ESTUDIO SOBRE MADERAS PARA GUITARRAS

Este es una recopilación que llevo algún tiempo elaborando y a medida que mas investigo va evolucionando, y algunos detalles se van puliendo acercándolo mas a la realidad, porque hay muchos mitos y conceptos que no corresponden con lo que uno se encuentra en vivo. Es un estudio realizado con la ayuda de muchos documentos, páginas web y libros (Algunos bastante antiguos), de los cuales he extraído lo mas significativo para lo que nos compete como son las guitarras. Quiero agradecer a muchas personas que han contribuido con aportaciones valiosísimas para completar este estudio, Dedico este estudio a todos aquellos amantes de las guitarras.

Todo lo que voy a decir es producto de una investigación que nació desde hace tiempo. Y aclarando mis dudas me he encontrado algunas cosas que pueden ser del interés general. He recopilado de varias fuentes información como dije reuniéndolas para aclarar mi objetivo.   
  
Una de las preguntas que siempre me he hecho es ¿Por qué siendo la misma madera, y mas aun siendo del mismo tablón, tiene que sonar distinto de una guitarra a la otra con los mismos componentes? Al final no se tiene una respuesta sino que surgen nuevas incógnitas que llevan a otras pero de esa forma se va desentramando poco a poco las dudas se llegando al fondo y se comprende en gran medida este fenómeno.

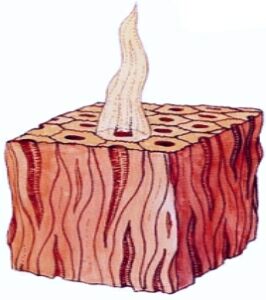
Que es la madera:

Para comenzar, es el resto que queda de un ser vivo y como tal es inimitable artificialmente, y a lo largo del tiempo se ve afectada por el medio, llegando inclusive a desaparecer totalmente.

La madera es la sustancia fibrosa y compleja de la que están formados el tronco y las ramas de un árbol. Como todo ser vivo su elemento fundamental es la célula. La unión de estas forman los tejidos que a su vez forman la masa leñosa.

Estas fibras leñosas están formadas por la superposición de vasos alargados y comunicados entre si.

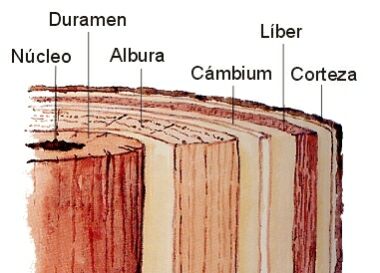
Fig. 1:



Cuando las células envejecen sufren una serie de transformaciones. A este proceso se le llama lignificación, y consiste en que dichas células se enriquecen en lignina, minerales y sustancias antisépticas o protectoras endureciéndose considerablemente formando el Duramen o madera perfecta. Este es uno de los procesos más influyentes en el sonido final de la guitarra. Dependiendo de los minerales transportados a estas células que poco a poco van sustituyendo el agua, es donde se va a obtener uno u otro tono y por consiguiente la variación del peso de un mismo instrumento hecho con el mismo tipo de madera. Existe la creencia de que a mayor o menor peso es mejor o peor una guitarra, pero lo que en realidad determina este fenómeno son los minerales en ella depositados a lo largo de los años y del grosor de las fibras. Hay guitarras muy pesadas y muy ligeras que suenan estupendamente bien. Las maderas destinadas para la custom shop o guitarras de fabricación especial de las distintas firmas, han sido estudiadas considerando muy significativamente este detalle para la elección de las mejores maderas. De hecho el proceso de crecimiento y los minerales que se encuentran en la tierra de donde toma los nutrientes es uno de los factores determinantes para hacer esta elección. Por otra parte si se desconoce de donde procede la madera, un estudio a nivel microscópico revelaría estos depósitos en sus células

En el tronco se pueden ver distintas capas, cada una con una función especifica para su desarrollo:

Fig. 2



El núcleo es la parte central del tronco, por lo general casi siempre esta integrado al Duramen, que es la parte mas dura del tronco y donde la madera tiene las mejores características para su uso. La Albura o madera joven, es aquella madera en donde el proceso de crecimiento ha cesado y madura para formar parte más adelante del Duramen. El Cambium o madera nueva, es donde se va formando la nueva capa anual, incrementando el diámetro del tronco. Esta madera al terminar su ciclo pasará a formar parte de la Albura iniciando el proceso el ciclo anual de crecimiento. El Líber es una de las partes más importantes en la vida de un árbol ya que es la encargada de transportar alimentos y desechos del árbol a la tierra. Y por último la Corteza la cual es la piel del árbol que la protege del clima y cualquier agresión que pudiese tener el árbol como golpes, fuegos etc.

El ciclo de crecimiento está determinado por las estaciones anuales. Cada una deja su huella en el crecimiento en forma de anillos, completando el ciclo cada cuatro estaciones, o cada dos si hablamos de maderas tropicales. Agentes externos como humedad, nutrientes, clima, atmósfera, latitud y ubicación en la superficie, determinan la formación de las anillos.

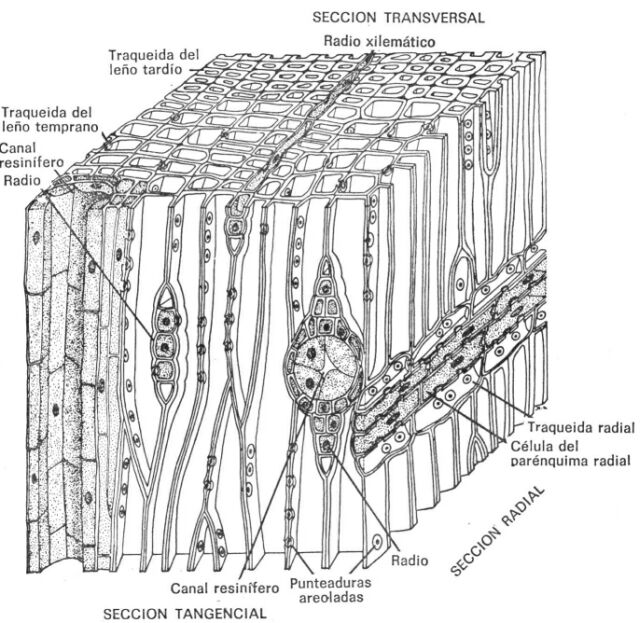
Dichos anillos se diferencian debido a que en las distintas estaciones ocurren cambios en la estructura y crecimiento del árbol. En invierno el crecimiento del árbol se detiene prácticamente, mientras que en verano es donde se desarrolla más ampliamente. Mientras mas constante sean los elementos climáticos mejor madera obtendremos.

De hecho las mejores maderas se obtienen en zonas cercanas al Ecuador (+ o - 30 grados hacia el Norte o hacia el sur), o donde existe un clima poco variable a lo largo del año, como son las regiones cercanas a los polos. Al igual que en un bosque las maderas externas o que bordean al mismo, presentan muy malas condiciones, porque absorben de una manera mas directa los cambios climáticos, mientras que los árboles que crecen protegidos por esta barrera presentan maderas optimas para su uso.

Estructura microscópica de la madera:

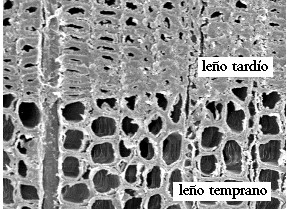
Como se puede observar en la figura 2a, la madera no es mas que un cúmulo de vasos comunicantes que forman las fibras.

Fig. 2a



y su estructura puede verse afectada por su crecimiento.

Fig.2b



Como se puede observar en la figura anterior el crecimiento lento compacta más la madera que el crecimiento temprano. Esto trae como consecuencia un aumento en el peso de la madera. Esta es una de las razones por las cuales un mismo tablón suena distinto dependiendo de donde se haga el corte.

