percepción de series armónicas. Si se recibe un número determinado de frecuencias aisladas, el cerebro intenta relacionarlas, identificándolas como parte de una serie armónica, generando incluso la percepción de la altura determinada por su frecuencia fundamental, aunque ésta no esté físicamente presente.

Entendiendo el mecanismo del cerebro y su procesamiento en respuesta al sonido, es evidente que cuando se comunican sonidos armónicos se procesa de mejor manera la información.

Capítulo 4. La Influencia de la Música

Definiendo el concepto de música, se puede decir que, básicamente es el arte de organizar sonidos y silencios a través de un tiempo determinado. El origen etimológico proviene de la palabra Musa, que en idioma griego antiguo aludía un grupo de personajes míticos femeninos que inspiraban a los artistas.

Se puede decir que la música se descubrió en un momento similar a la aparición del lenguaje. El cambio de altura en la voz produce un canto, de manera que es probable que en los orígenes de la raza humana apareciera de esta manera.

Según O.S Bareilles la música en la antigüedad: "es aquella en la cual las manifestaciones musicales del hombre consisten en la exteriorización de sus sentimientos a través del sonido emanado de su propia voz y con el fin de distinguirlo del habla que utiliza para comunicarse" (1968)

Se han encontrado evidencia de rastros de música en la mayoría de sitios arqueológicos en todo el mundo. Sin importar el lugar, raza o religión, la presencia de la música a lo largo de la historia hasta la actualidad, es imprescindible.

La influencia que ha tenido sobre la vida del ser humano ha sido de mucha importancia, ya que ha existido desde las eras primitivas. De manera que ha sido una evolución paralela y sin interrupción, ya que en la actualidad se sigue expandiendo el estudio musical con la aparición de nuevas ideas y tecnologías.

4.1 Evolución musical

El origen de la música y el transcurso de su evolución, es un tema extenso que ha llevado incontables siglos de estudio e investigación a lo largo de la historia. Desde sociólogos antiguos como Jean Jaques Rosseau, a científicos como Charles Darwin, hasta escritores modernos como Stephen Hawking. Han dejado teorías sobre el origen de la música, que como mencionado antes, es intrínseco al origen del lenguaje.

De igual manera el origen de la música es desconocido, ya que al principio no se utilizaban instrumentos musicales para interpretarla, sino la voz humana o el uso del cuerpo, que no dejan huella en el registro arqueológico. Así que todas las teorías que apelan al origen de la música no se pueden sostener sobre fundamentos científicos ya que carecen de evidencia.

El hombre empezó a imitar los sonidos de la naturaleza con su propia voz a su vez experimentando con sonidos emitidos con su propio cuerpo. Más tarde con el uso de materiales encontrados en la naturaleza previo a la creación de herramientas específicas. De esta manera produciéndose los primeros ritmos musicales interpretados por un ser humano.

Se han encontrado evidencias de instrumentos antiguos que datan a eras prehistóricas. Dejando las primeras evidencias arqueológicas sobre la existencia de la música en la vida antigua.



Figura 19: Flauta Paleolítica

Fuente: www.nature.net

Los primeros humanos modernos que poblaron Europa hace unos 30.000 ó 40.000 años ya disfrutaban de la música. Así lo confirma la aparición de una flauta realizada con un hueso de buitre en la cueva de Hohle Fels, en el suroeste de Alemania. El primitivo instrumento que una vez perteneció a un músico del Paleolítico tiene cinco agujeros para los dedos y, a pesar de estar partido en doce piezas, sus descubridores, investigadores de la Universidad de Tübingen, aseguran que es, con mucho, el más completo de todos los instrumentos musicales hallados en esta zona de gran riqueza arqueológica. (2009, Revista Nature)

Los registros arqueológicos musicales que se atribuyen a civilizaciones del Lejano Oriente, como Japón y China, poseen características totalmente diferentes en comparación con civilizaciones del Medio Oriente y del Mediterráneo. Inclusive la música en la India no pasó inadvertida, aun cuando su situación geográfica alejada de Europa impidió que le conociese durante siglos.

La aparición de los primeros registros de escritura o notación musical se atribuyen a la antigua Grecia, ya que el sistema musical se nutrió de los principios de Pitágoras. Quien a través de varios estudios estableció la relación numérica en las notas musicales, dando lugar a la octava musical. Sin embargo, es a partir de la música de la Edad Media, principalmente el Canto Gregoriano, cuando se comienza a emplear el sistema de notación musical que evolucionaría al actual.

Según Gastón Mathias: "Los neumas (especie de estenografía consistente en rayas, acentos, y puntos). Eran colocados sobre el texto de himnos religiosos y el director del coro los interpretaba por medio de sus manos, señalando los ascensos y descensos de los sonidos a los cantos que entonaban de memoria" (1978)

En el Renacimiento, Guido D'Arezzo introdujo los últimos rasgos definitivos con que se le conoce hoy al sistema musical, que como todo lenguaje ha ido variando según las necesidades expresivas del momento. Las distintas formas de notación musical y los soportes empleados han sido muy diversos a lo largo de la historia, y son objeto de estudio por parte de musicólogos e historiadores de la música.

En la actualidad se han desarrollado nuevas áreas dentro de la música gracias a la tecnología moderna. El sonido analógico y digital han abierto un camino nuevo a la hora de crear música, ya que permiten producir y grabar de manera fácil y rápida. También existe la opción de post producción que abre infinitas posibilidades al compositor.

4.2 Matemática en la música

Anteriormente se había mencionado que Pitágoras fue quien encontró la relación numérica entre los tonos armónicos. Y que fue el primero en darse cuenta que la música podía ser medida con números enteros.

Lo que descubrió realmente fue que al dividir una cuerda en ciertas proporciones iguales era capaz de producir sonidos placenteros al oído. Esto era una confirmación de su teoría ya que el mundo físico y emocional podía ser descrito con números y existía una relación armónica entre todos los fenómenos perceptibles.

Esto se puede comprender al tener conocimiento sobre la física de la onda sonora. La característica fundamental de un sonido es su altura o frecuencia. La magnitud de esta frecuencia se mide por medio de un número de oscilaciones, y es aquí donde parte la relación entre el número y el sonido.

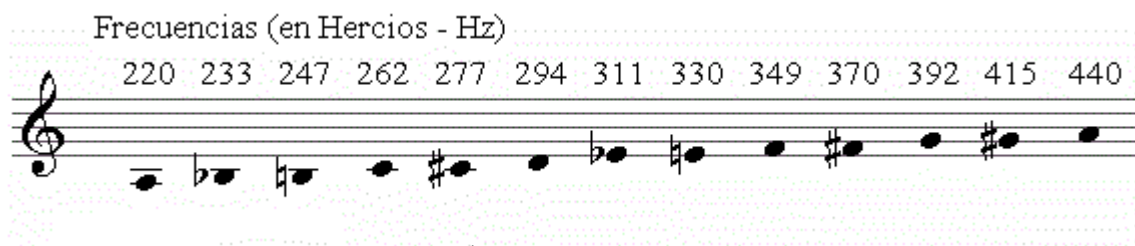
De la misma manera, las notas musicales son alturas específicas, que a través del estudio de armónicos se ha establecido un número entero para cada nota musical.

Existen siete notas musicales, DO, RE, MI, FA, SOL, LA, SI.



Figura 20: Escala Diatónica Fuente: www.wikipedia.com

En realidad las siete notas se convierten en doce si intercalamos notas intermedias, que constituyen la llamada escala cromática: Do, Do#, Re, Re#, Mi, Fa, Fa#, Sol, Sol#, La, La#, y Si.



El símbolo # se llama *sostenido*, e indica un tono intermedio entre la nota que lo nombra y las siguiente. En solfeo se aprende que además existen los *bemoles*, representados por la *b*.

De esta manera se estableció el sistema musical dodecafónico que se utiliza como estructura musical en la actualidad.

Dos sonidos puros simultáneos pueden dar una sensación consonante o disonante. Esto depende de la relación entre sus frecuencias. La consonancia perfecta, se produce cuando ambos tonos tienen la misma frecuencia elemental.

Es obvio que la mejor consonancia es cuando una frecuencia es el doble de la otra. La sensación percibida es que son ambas la misma nota, pero una más aguda que la otra. Es de esta manera como se producen los acordes.

Los acordes son un fundamento base dentro de la composición musical. Esto no significa que la composición de una pieza sea hecha a base de

cálculos numéricos, pero la armonía de sus notas si depende de la consonancia matemática de sus frecuencias elementales.

Como se puede observar, casi todos los elementos externos de la música se definen numéricamente, por ejemplo: 12 notas por octava; compás de 3/4 o 4/4; 5 líneas en el pentagrama; 1 semitono, cierto número de decibeles, hertz, etc.

La presencia de los números dentro de la estructura musical es constante y necesaria, pero es prácticamente desconocida la aplicación de algunos conceptos matemáticos a otros aspectos de la música como son el análisis, los aspectos estéticos y la composición.

Gottfried Leibniz describe a la música como: "un ejercicio inconsciente en la aritmética" (1700).

Esta afirmación quizás se podría justificar sobre la base de que el músico intérprete cuenta los tiempos del compás cuando comienza a estudiar una obra pero después de un tiempo de tocarla, ya no está contando conscientemente sino que deja fluir la música.

Es aquí donde los caminos se separan, donde la razón y el sentimiento entran en juego. Aunque los caminos no se crucen, ambos son necesarios y avanzan paralelamente. Inclusive a lo largo de la historia han existido grandes compositores que han tratado de buscar el balance perfecto entre la matemática y la música dentro de sus mismas composiciones.