En las siguientes imágenes se puede observar que en una misma madera hay infinitas formas de desarrollo y por consiguiente infinidad de tonalidades en cada una.

Fig. 2c

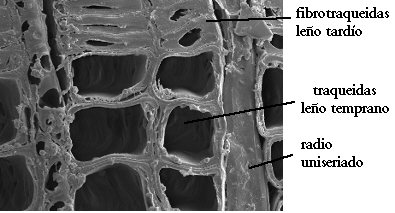
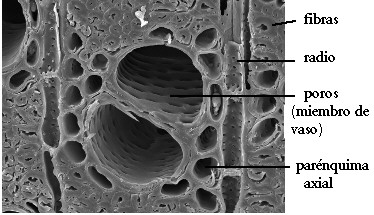


Fig.2d

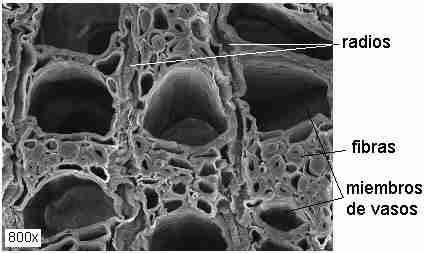
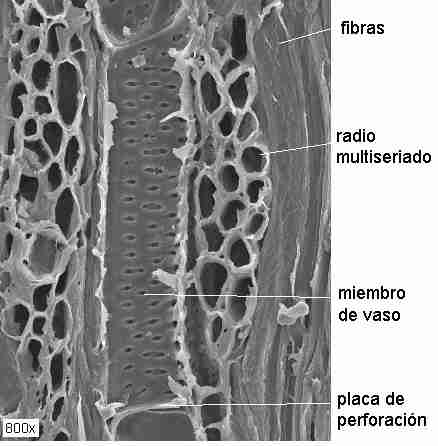


Fig.2e

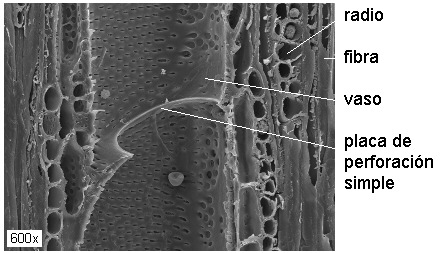
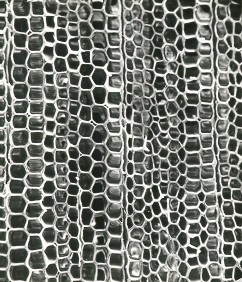
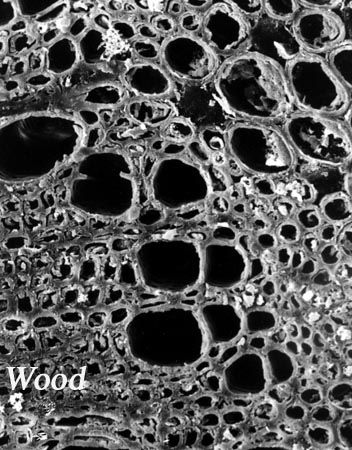


Fig. 2f



Para que comparen les pongo dos fotos microscópicas en las cuales a simple vista se pueden observar estructuras maderas extremas que se utilizan en la construcción de guitarras. La primera figura corresponde a la Caoba y la segunda al Pino.

Fig. 2g

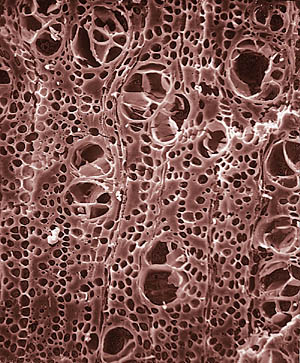
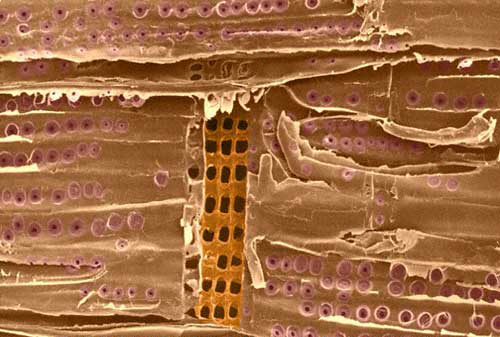


Fig.2h



Me imagino que ya habrán adivinado la utilidad del microscopio para la elección de la madera.

Para empezar a comprender este fenómeno citaré algunas de las propiedades físicas de las maderas

Propiedades físicas:

Las propiedades de la madera dependen, del crecimiento, edad, contenido de humedad, clases de terreno y distintas partes del tronco. Aquí se resume, como he dicho, todo el secreto del resultado final. Vamos a desarrollar algunos conceptos de utilidad para comprender mejor este fenómeno, que no es más que un conjunto de circunstancias, que reunidos óptimamente dan un resultado estupendo a la hora de ejecutar nuestro instrumento.

Humedad:

La madera contiene agua de constitución, inerte a su naturaleza orgánica, agua de saturación, que impregna las paredes de los elementos leñosos, y agua libre, absorbida por capilaridad por los vasos y traqueidas.   
Como la madera es higroscópica, absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente. El agua libre desaparece totalmente al cabo de un cierto tiempo, quedando, además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmósfera que rodee a la madera, hasta conseguir un equilibrio, diciéndose que la madera esta secada al aire.   
La humedad de la madera varía entre límites muy amplios. En la madera recién cortada oscila entre el 50 y 60 por ciento, y por imbibición puede llegar hasta el 250 y 300 por ciento. La madera secada al aire contiene del 10 al 15 por ciento de su peso de agua, y como las distintas mediciones físicas están afectadas por el tanto por ciento de humedad, se ha convenido en referir los diversos ensayos a una humedad media internacional de 15 por ciento.   
La humedad de las maderas se aprecia, además del procedimiento de pesadas, de probetas, húmedas y desecadas, y el colorimétrico, por la conductividad eléctrica, empleando girómetros eléctricos. Estas variaciones de humedad hacen que la madera se hinche o contraiga, variando su volumen y, por consiguiente, su densidad.

Densidad:

La densidad real de las maderas es sensiblemente igual para todas las especies, aproximadamente 1,56. La densidad aparente varía no solo de unas especies a otras, sino aún en la misma con el grado de humedad, minerales absorbidos y sitio del árbol. Para hallar la densidad media de un árbol hay que sacar probetas de varios sitios.   
Como la densidad aparente comprende el volumen de los huecos y los macizos, cuanto mayor sea la densidad aparente de una madera, mayor será la superficie de sus elementos resistentes y menor el de sus poros.   
Las maderas se clasifican por su densidad aparente en:   
- Pesadas, si es mayor de 0.8.   
- Ligeras, si esta comprendida entre 0.5 y 0.7.   
- Muy ligeras, las menores de 0.5.   
  
Es de hacer notar que la densidad juega un papel importantísimo en la transmisión y resonancia del sonido en una madera.   
La densidad varía según la cantidad de agua y minerales contenida, luego de haberse producido su corte y al someterla al secado.   
Cuanto más densa es la madera, mas dura esta será, y por lo tanto nos dará un tono mas agudo Otra clasificación que se realiza de las maderas, esta vez por su densidad, en maderas pesadas, semis pesadas y livianas.   
  
Las maderas mas secas son las menos elásticas. La elasticidad, mayor en las maderas duras que en las blandas, permiten clasificar las maderas para usos específicos.