De igual manera, adentrarse en un tema como la música, es tan extenso que llevaría mucho tiempo analizar puntualmente todos sus detalles

matemáticos. Lo que si queda en claro es que los números son parte elemental del fenómeno vibratorio sonoro. Y la música como estructura formada a base de sonidos, está conformada por elementos numéricos que en conjunto dan vida a la armonía musical.

4.3 El impacto social y cultural

La música siempre ha desempeñado un papel importante dentro de la cultura y la sociedad. En muchas ocasiones la música forma parte de la tradición de un país o de una región, a tal punto que puede llegar a distinguir a una población entera solamente por sus costumbres musicales.

También puede causar grandes cambios emocionales dentro de una persona, ya sea positiva o negativa. Pero estas variaciones de mentalidad y ánimo no pueden medirse a un nivel sociológico, ya que la respuesta a una pieza musical en específico, es interpretada de una manera distinta por cada persona. Es decir, el estímulo que causa la música dentro del ser humano es una experiencia individual.

Más allá del impacto sentimental que la música pueda causar dentro de una persona, también puede llegar a afectar su entorno y el desarrollo de su aprendizaje. Sobre todo si la música es aplicada a edades tempranas, como por ejemplo, aprendiendo a tocar un instrumento o desarrollando la voz dentro del canto.

Según la revista científica "Investigación y Educación": "La vida sensitiva y emocional del ser humano precisa de formación y educación

musical, no sólo para su propio beneficio, sino también para el de la sociedad en la que vive; ya que éste es, ante todo, de naturaleza social. La música, al ser un lenguaje preverbal, prelógico y emocional, contribuye a la formación de la sensibilidad estética en niños y adolescentes, lo cual es de gran importancia para la consecución de una vida emocional sana." (2005)

La música es de gran utilidad para liberar la tensión y la fatiga, y debería tener un lugar muy importante dentro del círculo familiar. La práctica del canto o de tocar un instrumento puede tener efectos positivos para favorecer la autorrealización, aumentar la autoestima, alentar el conocimiento mutuo y la cohesión familiar. La música, siendo una actividad que frecuentemente se realiza en grupo, contribuye a la integración social y al ser el desempeño individual de suma importancia para el logro del resultado final, simultáneamente impulsa la responsabilidad y la superación personal.

Susan Langer considera que la música es el mejor canal artístico para expresar sentimientos por las siguientes razones:

1. La música es una forma de lenguaje simbólico de mayor abstracción que las otras artes.
2. La música facilita más que otras artes la expresión de los sentimientos y de las emociones.
3. La música es una forma simbólica inacabada que permite al ser humano ver proyectados en ella sus estados de ánimo.

4. Los sentimientos humanos son expresados con mayor congruencia bajo formas musicales que a través del lenguaje, por lo que la música puede revelar la naturaleza de los sentimientos con más detalle y verdad que éste último.

5. La posibilidad de expresar cosas opuestas simultáneamente, confiere a la música la posibilidad más intrincada de expresión y consigue con ello ir mucho más lejos que otras artes.

(1951)

Esto muestra lo importante que es brindar una educación musical adecuada desde los primeros años de vida, nutriendo la sensibilidad y la emotividad de los niños, enseñándolos a conocer la belleza y la estética musical. Es relevante la necesidad del conocimiento de las diferentes corrientes, ya que en todas y cada una de ellas, existe música de calidad. De esta manera se contribuye a la formación de un criterio artístico cultural y permita al joven elegir entre la música que tiene un valor real y artístico, en diferencia con aquella de baja calidad, que ha sido creada puramente bajo criterios comerciales. Así al llegar a la adolescencia, edad muy vulnerable a la influencia social y al bombardeo de los medios, los jóvenes sabrán elegir lo que verdaderamente les guste, independientemente de lo que la publicidad les dicte a través de los medios de comunicación.

A lo largo de la historia, la música ha sido parte importante de la vida del ser humano. Aunque debido al desarrollo de las civilizaciones y a los avances científicos y tecnológicos, su función ha sufrido enormes modificaciones.

En la sociedad actual se ha perdido la búsqueda del arte estético, ya que en el campo musical se acepta cualquier cosa con tal de que llame la atención y tenga una imagen que venda. Que perdure no es importante, al contrario, el objetivo es que no perdure, porque detrás hay grandes intereses económicos que favorece el ciclo rápido de productos, dejando atrás la calidad por cantidad.

4.4 Función dentro de la religión

La música desde su origen, ha tenido un contexto religioso y mitológico. En la prehistoria la música formaba parte de los rituales, el sonido y el fuego simbolizaban la vida, mientras que el silencio, la quietud y la oscuridad eran ejemplos de la muerte. Estos rituales podían consistir en una danza hasta la extenuación alrededor del fuego, practicando algún tipo de rito, exteriorización de sentimientos y emulando animales para bendecir o maldecir sus espíritus. La naturaleza siempre ha sido fuente de inspiración para el humano, ya sea por temor o agradecimiento, pero siempre ha existido un vínculo de respeto.

La música dentro de la religión, ha tenido gran influencia sobre sus seguidores debido al gran poder que puede llegar a crear. Desde cantos gregorianos, canciones de alabanza, ritmos tribales repetitivos, mantras budistas, plegarias islámicas, salmos, etc.

Según Serafina Blasco: "la música puede despertar, evocar, estimular, robustecer y desarrollar diversas emociones y sentimientos. Es una

fuentes de placer, y puede provocar catarsis y sublimaciones. También puede traer a la memoria olores y colores, y modificar el estado de ánimo del oyente y su percepción del espacio y del tiempo" (1999)

En la Edad Media la música era estrictamente religiosa, todo lo que era creado fuera de la iglesia se le reconocía como música profana. Y no se posee casi ningún tipo de registro sobre la música profana de esos tiempos. Sin embargo si se tiene registro de un tipo de música religiosa muy conocida, el Canto Gregoriano también conocido como canto llano.

Desde el siglo VII hasta el XVI el Canto Gregoriano fue el tipo de música más importante en el mundo occidental. En estos mismos siglos se fue constituyendo y seleccionando un repertorio que, en honor a su primer recopilador, el Papa Gregorio II, se llama canto gregoriano.

Como la música de otras culturas en ese entonces, era fundamentalmente monódica, o sea de una sola línea melódica en la que no interviene para nada la armonía, sin acompañamiento de instrumento, el ritmo del Canto Gregoriano es libre y no sometido a la rigidez métrica del compás.

Alfred Tomatis, encontró que los sonidos que contienen armónicos de alta frecuencia, como los cantos gregorianos, son extremadamente beneficiosos para la salud del cuerpo humano. Descubrió los efectos terapéuticos del canto de alta frecuencia cuando los guías espirituales de un monasterio benedictino fueron a verlo para pedirle ayuda.

Tras el Concilio Vaticano II, el nuevo abad del monasterio creyó que las seis u ocho horas de canto de los monjes no servían a ningún propósito útil y el canto cesó. Al poco tiempo, los monjes se mostraban cansados y deprimidos. Varios médicos intentaron, sin éxito, poner remedio a esta situación. Se descubrió que los monjes habían suspendido su práctica diaria de cantos, sin el efecto terapéutico y de carga energética de sus cantos, los monjes no podían continuar con su riguroso horario de trabajo y oración. Una vez restablecido el canto diario, los monjes pronto pudieron volver a sus jornadas laborales de veinte horas. (1959 Tomatis, A.)

Este tipo de canto posee una vibración alta en sus frecuencias, ya que los armónicos emitidos por la voz humana, en conjunto y con un tiempo de prolongación avanzado, puede llegar a elevar la vibración dentro del cuerpo creando un estado de trance tanto en el corista como en el oyente.

En la cultura tibetana, los monjes budistas practican un canto similar, el cual se repite a lo largo de una sesión de meditación, sumado a varias posturas de cuerpo y metódicos sistemas de entonación de las cuerdas vocales. Los mantras han sido parte de la tradición religiosa budista por miles de años.

Mantra es una palabra sánscrita que significa, pensamiento que libera y protege, son sonidos que cuando se recitan tienen la capacidad de cambiar la conciencia del recitador. De ahí se dice que un mantra es

un instrumento para liberar la mente del flujo constante de pensamientos que la confunden.

La silaba del sanscrito, Om, es el símbolo de lo esencial en el budismo. Significa unidad con lo supremo, la combinación de lo físico con lo espiritual. Es la sílaba sagrada, el primer sonido del Todopoderoso, el sonido del que emergen todos los demás sonidos, ya sean de la música o del lenguaje.

Esta reconocida silaba budista, se dice que tiene el poder de elevar la vibración del cuerpo humano a niveles supernaturales. Ya que su resonancia dentro del cuerpo, por un tiempo prolongado y correctamente emitido, puede llegar a crear estados alterados de conciencia dentro de una persona.

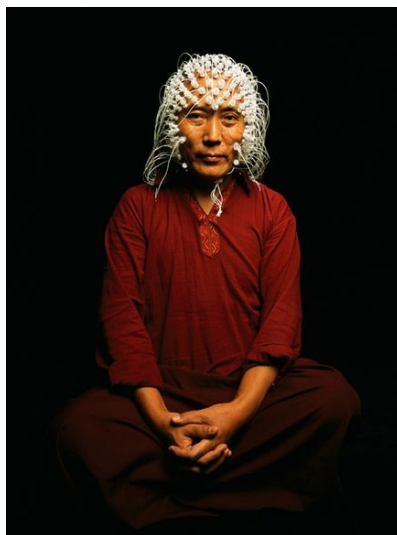


Figura 22: Monje Budista Fuente: National Geographic

La revista *National Geographic* llevo a cabo un estudio en el año 2005 a cargo del doctor James Shreeve, en donde se sometieron a prueba varios monjes tibetanos expertos en el arte de la meditación.