Contracción e Hinchamiento:

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. Cuando pierde agua, se contrae o merma, siendo mínima en la dirección axial o de las fibras, no pasa del 0.8 por ciento; de 1 a 7.8 por ciento, en dirección radial, y de 5 a 11.5 por ciento, en la tangencial.   
La contracción es mayor en la albura que en el duramen, originando tensiones por desecación que agrietan y alabean la madera.   
El hinchamiento se produce cuando absorbe humedad. La madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido axial o de las fibras, y de un 2.5 al 6 por ciento en sentido perpendicular; pero en peso, el aumento oscila del 50 al 150 por ciento. La madera aumenta de volumen hasta el punto de saturación (20 a 25 por ciento de agua), y a partir de él no aumenta más de volumen, aunque siga absorbiendo agua. Hay que tener muy presente estas variaciones de volumen en las piezas que hayan de estar sometidas a oscilaciones de sequedad y humedad, dejando espacios necesarios para que los empujes que se produzcan no comprometan la estabilidad de la obra.

Dureza:

La dureza de la madera es la resistencia que opone al desgaste, rayado, clavar, etc. Depende de su densidad, edad, estructura y si se trabaja en sentido de sus fibras o en el perpendicular. Cuanta más vieja y dura es, mayor la resistencia que opone. La madera de corazón tiene mayor resistencia que la de albura: la crecida lentamente obtiene una mayor resistencia que la madera que crece de prisa.   
Por su dureza se clasifican en:   
- Muy duras; ébano, serbal, encina y tejo.   
- Bastante duras; roble, arce, fresno, álamo, acacia, cerezo, almendro.   
- Algo duras; castaño, haya, nogal, peral, caoba, cedro.   
- Blanda; Abeto, alerce, pino, sauce.   
- Muy blandas; tilo, chopo.

Conductividad:

La madera seca es mala conductora del calor y electricidad, no así cuando esta húmeda.   
La conductividad es mayor en el sentido longitudinal que en radial o transversal, y más en las maderas pesadas que en las ligeras o porosas, por lo cual se emplean como aisladores térmicos en los pavimentos y paredes.

Dilatación térmica:

El coeficiente de dilatación lineal de la madera es muy pequeño, pudiendo ser despreciado.

Duración:

La duración de la madera varía mucho con la clase y medio. A la intemperie, y sin impregnar depende de las alternativas de sequedad y humedad: el roble dura 100 años: álamo, sesenta a noventa años; pino, alerce, cuarenta a ochenta años; sauce dura treinta años. Se admite como duración media de la madera enterrada la de diez años   
  
  
Como se puede observar son muchos los factores que intervienen en el proceso de obtención del tablón final para la elaboración de una guitarra En este proceso los factores externos son fundamentales e influyen directamente en el sonido final de nuestro instrumento.   
  
Alec Nisbett, está considerado, como uno de los mejores técnicos de sonido que hay. Trabaja para la BBC y ha escrito muchos y buenos libros sobre el tema. Que sirven de libros de texto en las facultades de todo   
el mundo. Tomando algunos datos que él ha estudiado muy bien confrontado con experimentos. Paso a citar algunos conceptos básicos para entender el comportamiento del sonido.

-Frecuencia y longitud de onda:   
  
Están estrechamente relacionadas, Una fuente vibrando rápidamente (alta frecuencia), produce un sonido con una Longitud muy pequeña, y a la inversa.   
Alta frecuencia: Sonido "agudo"   
Baja frecuencia: Sonido "grave"

-Efecto temperatura:   
  
La velocidad de transmisión del sonido, aumenta con la temperatura.   
Las condiciones ambientes, van a modificar el sonido de la guitarra.

-Fase y suma de sonidos:   
  
Fase, se ha definido como cada una de las subdivisiones de una longitud de onda de un cono (Cada una de las "ondas" que aparecen en su representación gráfica).   
  
Sonidos complejos y por tanto con formas de onda compleja, se forman por adición de muchas ondas simples (se suman las ondas que están "en fase" y se anulan las que están en "contrafase"). Este es el concepto que deberíamos tener mas claro, a efectos de analizar el por qué unas maderas suenan de determinada forma y otras, de otra.   
Un trozo de madera, está formado por infinidad de sistemas (cada una de las células del árbol de donde hemos obtenido esta madera), a su vez generando su propio "sonido". La suma de todos estos millones de   
sistemas, será el sonido resultante. Por ello, cada madera (e incluso cada trozo de un árbol), tiene "su sonido", que además va a ser imposible "repetir".

-Energía:   
  
La energía de una fuente de sonido, depende de la amplitud de la vibración

-Acoplamiento:   
  
Para convertir, la energía almacenada en una fuente sonora vibratoria en energía acústica en el aire, las dos deben de estar "acopladas", eficientemente.   
En la guitarra, se da esta condición, puesto que la vibración de las cuerdas, se transmite por el puente a la madera, donde "resonará", en función de la estructura que esta tenga. Y a la inversa, por lo que "el   
sonido" de cada madera, se transmite a las cuerdas y estas a los PU. Este es el motivo de que nosotros podamos "percibir la madera de que está hecha una guitarra. (Sin llegar a lo del Eric Johnson, de quien se dice, es capaz de distinguir "la marca", de la pila de 9 V que lleva un pedal de efectos, o el previo de sus guitarras)

-Cavidades resonantes:   
  
Dependiendo del tamaño de la abertura en una caja, el interior de la misma, "resuena" a una frecuencia determinada. La estructura de la madera, constituye un cúmulo de cámaras de Helmholtz. O lo que es lo mismo. Dependiendo del tamaño del poro (no me refiero al poro que se ve, sino al del tamaño de las células, propias de ese tipo de madera) que tenga esta, obtendremos un sonido u otro.   
  
Ahora podremos saber las razones, de que cada madera suene como lo hace. Este es el punto crucial de este estudio A nivel molecular es donde esta uno de los secretos de la madera para que suene de una un otra forma.   
Es importante no solo esto si no también la veta de la madera que como explico un poco mas adelante influye enormemente también en el sonido final.   
  
  
  
MADERAS EN LA GUITARRA ELÉCTRICA.

Antes de comenzar, podría poner montones de fotos de las distintas especies, pero es algo totalmente inútil, ya que como referencia es muy relativa. Una misma madera puede tener apariencias muy distintas, a pesar de ser de la misma especie. Son sus rasgos y constitución los que marcan la diferencia. Es como cuando uno va a China, todos más o menos tienen rasgos característicos, pero ninguno es igual a otro.

Los datos son bastante generales, ya que al ser un ente vivo, sus variables son infinitas. Voy a citar las más usadas en la fabricación de guitarras.

CAOBA:

Esta madera es bastante común es guitarras, pero hay muchas variedades utilizadas tanto en guitarras de gama baja, media y alta. Dependiendo de la especie y del lugar de origen, van a influir tanto en la calidad, como en el peso, y fundamentalmente en el sonido como en todas las especies. Esta es una constante a aplicar en cualquier madera.

Es una madera que oscila en un rango entre medianamente pesada y muy pesada con un rango de dureza de entre 1,9 (Blanda) y 2,7 (semidura) (Estos valores dependen de la especie, calidad y procedencia).   
Excelentes cualidades "resonantes". Sobre todo la especie que se conoce "Caoba de Honduras", que esto no quiere decir que únicamente proceda de ese país si no que pertenece a la especie Swietenia macrophylla, y se puede encontrar desde el sur de Méjico hasta Brasil. Se utiliza en guitarras de alta gama por su resonancia al igual que su equivalente africana Khaya ivoresis y Khaya anthotheca. El peor o mejor resultado en esta madera para su utilización en guitarras, influye mucho el medio ambiente aunque se encuentre dentro de la misma región.  
Peso medio-alto.   
Muy fácil de trabajar.   
No es, una madera "bonita", pero existen ejemplares rizados de gran belleza.    
Su estructura hace que proporcione un sonido con mucho punch, y tonos que tienden hacia los medio-grave. Los agudos quedan un poco, en segundo plano.   
Es una de las maderas más utilizadas en la construcción de guitarras eléctricas con pastillas humbuckers.   
Actualmente, escasea la de buena calidad (es un problema común, a casi todas las maderas que veremos).   
¿Os suena lo de que "las guitarras de caoba de ahora, es decir, las nuevas son una porquería"?. En gran medida se debe a que, en sus guitarras sólidas, los fabricantes emplean casi exclusivamente la Caoba de baja calidad, ya que la de alta calidad esta entre las especies protegidas, y solo se destinan a producción para las custom shop, boutique, colecciones privadas, luthieres de renombre, etc. Algunas empresas se han dedicado a reforestar aquellos lugares donde han extraído la madera hace 50 años, pero dichas reforestaciones controladas y aceleradas con productos químicos, no presentan las propiedades naturales de la madera.

ARCE:

Madera muy dura, pesada y de grano fino.   
Es quizás la especie la más empleada en la construcción de guitarras, sobretodo en los mástiles.   
Proporciona un sonido mucho más brillante (más agudos) que la caoba, al igual que un gran "ataque" en el sonido.   
Es más abundante que esta, puesto que se explota también para obtener el sirope de Maple, una especie de "miel vegetal" que dan estos árboles. (Sólo los Acer saccharum)   
Existen varios tipos, según sea el árbol del que provenga, la zona y el   
dibujo que presenta:   
  
Bird´s eye Maple (Arce ojo de pájaro)   
Rock Maple (sería el Arce "normal")   
Flame Maple (Arce Flameado)   
Curly Maple (Arce rizado)

Hay muchas mas variedades de arce que son utilizadas para la construcción de guitarras, pero lamentablemente hay personas que los instrumentos le entran por los ojos y solo se usan por su estética mas no por sus propiedades sonoras como por ejemplo el Spalted Maple, que no es mas que el arce atacado por un hongo que se introduce entre las fibras y ataca a la madera dando origen a figuras bastante curiosas, pero la madera en si es producto de una enfermedad y como tal presenta una fragilidad y una densidad poco adecuada para aportar un buen componente al sonido. De hecho dependiendo de la gravedad, hay que trabajarla con sumo cuidado porque se deshace con el mecanizado.  
  
Excepto el Flame Maple, los demás, son prácticamente iguales en cuanto a propiedades de sonido, dureza etc. Este (Flame), es un poco más blando y menos denso, lo que le da, un sonido ligeramente diferente al resto. Su ventaja, es la de ser, uno de los Arces mas bonitos y útiles como tapa en una guitarra. No es conveniente usarlo para mástiles por la disposición de sus fibras.   
  
La gradación del Flame Maple, al igual que con el Curly Maple, se hace con una escala de "A". Que nos van a indicar la calidad del "dibujo" que tiene. Cuantas mas "A", mas dibujo presenta la madera (que es lo que se busca principalmente en este tipo)

Así que estéticamente hablando:  
  
A: es el de baja calidad   
AA: sería el "normal"   
AAA: es el "muy bueno"   
AAAA, en adelante: es el "buenísimo"

FRESNO:   
  
Madera que va desde la dura y pesada, hasta ligera y medio-blanda, pero con excelentes cualidades resonantes. (Muchas de las mejores Teles y Stratos de la historia, se han hecho con esta madera).   
  
Se emplea exclusivamente para fabricar los cuerpos (no el mástil)   
  
En Inglés se llama Ash y tiene muchas variedades pero son dos las variedades mas utilizadas.   
  
El Ash (normal). Seguramente la madera mas "equilibrada" en cuanto a sonido, aunque un poco agudo y sobre todo muy pesada de las empleadas en la construcción de guitarras eléctricas sólidas.   
  
El Southern Ash o Swamp Ash. De menor peso y densidad. Además, suele ser algo más "vistosa" por sus dibujos y tiene una respuesta un poco (muy poco), mas "media" que el Ash normal.   
  
La inmensa variedad que presenta esta madera (en cuanto a densidad peso etc.), hace que sea una "aventura" el encontrar la madera adecuada en cuanto a sonido, si compramos instrumentos de serie.   
Ejemplo: Dentro de una serie, pongamos por caso de Stratocaster hechas de Ash (Aliso), podemos encontrar unas guitarras deplorables y otras que suenan maravillosamente, debido a que la madera proviene de diferentes árboles.   
Es una madera que no ofrece "seguridad" a menos que haya sido seleccionada cuidadosamente (por el Luthier, o constructor), a diferencia de otras, que presentan menos "sorpresas"

ALISO:   
  
Es una variedad de Abedul (mas o menos un "chopo”). Por lo tanto, una madera muy blanda y ligera, pero con unas cualidades resonantes, altísimas.   
Todas las demás Stratos y Teles de nivel, que se han hecho, y no eran de fresno, lo eran de Aliso.   
Tiene la ventaja de que es, relativamente abundante (los Alisos, crecen "rápido") y por lo tanto barata.   
Existen excelentes guitarras hechas de Aliso (sobretodo si se les pone una "tapa" gruesa, de Flame Maple).   
  
KOA:   
  
Acacia Hawaiana. Una de las maderas más bonitas que se emplean en la construcción de guitarras.   
Es muy escasa (pero "muy" escasa). Ya que exclusivamente crece en las islas Hawái.   
Sus propiedades son muy parecidas a la de la Caoba, pero con una respuesta mas extendida en agudos. (Una especie de Caoba, pero mucho más equilibrada).   
La Flame Koa (Koa flameada), es posiblemente, la madera mas bonita que se puede emplear para una guitarra. También se sabe su calidad por la escala de las A (A, AA, AAA, AAAA)   
Su precio (casi mejor "no saberlo")   
La Koa normal, es excelente para construir Bajos eléctricos.

NOGAL:   
  
Madera pesada y bastante dura (cuando es bueno).   
Si tiene dibujos, suele ser precioso.   
Sus cualidades acústicas son muy buenas (incomprensiblemente se utiliza poco, puesto que no es un árbol en peligro de extinción y que además se cultiva) su principal inconveniente es que presenta muchos nudos, y se cuartea bastante durante el secado por lo que se pierde bastante tablones. Sin embargo una vez seca es excelente.   
Su sonido estaría entre la Caoba y el Arce. Los agudos que da una guitarra con el cuerpo de Nogal, son sin duda los mejores. No son muy "dulces", pero sin perder nada de la claridad. Los graves son   
nítidos y con cuerpo, al igual que los medios.    
En tiempos hubo una serie de Stratos con previo activo y tal, que se llamaba "Walnut", estaban hechas íntegramente de Nogal. Eran buenísimas (y no, como las de ahora).   
  
  
TILO:   
  
Madera ligera, de grano fino y blanda.   
Bastante corriente exceptuando el tilo de calidad que es muy escaso.   
Se suele "tapar" con colores sólidos, porque no tiene un dibujo bonito.   
Su sonido es muy "medio-grave".   
Tengo guitarras de Basswood que son una auténtica maravilla. No tienen nada que envidar a otras maderas, sin embargo también he escuchado otras que son una verdadera pena.   
Actualmente, es una de las más utilizadas, en función de su disponibilidad (árbol de crecimiento rápido) y precio.   
¿Guitarras de Basswood?: Las mejores Jem están hechas con esta madera y con Aliso y al igual que yo, algunos  luthieres de prestigio prefieren esta madera. Una de las guitarras metaleras más famosas de los ochenta es la Ibáñez Destroyer y esta hecha con esta madera. Tiene un sonido fuerte contundente cristalino y con cuerpo.