El asombroso resultado de la actividad cerebral a la hora de realizar las prácticas meditativas, dejaron sin lugar a duda que los mantras crean un alto nivel energético y sensorial dentro del cuerpo humano.

James Shreeve afirma: "la actividad sensorial de cada uno de los monjes es algo inexplicable. Logran comunicar los hemisferios del cerebro por medio de repetición de silabas específicas, elevando el estado de actividad en el córtex cerebral" (2005)

Luego de someterse a estas pruebas, los monjes budistas regresaron sin mayor asombro a sus países, sabiendo que el hallazgo era fascinante no parecieron sorprendidos, asegurándole al científico James Shreeve que tenían conocimiento del poder del mantra sin necesidad de experimentos modernos.

Capítulo 5: Tecnología sonora moderna

La tecnología es una herramienta que ha crecido a gran escala en las últimas décadas y ha llegado a alcanzar niveles impresionantes en diversas áreas de la ciencia, arte, comunicación, entre otros.

La aparición del sonido digital por ejemplo, dio un cambio rotundo en el mundo sonoro, apareciendo nuevas técnicas de grabación, producción, composición musical, etc. Esto ha abierto nuevas puertas y ha facilitado el uso de estas herramientas al público, ya que en la antigüedad solamente ciertas personas que poseían accesos a los equipos necesarios podían grabar y reproducir sonidos de una manera profesional, debido a que los costos de los instrumentos necesarios eran sumamente altos.

En la actualidad es muy fácil encontrar las herramientas requeridas para manipular el sonido, ya sea para estudiar profesionalmente, para un cortometraje o para emprender un proyecto musical, tener un estudio de grabación en casa es algo normal. Inclusive han aparecido nuevos estilos de música que son basados estrictamente en sonidos electrónicos formando una de las corrientes mas populares en la actualidad como lo es la música techno, trance, etc.

Así mismo, también se ha logrado perfeccionar el estudio del sonido con instrumentos modernos que dan la precisión necesaria para afirmar y ampliar teorías antiguas que habían sido creadas en base a otros métodos. La ingeniería en sonido, la electroacústica, la holofonía entre otras, se ven favorecidas gracias a la existencia de las computadoras y el mundo digital que rodea al ser humano hoy en día.

5.1 La Cymatica

La palabra Cymatics deriva del griego *Kuma* u *onda*, y sirve para describir los efectos periódicos que tienen el sonido y la vibración de la materia. O sea la Cymatica es el estudio de los fenómenos de ondas y vibraciones, es una metodología científica que demuestra la naturaleza vibratoria de la materia y la naturaleza de transformación del sonido.

La palabra Cymatica fue introducida en el año 1940 por el físico y especialista Dr. Hans Jenny, quien fue uno de los pioneros en este tipo de experimentos sonoros, colocando partículas de materia sobre placas de metal y exponiéndolas a frecuencias altas de sonido.

Cuanto más se estudian estas cosas, más nos damos cuenta de que el sonido es el principio creativo. Debe ser considerada como primordial. Ninguna categoría fenomenal solo puede ser reclamada como el principio de los aborígenes. No podemos decir, en el principio fue el número, o en el principio era la simetría. Estas son las propiedades categóricas que están implícitas en lo que da a luz y lo que se dio a luz. Mediante el uso de ellas nos acercamos al poder creativo. Este poder es inherente a la del tono en el sonido. (Hans Jenny 1967)

El experimento del doctor Jenny consta básicamente de una placa metálica y partículas de algún material sensible, ya sea líquido o solido, para luego ser expuestas a vibraciones creadas por simples frecuencias.

Las regiones de máxima y mínima de desplazamiento se hacen visibles en una fina capa de partículas. Los diferentes patrones emergen en el medio dependiendo de la geometría de la placa y la frecuencia de excitación.

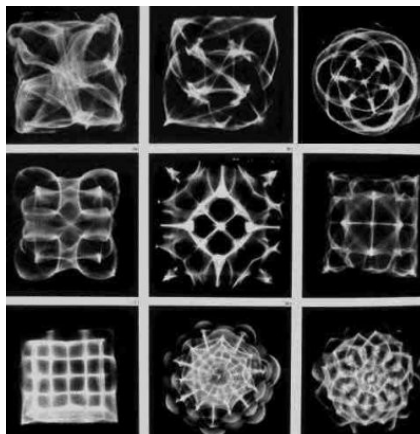


Figura 23: Cymatica Fuente: Cymatics vol.1, H.Jenny

El doctor Jenny deja en ambas volúmenes de su libro *Cymatics*, deja una documentación escrita y fotográfica de los efectos de las vibraciones del sonido sobre compuestos líquidos, sales y polvos.