Rosewood:

Esta es la madera mas utilizada en diapasones y en guitarras de caja. Dura, de un aspecto bellísimo, con un sonido muy equilibrado. Junto al arce hacen una combinación excelente en mástiles.

Resumiendo:

A parte de estas maderas, existen infinidad de otras especies utilizadas en guitarras. Desde variedades exóticas como el Zebrano, Secuoyas, etc., hasta lo más normal y corriente como el pino, abeto, etc., que no describo aquí porque llenaría páginas y páginas de información que fácilmente se pueden recopilar en cualquier buscador como el Google. Si les interesa una especie en particular, pongan el nombre de la madera y busquen el nombre científico. Luego pongan en el buscador ese nombre científico y se van a aburrir de la cantidad de información al respecto.

CUALQUIER MADERA SIRVE PARA HACER GUITARRAS. Esto lo tengo comprobadísimo. Solo tenemos que usar nuestros sentidos y encontrar el tablón adecuado. Únicamente hay que observar lo imprescindible al seleccionar una madera

Los requisitos primordiales son que la madera sea consistente, sin defectos, nudos, rajaduras, que afecten su composición estructural. Peeeeeeeeero, no es tan sencillo. Si bien hay algunas maderas que son tradicionalmente preferidas, como por ejemplo el maple (arce) para la construcción del mástil, nada impide utilizar cualquier tipo de madera dura o semi dura.   
Algunas características a tener en cuenta a la hora de escoger una madera:

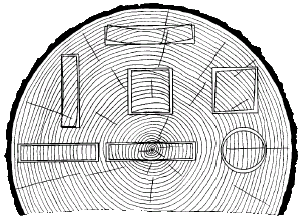
• Densidad: cuanto más densa la madera mayor será el sustain del instrumento debido a que la absorción o disipación de vibraciones será menor. La densidad es un compromiso entre el sustain deseado y la comodidad de un instrumento ya que cuanto más densa la madera más pesado será el instrumento. Esta densidad afecta también al tono de la misma, ya que varia de acuerdo al mismo siendo más o menos resonante dependiendo del caso.

• Estabilidad: la madera en contacto con el medio ambiente sufre cambios dimensionales debido a la contracción o expansión térmica (dilatación) y por el intercambio de vapor de agua (humedad) con el medio ambiente que la hincha. Algunas maderas son más susceptibles de cambio que otras, por ejemplo el ébano, a pesar de ser una excelente elección para el diapasón ya que combina una alta densidad, una buena dureza, una excelente homogeneidad y soporta muy bien los trastes (además de su natural belleza y intensa suavidad y capacidad de pulido), es muy inestable y sufre enormes y rápidos cambios dimensionales en contacto con el medio ambiente.

• Resistencia o tenacidad: la resistencia es una combinación de flexibilidad y dureza, cuanto más tenaz sea la madera mejores serán sus características para soportar la tensión ejercida por las cuerdas y mayor el sustain obtenido en el instrumento.

• Dureza: maderas más duras en el diapasón producen sonidos más brillantes y agudos, en contrapartida, maderas más blandas producen sonidos más graves y dulces.

• Forma de corte: según la forma en que está cortada la madera su tenacidad varía notablemente. La máxima tenacidad en una pieza de madera en particular se encuentra cuando sus vetas están verticales respecto a la fuerza ejercida. Por esta causa en luthería se utilizan maderas cortadas de forma que sus vetas estén lo más verticales que sea posible (cortada en cuartos o estilo holandés). Muchas veces es difícil conseguir maderas cortadas de esta forma ya que normalmente los troncos son cortados en láminas paralelas (es mucho más rápido y no se desperdicia madera) y entonces solo la lámina central tendrá las vetas verticales, sin embargo algunas veces se encuentran piezas con las vetas muy horizontales y dichas piezas pueden laminarse girándo cada lámina de forma que la veta quede vertical. Cada tipo de madera tiene una relación específica entre la tenacidad cuando la veta está vertical u horizontal llegando en algunos casos a 20 0 30 veces. Por otra parte las tablas que se cortaron con la veta vertical no se doblan ni se desforman al secarse (cuando la madera sufre el mayor cambio dimensional) y son mucho más estables

Fig 3  


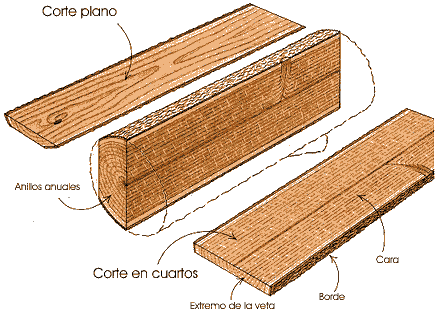
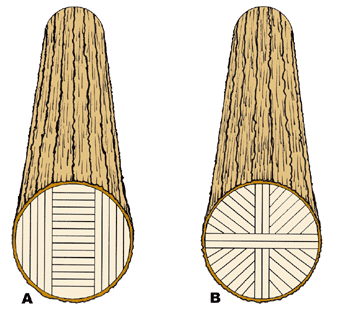
Deformación de la madera al secarse según su corte   
  
  
Fig 4  
  
  


Fig 5  


A=corte plano B=corte en cuartos, mas bien conocido como corte holandés. Este es el tipo de corte óptimo para obtener tablones de calidad para la elaboración de guitarras.  
  
  
  
  
  
• Vetas por milímetro: una mayor cantidad de vetas por milímetro significa un crecimiento más lento del árbol. Igualmente, una mayor cantidad de vetas por milímetro significa una mayor tenacidad.

• Nudos, rajaduras o defectos: Algunos nudos son aceptables en un instrumento, siempre y cuando sea un nudo compacto sin partes abiertas o desprendidas. En los cuerpos y mástiles sobre todo los neckthrough (el brazo atraviesa el cuerpo, no es atornillado ni pegado), los nudos, rajaduras y defectos son aceptables si reúnen esas condiciones y sean una parte sólida de la madera. Aportan una belleza muy especial en algunos casos. De hecho muchas variedades o especies de madera con enfermedades y defectos se usan en guitarras boutiques. El arce Splated es un gran ejemplo. Su consistencia es muy frágil, debido a que es un hongo que ataca al árbol enegreciendo las vetas por lo que es una madera "Enferma", pero el aspecto que da es espectacular. Yo particularmente huyo de estas maderas, ya que no aportan absolutamente nada al sonido, e inclusive se sacrifica el mismo para darle una apariencia especial a un instrumento. Yo soy de los que pienso que lo principal que hay que tener en cuenta que un instrumento es que se aprecia con los oídos mas no con la vista.

• Tacto: Sobre todo en el caso del mástil. Es una característica a tener en cuenta sobre todo en el diapasón. Es importante que  "agarre"  bien los trastes, y permita a la vez que un buen sonido una buena relación con los dedos cuando ejecutamos el instrumento. Tal vez el ébano sea la madera que mejor tacto tiene por su dureza, sensación sedosa y uniforme. Es una de las razones por las cuales es preferida para diapasones en instrumentos de calidad, al igual que el Palisandro del Brasil por su aporte en el sonido.  
  
No lo tienen fácil los de la custom shop a la hora de elegir las maderas.   
Otro aspecto para el sonido de nuestra guitarra es el acabado que le damos a la misma. Podemos tener una excelente madera en cuanto a sonido pero con el acabado la estropeamos o no dejamos que salga todo el potencial sonoro. Y por el contrario también podemos utilizarlo a nuestro favor para modificar y que suene mejor.

¿Conocéis estas herramientas? Seguro que si.

Fig 4  


Fig 5  


He visto en un libro antiguo que los luthieres usan estas dos herramientas, un poco mas rudimentarias debido a la época, para escoger las maderas con las que van a elaborar sus instrumentos musicales. Que os parece. El método del clavo y el oído mas refinado. Cuanto trabajo me hubiese ahorrado si fuera antes a la biblioteca jejejejejeje.

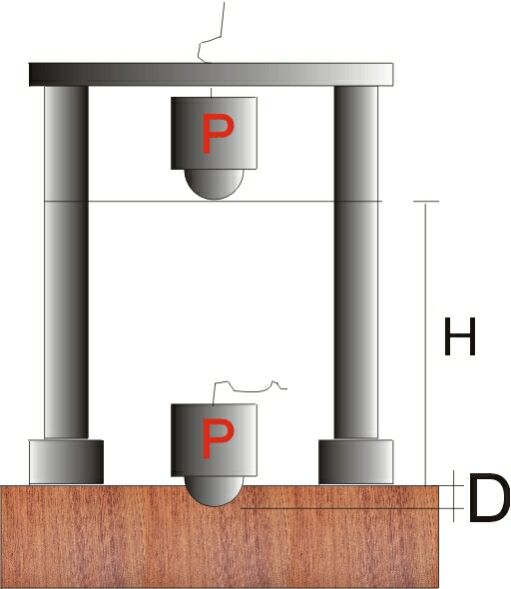
Otro excelente método es tener un palo redondo de una madera determinada (Siempre hay que usar el mismo), y golpear el tablón en toda su superficie y escuchar como resuena, pero para esto hay que tener un oído muy entrenado para detectar los leves matices que se van produciendo. Pero de esto haré referencia mas adelante.  
  
El Diapasón que es como también se llaman los artilugios en forma de "U" que vemos arriba en la  Fig 4, al golpearlos emiten un sonido que se transmite en forma de vibraciones en la parte del mango. Apoyando este en un extremo de la madera se percibe con el estetoscopio el sonido que transmite la madera. De hecho van más allá. Buscan con el diapasón el punto crítico donde la madera tiene más resonancia y nitidez.

Al respecto también he encontrado muy poco solo un librito de un luthier de violines que hacia vibrar el diapasón en un lugar y con una manguera usándolo como estetoscopio buscaba que el sonido fuera limpio y claro. Con este método determinaba donde iba el puente y las efes. Muchos grandes luthieres aplican este método para determinar donde van los puentes y las pastillas, obteniendo buenos resultados. Luego partiendo de esos puntos donde son ideales se calcula los demás elementos a incluir dependiendo de la escala a utilizar.

Después de hacer mis experimentos he aplicado un concepto muy conocido: La resonancia,  que  es la propiedad que tienen algunos cuerpos de ponerse a vibrar, cuando en ellos incide una onda sonora que son capaces de producir. Por ejemplo, si se colocan cerca dos diapasones que den la misma nota musical y se hace vibrar uno de ellos, el segundo también vibra por simpatía armónica, sin que sea necesario que lo toquemos.   
  
Pues me surge una teoría, que sería cuestión de probar dos diapasones con la misma nota, hacer vibrar uno y buscar el sitio donde el otro comience a vibrar. Que significa esto que la resonancia es perfecta. Solo falta llevarlo a la práctica a ver si se cumple. De hecho fue llevado a la práctica con el resultado esperado. En algunos puntos de la madera se encontraba o transmitía la simpatía armónica. Coincidencialmente siempre era a lo largo de la veta no a lo ancho.

A medida que avanzo en este estudio más incógnita me encuentro. Son tantas las variables que entran en juego en el sonido de la madera que el factor suerte también juega un papel importante. Pero como a mi no me gusta dejar todo a azar, pues sigo investigando.   
  
No saben la cantidad de maderas que se pueden utilizar y mucho mejores que las que conocemos. Lo que pasa es que debido a que no se encuentran en abundancia o que son difíciles de trabajar, o que solo algunas partes son utilizables, hace que el instrumento sea costoso, pero no tanto si la encargan a un Luthier.   
  
Tenemos excelentes maderas en España, por suerte, para elaborar guitarras a nuestro gusto. El castaño es un gran ejemplo. Es una madera que absorbe mucha humedad, pesa una barbaridad recién cortada, pero una vez seca es ligera y muy resonante, ya que en donde estaba el agua quedan cámaras que hacen que el sonido sea una maravilla, sin embargo pocos instrumentos se ven construidos con esta madera.  
  
Bueno continuamos en materia. Este es un esquema de un aparato para medir la dureza de las maderas.

Fig. 6



Es muy sencillo de construir,  y con el podemos probar la dureza de una madera con respecto a otra, e inclusive donde es mas densa en la misma tabla. Siempre hay que colocar el peso P a la misma altura H y obtenemos una huella D que es la que nos determina la dureza. Hacerlo matemáticamente es más complejo, pero en la práctica con el resultado de D ya no es suficiente.  
  
Bueno entrando en materia. Vamos a hablar de la madera mas utilizada en las Telecaster y Stratocasters entre otras guitarras. Poco a poco iré analizando cada una de las principales maderas usadas en las guitarras más famosas.   
  
El Fresno y el Aliso: son la mas usada con el diapasónón de Arce puro o con una lámina de palo rosa. También se han fabricado ediciones especiales con otras especies, pero no son para nada tradicionales.

Del Fresno hay muchas variedades, pero son dos tipos principales los que se usan. Su utilización se debe sobre todo a la disponibilidad que existía en el momento de su creación y el coste. Todos sabemos que el Sr. Leo Fender aprovechaba todos los recursos al máximo e invertía económicamente lo menos posible. Si en vez de tener a "Mano" el fresno tuviese por ejemplo el pino, como cambiaria la cosa, jejejeje:

El Fresno Blanco:. Se encuentra principalmente en el noroeste de Estados Unidos y en el sureste de Canadá. Sus masas forestales son importantes. Y se encuentra con abundancia. Esto lo observó Leo Fender cuando escogió la madera mas abundante (a parte de sus propiedades acústicas) para la elaboración de esta guitarra. El color de la madera de albura es blanco y el del duramen es marrón grisáceo o amarillo pálido con vetas marrones. El color del duramen también puede ser crema o marrón muy claro y ocasionalmente presentar vetas marrones. La fibra es recta, y el grano es grueso.   
Tiene una densidad de entre 560 y 660 Kg. por metro cubico. Una contracción poco nerviosa. Esta considerada una madera semidura según normas ASTM.   
  
El Fresno Europeo que se encuentra en toda Europa, incluyendo a Inglaterra, en el norte de África y el este de Asia. En España se encuentra en la mitad septentrional, sobre todo en los sotos y márgenes de los ríos. Sus masas forestales son importantes. Su producción y exportación son estables. Tiene propiedades un poco distintas a la americana. Tiene una densidad de entre 680 y 750 Kg. por metro cuadrado. Una Contracción nerviosa. Con una dureza de entre 4 y 5,3 situándose en la categoría de semidura. Tiene un grano fino y su fibra puede ser recta u ondulada. Es mejor que la americana porque a diferencia de esta su velocidad de secado es relativamente rápida. Además durante su secado apenas se producen defectos. Así que los  forofos de las Teles, podéis daros un banquete con estas maderas. Tenemos en abundancia en España. Pero ojo la hay mejor para hacer una Telecaster.   
  
Bueno, esta madera da un sonido limpio y cristalino y agudo. Con el diapasón de arce se complementa ya que mas o menos tienen tienen las mismas propiedades. Para utilizar el Palo Rosa y obtener un sonido parecido con diapasón de Arce es recomendable utilizar el Fresno Europeo debido a que es un poco mas duro y con el añadido del Palo rosa compensaría la diferencia de sonido.

El otro fresno es el que mas se utiliza en la actualidad y es el Fresno del pantano. Su principal virtud es su menor peso y se acerca bastante al sonido del Aliso.