Jenny afirma que: "Esto no es una regulación del caos, se trata de un modelo dinámico, pero ordenado" (1970)

Pero Jenny no fue el primero en experimentar la Cymatica, antes de el HERN CHLADNI sentó las bases para la disciplina dentro de la física que se dio en llamar la acústica, la ciencia del sonido. Entre los éxitos de Chladni fue encontrar una manera de hacer visible lo que generan las ondas sonoras. Con la ayuda de un arco de violín que atrajo de forma perpendicular por el borde de las placas planas cubiertas de arena, produjo los patrones y las formas que hoy van por el término figuras de Chladni.

Chladni demostró una vez por todas que el sonido realmente afecta a la materia física y que tiene la calidad de creación de patrones geométricos.

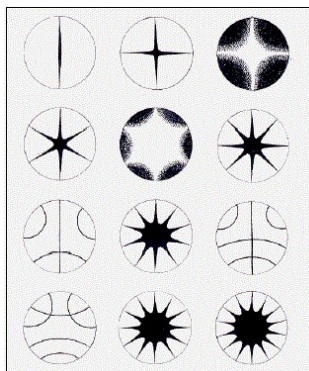


Figura 24: Figuras de Chladni Fuente: *Cymatics vol.1*, H.Jenny

La Cymatica muestra cómo las vibraciones interactúan para crear el mundo en el que se vive, y saca a la luz los principios ocultos que subyacen en todos los procesos naturales. Una vez observada la interacción rítmica del caos y la reintegración en un simple polvo, se puede ver sus propias circunstancias tumultuosas como un proceso evolutivo que conduce a un propósito de coherencia mayor.

Lo que Jenny destaca es la similitud entre las formas y patrones que se ven alrededor en la realidad física y las formas y patrones que se generan en sus investigaciones. Jenny estaba convencido que la evolución biológica es el resultado de las vibraciones. También estaba convencido que la clave para entender cómo se puede curar el cuerpo con la ayuda de las frecuencias sonoras, se encuentra en la comprensión de cómo las diferentes frecuencias influyen en los genes, células y estructuras diversas en el cuerpo.

5.2 Musicoterapia

Esta nueva rama de la ciencia se dedica al manejo de la música y sus elementos, en donde por medio de un profesional calificado se emplea una sesión a un paciente o grupo específico. La musicoterapia tiene como fin desarrollar potenciales o restaurar las funciones del individuo de manera que éste pueda lograr una mejor integración personal y consecuentemente una mejor calidad de vida a través de la prevención, rehabilitación y tratamiento por medio de la música.

Según la Federación Mundial de Musicoterapia o F.M.M: "La musicoterapia es una técnica obviamente terapéutica utilizada para sanar distintas afecciones del cuerpo y de la mente mediante la música en todas sus formas y géneros." (2010)

La música es un magnífico punto de referencia para que los seres humanos se identifiquen, ya que cada cultura alrededor del mundo posee su propia música. Cada punto geográfico, histórico, social y psicológico tiene su particularidad musical.

Generalmente una persona asocia su estado de ánimo a la melodía de numerosas obras musicales. Precisamente la musicoterapia recurre a estas melodías como método para curar o reducir diversos problemas de salud. La idea de base es reconocer que gran parte de las enfermedades tienen su origen en el cerebro, quien luego transmite a una parte del cuerpo un estímulo determinado que reproduce una enfermedad. Con la musicoterapia se intenta hacer llegar al cerebro unos estímulos que le lleven a una relajación o anulación de los que

reproducen la enfermedad a través de diversas frecuencias y melodías con las que se pueden conseguir efectos sorprendentes.

Los efectos de la música sobre el comportamiento han sido evidentes desde los comienzos de la humanidad. A lo largo de la historia, la vida del hombre ha estado influenciada por la música. Ya que ha sido un medio de expresión y comunicación, que debido a sus efectos emocionales y de motivación se ha utilizado como instrumento para manipular y controlar el comportamiento del grupo y del individuo.

La utilización de la música como terapia tiene sus raíces en la prehistoria, puesto que se sabe que la música estuvo presente en los ritos religiosos a través de las diversas culturas en el mundo. Sin embargo, los primeros escritos que aluden a la influencia de la música sobre el cuerpo humano son los papiros egipcios descubiertos por Petrie en la ciudad de Kahum en 1889. Estos papiros datan de alrededor del año 1500 a.C y en ellos ya se racionaliza la utilización de la música como un medio capaz de curar el cuerpo, calmar la mente y purificar el alma.

En la Edad Media también se aplicó la música como medio de sanación, ya que se utilizaban las frecuencias Solfeggio que son los sonidos utilizados en cantos gregorianos. Posteriormente fueron eliminadas del sistema musical tonal por varias razones, ya que se ha comprobado que las frecuencias Solfeggio pueden alterar y modificar la vibración dentro de las personas. Esto es similar a la utilización de la música en las culturas prehispánicas que utilizaban la música y la danza como método de curación en sus rituales chamanicos.