Bueno continuando con el análisis de las maderas, hablaremos ahora de el Arce. Hay tres tipos. Normal, blando y duro. Siendo este último la madera mas usada para hacer mástiles: Originalmente se escogió esta madera por su dureza en los bates de beisbol, y estos bates tienen una particularidad muy peculiar. Cuando están bien al golpear el mango contra una piedra tiene un sonido acampanado y cristalino muy característico. De hecho se golpean así los bates para saber si tienen alguna fisura interna. Esto unido a su extrema resistencia a la rotura, han hecho de esta la madera mas utilizada con ese fin.  
  
Arce normal: Su color es blanco o amarillo claro. No se aprecian casi diferencias entre su albura y su duramen. Los radios leñosos son visibles y aparecen en forma de rayas muy finas y decorativas La fibra puede ser recta u ondulada y su grano es fino. Se encuentra principalmente en el centro de Europa y en el oeste de Asia. Se introdujo en las islas británicas en el siglo XV. Sus masas forestales son estables y ojo, su producción y exportación son escasos.   
Posee una densidad de entre 610 y 680 kg/m3, una contracción medianamente nerviosa y una dureza de 4.7 semidura. Es una madera que se seca bien al aire pero se pueden producir alteraciones de color y manchas. Esto es muy importante si se seca muy rápidamente la madera conserva su tonalidad blanca, ahora viene lo bueno, si se quiere conseguir ese color vintage se tiene que secar lentamente y esta adquiere una tonalidad ligeramente marrón amarillento. Este proceso hay que hacerlo con sumo cuidado si no la madera puede presentar el marcado de las "sombras" de los rastreles. La madera secada con este procedimiento lento se comercializa bajo la denominación de "Arce envejecido"   
  
Arce blando: Hay que tener cuidado con este arce ya que la mayoría no es adecuada para los mástiles. Tiene una densidad de 500 una contracción poco nerviosa y es blanda. Esta madera se la ponen a guitarras de baja calidad. Cuando veáis una guitarra con el color de la madera en albura blanca y el duramen marrón oscuro, y que suele presentar coloraciones grisáceas o de color purpura y casi siempre la fibra es recta. Yo le he visto a algunas guitarras de calidad con esa madera decepcionándome muchísimo dando que desear sobre la calidad de afamadas guitarras...   
  
Arce duro: Este es el mejor de todos. Se encuentra principalmente en el este de USA y en Canadá. Hay en abundancia. El color de la madera de albura es blanco con coloraciones rojizas y el del duramen es marrón rojizo pálido. La fibra es recta, aunque ocasionalmente puede presentar fibra ondulada. Su grano es fino. Y dependiendo de donde se tome el tablón puede presentar "ojos de pájaro o perdiz", puede ser también rizado o flameado para la elaboración de mástiles muy vistosos o tapas de guitarras bellísimas además de contribuir con los agudos. Posee una densidad de entre 630 y 700 kg/m3, Contracción poco nerviosa y es una madera semidura.   
Es una madera fácil de secar, pero presenta riesgos de que se produzca colapso y que aparezcan fendas internas asociadas a la presencia de bandas de minerales y de bolsas de humedad.   
  
Su sonido tanto la normal como la dura son agudos y cristalinos. Es importante que al escoger la fibra esté lo mas recta posible ya que las ondulaciones intervienen el la transmisión de la resonancia hacia el cuerpo de la guitarra. Dichas ondulaciones hacen que el recorrido de las ondas sea mas largo y por consiguiente se pierden en el camino pequeños fragmentos armónicos.

Este tema también pueden encontrarlo muy desarrollado en la red, por lo que mas adelante les adjunto una tabla con las principales características de las distintas maderas, que se utilizan en la construcción de guitarras

 Lo que de verdad es importante, es analizar lo que no viene muy explicado en la red, ya que es un secreto muy guardado por los luthieres:

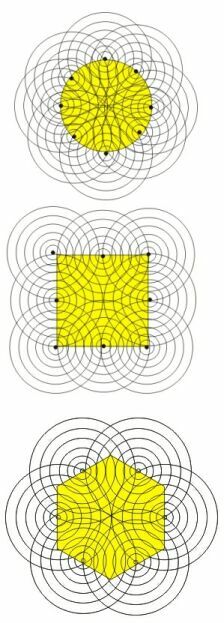
¿Porque si algunas guitarras tienen la misma madera suenan tan distintas?

Pues por muchas razones pero entre estas una de las que destacan es tener una forma en el cuerpo distinto y por tener distinta masa. Ya que hablamos arriba de las telecaster y la stratocaster, las usaremos de ejemplo ilustrativo. La telecaster es un cacho de madera con el mismo espesor en todos lados y su forma es bastante sencilla, sin embargo la stratocaster tiene dos cutways y rebajes para hacerla mas ergonómica, y eso influye en gran medida a que el sonido recorra de forma distinta el cuerpo de la guitarra, a parte de que una tiene puente fijo y la otra un puente flotante.

¿Entonces es verdad que la forma tiene algo que ver? Pues si, aunque para muchos no es así, pero lo voy a demostrar con un ejemplo sencillo.

Como sabrán, la guitarra es una colmena con millones de cavidades a nivel microscópico. Cada cavidad produce un sonido particular o mejor dicho un micro resonancia. La suma de todos esos fenómenos internos es lo que nos va a dar el sonido final que aporta la madera. Bueno la forma de la guitarra y la distribución de las vetas, hace que algunos de esos sonidos al interactuarse se magnifiquen, modifiquen o se anulen.

Me explico en esto último: En ciertas formas de la guitarra se emiten sonidos de una intensidad y en otros con la misma intensidad pero totalmente contraria a la inicial anulándose entre ambas. Esto es algo que se ha descubierto hace poco relativamente. De hecho este concepto se utiliza en la industria automotriz para fabricar los silenciadores. Antiguamente se usaban cámaras donde se apagaba el sonido pero hoy en día se busca hacer rebotar internamente en el silenciador el sonido producido en sentido contrario obteniendo la cancelación del mismo sin comprimir u oponer resistencia al escape de los gases. Este es un factor a tener en cuenta a la hora de escoger la madera.    
  
  
Para ilustrar un poco mejor pondré unos ejemplos de figuras geométricas y escogeré solamente algunos puntos de los millones que pueden influir en la forma de una guitarra. Como se ve es evidentemente diferente el choque de las ondas de una geometría a la otra:

Fig 7  


Voy a dar algunos conceptos básicos para que queden claras las teorías que daré a lo largo de este estudio.  
  
SONIDO   
  
Para que se produzca un sonido, es necesario que exista un cuerpo que vibre y un medio elástico que propague esas vibraciones. El sonido no puede producirse en el vacío.   
Las ondas sonoras son longitudinales y mecánicas.   
  
  
VELOCIDAD DEL SONIDO   
  
El sonido se propaga a 340 [m / s] en el aire y a 1450 [ m / s ] en el agua.   
El oído humano es capaz de captar sonidos emitidos entre los 16 [Hz] y los 20.000 [Hz].   
Los ultrasonidos tienen una frecuencia mayor a los 20.000 [ Hz ] y los infrasonidos una frecuencia menor a los 16 [ Hz ].   
  
  
INTENSIDAD DEL SONIDO   
  
La intensidad del sonido depende de la amplitud de éste y de la distancia entre emisor y receptor.   
La intensidad del sonido es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos.   
  
  
ALTURA O TONO DEL SONIDO   
  
La altura o tono de un sonido depende de su frecuencia. A mayor frecuencia, el sonido es más agudo, por eso es que cuanto mas dura sea la madera mas cristalino y agudo será el sonido emitido y a menor frecuencia, es más grave, obedece a que al ser la madera mas blanda vibra con una menor frecuencia dando como resultado n sonido mas grave valga la redundancia.   
  