La música es un estímulo que enriquece el proceso sensorial, cognitivo y también enriquece los procesos motores. Así mismo, diversos tipos de música pueden reproducir diferentes estados de ánimo.

Existen 2 tipos principales de música en relación con sus efectos: la música sedante, que es de naturaleza melódica sostenida, y se caracteriza por tener un ritmo regular, una dinámica predecible, consonancia armónica y un timbre vocal e instrumental reconocido con efectos tranquilizantes. La música estimulante, que aumenta la energía corporal, induce a la acción y estimula las emociones. (F.M.M 2010)

La música produce múltiples respuestas que pueden ser voluntarias o involuntarias. Dependiendo de las circunstancias personales de cada paciente, cada estímulo sonoro puede inducir una variedad de respuestas en las que se integran tanto los aspectos fisiológicos como los aspectos mentales. Así, el bebé agita sus miembros cuando reconoce una canción entonada por su madre, los adolescentes se reconfortan anímicamente con su música preferida. Y los ancianos vuelven a sentirse jóvenes al escuchar una pieza musical antigua.

La musicoterapia constituye una aplicación funcional de la música con fines terapéuticos, se preocupa esencialmente de promover a través del sonido una amplia circulación energética en la persona, para investigar las múltiples transformaciones que induce en el sujeto, el impulso inherente al estímulo sonoro y a aplicar la música para solventar problemas de origen psicosomático.

5.3 Ondas Binaurales

Son procesamientos del cerebro creados por sonidos, es decir, la percepción que surge en el cerebro para crear el estímulo del sonido. Este efecto fue descubierto en 1839 por Heinrich Wilhelm Dove, y obtuvo una mayor conciencia pública a finales del siglo XX sobre la base de afirmaciones que las ondas Binaurales podrían ayudar a inducir relajación, meditación, creatividad y otros estados mentales deseados.

Las ondas Binaurales manipulan las ondas cerebrales de manera que inducen estados de conciencia temporales sobre un individuo.

Las ondas cerebrales se determinan como las actividades eléctricas que se generan en el cerebro. Se encargan primordialmente de dirigir todas y cada una de las funciones motoras del cuerpo humano y gracias a ellas es que el organismo en general se mueve, descansa, entra en diferentes estados de consciencia y produce cualquier actividad biológica que se lleva a cabo a diario.

Las ondas binaurales son nuevas técnicas empleadas en terapias como musicoterapia y otras técnicas alternativas de sanación por medio de ondas sonoras. También existe música binaural producida específicamente para manipular la actividad sensorial del cerebro e inducirlo a distintos estados alterados de conciencia.

Según Guyton & Hall: "Esta actividad cerebral se produce de manera inconsciente, las ondas se miden en Hertz y se dividen en cuatro tipos." (2005)

Ondas Beta: Están ubicadas en una frecuencia de 13 a 30 hertz. Son las ondas cerebrales que se encargan de determinar la actividad del ser humano cuando se encuentra despierto. En esta frecuencia funcionan los diferentes sentidos del ser humano como mirar, tocar, oler, degustar y escuchar. Cuando realizamos estas acciones son precisamente las ondas beta las que dirigen la actividad cerebral.

Ondas Alfa: Están ubicadas en una frecuencia de 8 a 12 hertz. Se presentan en el momento de dormir cuando el cuerpo humano empieza a entrar en un absoluto estado de tranquilidad y relajación. En este instante el cuerpo se sincroniza plenamente con la mente, generando poca actividad cerebral, lo que genera en la persona un estado de paz y tranquilidad. También se les reconoce en el campo científico como Ondas de Berger, en memoria a Hans Berger, el primer investigador que aplicó la electroencefalografía a seres humanos.

Ondas Theta: Están ubicadas en una frecuencia de 4 a 7 hertz. Se presentan claramente en un estado de sueño profundo. Precisamente ellas son las encargadas de crear estados de subconsciencia, lo que conocemos como los sueños, abriendo amplios espacios en el cerebro de mayor receptividad siendo más fácil para cualquier personas recibir información, guardarla y procesarla para luego darle utilidad en procesos creativos. Este estado cerebral es muy fácil de reconocer en los ojos cerrados de cualquier persona pues existe el REM, Rapid Eye Movement, conocido en español como el MOR, Movimiento Ocular Rápido. Como su nombre lo dice se muestra un movimiento en el ojo cerrado que refleja una alta actividad cerebral.

Ondas Delta: Están ubicadas en una frecuencia de 1 a 3 hertzios. Se caracterizan por ser ondas presente mientras dormimos pero a diferencia de las ondas theta aquí no existen los sueños. Es un estado que se puede identificar en la hipnosis o cuando una persona entre en coma, la actividad cerebral es bastante baja pero continua con los procesos básicos de funcionamiento del cuerpo.

Brainwave Laboratories afirma que: "Mediante la utilización de las ondas binaurales se ha llegado a recrear estados de conciencia alterados con el fin de sanar problemas psicosomáticos en pacientes con desequilibrios mentales o problemas emocionales."

Todos estos diferentes estados de consciencia generados por estas ondas cerebrales son determinantes, tal vez no son notables a simple vista pero los especialistas han comprobado su existencia por medio de técnicas de investigación como la electroencefalografía y la magneto-encefalografía que son instrumentos que miden los campos electromagnéticos generados por el cerebro.

El doctor H. Calabrese explica: "Los ritmos binaurales pueden influir en el cerebro humano generando ondas cerebrales capaces de producir relajación, sueño, estados alterados de conciencia, sueños lúcidos, creatividad, eliminación del dolor y otros beneficios para la salud física o psicológica." (2006)

Conclusiones

Luego de un extenso recorrido por las distintas facetas del sonido en esta investigación, es evidente la importancia del rol que juega el fenómeno sonoro dentro de la vida del ser humano.

Desde sus principios básicos como la física del sonido, las teorías de acústica y electroacústica, que comprueban que las ondas sonoras existen a un nivel físico por más que el ojo humano sea incapaz de verlas, comprueba que existe un universo de ondas sonoras que se desplazan e interactúan con los cuerpos tangibles. También se ha podido afirmar que las ondas afectan la materia que encuentran en su recorrido, creando un impacto dentro de los cuerpos y por consecuencia influye en varios aspectos físicos y psicológicos en las personas.

Las teorías de percepción auditiva y el proceso que lleva a cabo el órgano del oído junto con el cerebro demuestran una evolución impresionante dentro de la anatomía humana. Una evolución que ha tomado miles de años perfeccionarse para que la especie pueda interactuar con sonidos de una manera inteligente.

De esta manera se afirma que el sonido ha cumplido un rol importante dentro de la evolución humana, pero también posee múltiples efectos que no pueden ser escuchados ya que sobrepasan el espectro auditivo que posee el oído humano. Los efectos fisiológicos y psicológicos que pueden llegar a causar el uso de frecuencias audibles o inaudibles son de suma importancia.

Se ha comprobado que tanto el uso de frecuencias armónicas como también el ruido caótico producen varios efectos dentro de las personas. Ya que las frecuencias armónicas pueden llegar a influenciar en estados de ánimo, de concentración y logran que el cerebro procese de una mejor manera la información resultando en un estado placentero para un individuo. Pero también la exposición a ruidos extremadamente fuertes puede llegar a ser dañino inclusive podría causar la muerte en ciertos casos.

Es importante saber que la contaminación sonora dentro de las grandes ciudades es un tema que se tiene que solucionar en un futuro, ya que la exposición a estos ruidos industriales afecta tanto el estado emocional y mental, así como también puede llegar a causar daños físicos irreversibles en los ciudadanos.

Otro de los aspectos importantes de este PG, fue profundizar la importancia que ha tenido la música dentro de la evolución en todo el mundo. La música es un elemento que se comparte con la mayoría de las culturas del planeta, y en cada una de ellas ha formado parte de su crecimiento social y espiritual, evolucionando paralelamente desde los tiempos prehistóricos hasta la actualidad.

También se ha podido analizar la importancia de la matemática dentro de la música, la perfección en los números y su relación con la estructura musical es un aspecto muy importante ha tomar en cuenta. Ya que en las distintas teorías de estructura musical que han existido en el mundo, cada cultura se ha basado en cálculos matemáticos a la hora de crear notación musical, ritmos o armonías.

Otro de los temas importantes dentro de la investigación, fue el análisis las distintas tecnologías modernas que han surgido en los últimos años, que han ayudado a expandir el conocimiento del universo auditivo y lo que se pretendía saber de él.

Ciencias innovadoras como la Cymatica han expuesto la importancia que tiene el sonido sobre el mundo físico. Comprobando que las ondas sonoras son capaces de moldear la materia y que al ser expuestas a frecuencias específicas crean patrones geométricos. Esto confirma la relación entre el sonido y la matemática, ya que por medio de los experimentos del Dr. Jenny, se pudo verificar que los patrones geométricos se repiten al presentarse los tonos armónicos y que en presencia de ruido las figuras son caóticas.

De esta manera se comprueba la suma importancia que juega el sonido dentro de la vida del ser humano y los efectos que tiene sobre él. Es evidente que se vive dentro de un mundo de ondas sonoras en constante fricción, conviviendo con infinidad de microorganismos y demás elementos invisibles, pero es claro que por mas que no se vean a simple vista tienen una gran influencia sobre todos. No solo lo que se ve al ojo desnudo existe, hay un universo de posibilidades que solo nuestro cerebro es capaz de interpretar.