  
TIMBRE DEL SONIDO   
  
Si dos o más sonidos son emitidos por cuerpos distintos, se oyen diferentes, aunque tengan la misma intensidad y tono. Esto se debe a que al vibrar un cuerpo, sus partes vibrantes emiten un sonido diferente del sonido principal del cuerpo. Cada uno de estos es un sonido armónico y nuestro oído capta el conjunto de todos ellos simultáneamente, y no separadamente. Este concepto es muy pero muy importante. Yo diría que es el secreto del sonido en cuanto a madera se refiere.   
  
  
DIFRACCIÓN DEL SONIDO   
  
Las ondas sonoras pueden difractarse, por este motivo es posible conversar de una pieza a otra que está al lado, si existe algún orificio o ranura.   
  
  
INTERFERENCIA   
  
Las ondas sonoras, cuando se encuentran, interfieren entre si, como consecuencia, pueden reforzarse, debilitarse e incluso anularse. Este es el caso que nos compete con la forma de la guitarra   
  
  
REFLEXIÓN DEL SONIDO   
  
La reflexión del sonido se produce cuando éste choca contra un obstáculo. Está regido por dos leyes:   
1) Los ángulos de los rayos de incidencia y reflexión son iguales.   
Por lo tanto, si una onda sonora incidente coincide con la normal de un obstáculo, se refleja sobre si misma.   
2) La onda incidente y la reflejada son coplanares con la normal.   
En otras palabras   
Se da cuando una onda retorna al propio medio de propagación tras incidir sobre una superficie. Cuando una forma de energía, como la luz o el sonido, se transmite por un medio y llega a un medio diferente, lo normal es que parte de la energía penetre en el segundo medio y parte sea reflejada.   
Las superficies rugosas reflejan en muchas direcciones, y en este caso se habla de reflexión difusa. Para reflejar un tren de ondas, la superficie reflectante debe ser más ancha que media longitud de onda de las ondas incidentes.   
La reflexión regular se da cuando la dirección de la onda reflejada está claramente determinada y cumple dos condiciones:   
  
La onda incidente y la onda reflejada forman el mismo ángulo con la normal, esto es una línea perpendicular a la superficie reflectante en el punto de incidencia.   
La onda reflejada está en el mismo plano que la onda incidente y la normal.   
Los ángulos que forman las ondas incidentes y reflejadas con la normal se denominan respectivamente ángulo de incidencia y ángulo de reflexión.   
  
  
  
  
REFRACCIÓN DEL SONIDO   
  
Las ondas sonoras se pueden refractar cuando pasan de un medio a otro, por ejemplo, el sonido cambia de dirección cuando pasa del agua al aire. De las cuerdas al puente. Del puente a la madera y en sentido contrario ocurre de nuevo. De la madera del mástil a el cuerpo. De la cejuela al diapasón etc. etc.   
  
  
INTERVALO   
  
A la razón entre las frecuencias de dos sonidos, se le denomina intervalo. Cuando un sonido tiene una frecuencia igual al doble de otro, se dice que el intervalo es de una octava.   
  
  
RESONANCIA   
  
Resonancia es la propiedad que tienen algunos cuerpos de ponerse a vibrar, cuando en ellos incide una onda sonora que es capaz de producir. Por ejemplo, si se colocan cerca dos diapasones que den la misma nota musical y se hace vibrar uno de ellos, el segundo también vibra, sin que sea necesario que lo toquemos.   
  
  
Con lo que hemos visto hasta ahora podemos ya tener algunas bases para la elección de la madera que va a llevar una guitarra. Antes de decirlas tengo que manifestar que todo esto es basado en la teoría.   
No soy Luthier. Me acerco a serlo cada día más. Por eso estoy investigando profundamente sobre el tema. Si veis algún error o lo que sea, os agradecería me lo comentarais porque nadie es infalible y siempre la teoría tiene que ser comprobada con la realidad en el taller. Los elogios y felicitaciones me ayudan a seguir trabajando con mas ganas y os lo agradezco de corazón, pero las críticas y los análisis fundamentados que podáis aportar son lo que al final nos llevara a todos por el camino adecuado para la realización de un fin.   
  
Bueno sigo. Con respecto a él volumen de la madera es también fundamental en el sonido de la guitarra. Como pudimos ver en la definición anterior mientras más baja la frecuencia mas grave el sonido. Mientras más madera tengamos más lenta será la frecuencia de nuestro sonido y por consiguiente más grave será a nuestro oído.   
  
Entonces para la construcción de nuestra guitarra tenemos que tener en cuenta el volumen.   
También tendremos en cuenta la dirección de la fibra. Mientras mas recta mejor. Esto no quiere decir que alguna curva nos estropearía el sonido, al contrario dependiendo de donde este inclusive lo mejorará.   
La madera del mástil mientras más recta mejor ya que proyecta el sonido uniformemente a través de él. La unión al mástil cuanto más superficie de contacto mejor será la transmisión de estas ondas.

Con varias guitarras que me he hecho he calculado que la transmisión optima entre mástil y cuerpo se consigue primero haciendo que el mástil se incruste en el cuerpo lo mas ajustadamente en todas sus medidas, inclusive presentándolo por detrás de la pastilla del mástil para ejercer una mayor presión, y haciendo la unión con seis tornillos de alta presión. En el papel se veía muy bien, pero en la práctica fue todavía mejor el resultado. Estas guitarras tienen un sustain "anormal" para guitarras atornilladas comparable a cualquier guitarra de mástil encolado  encolada.

Si queréis verlas os pongo el enlace de las dos guitarras:

Ávila

3G  
  
  
LA CAOBA:   
  
Tenemos dos principales caobas   
  
La caoba de África: Como su nombre lo indica su procedencia es del continente Africano. Sus masas forestales, su producción y su exportación son estables.   
El color de la madera de albura es blanco crema amarillento y el del duramen es rosa pálido o rojo pálido, que se oscurece a marrón oscuro con un brillo dorado.   
Su fibra suele ser recta pero ocasionalmente puede estar entrelazada, teniendo un grano medio. Lo malo de esta madera es que puede presentar tensiones internas y un corazón blando. Hay que tener cuidado con esta madera al trabajar con ella ya que puede producir irritaciones de las mucosas. A veces los vasos internos pueden estar llenos de depósitos de color negro muy irritantes y que obscurecen el sonido..   
Tiene una densidad de 490 y 630 kg/m3, una contracción medianamente nerviosa y una dureza de 1,9 de tipo blanda.   
Para cuerpos de guitarras se suele escoger las que presentan menor densidad y acompañarla con una tapa de Arce para reforzar los medios y agudos.   
  
La Caoba de América: Considerada por algunos, la mejor del planeta. ESTA ES UNA MADERA QUE ESCACEA. La tala y la quema indiscriminada han mermado la población de esta especie. Esta muy restringido el uso de esta madera.

De un tiempo hacia acá, lamentablemente se cultivan en grandes extensiones pero de forma no natural con exceso de fertilizantes que hacen que se desarrolle anormalmente y su fibra presenta diferencias con las que crecen de forma natural. Estas son las guitarras que nos suenan distintas a lo que esperamos cuando creemos que pagamos una caoba de primera. Cuando nos preguntamos porque esta guitarra con una supuesta madera de alta calidad no suena tan bien, esa es la explicación más importante. Afortunadamente hoy en día se han dado cuenta del error y se están reforestando grandes extensiones para explotar dicha madera de forma adecuada y ecológica.   
Pero sigamos con los datos. Tiene una densidad de 410 a 580 (Estas primeras son destinadas a guitarras custom shop) con una contracción medianamente nerviosa y con una dureza de 2,7 situándose en la categoría de semidura.   
   
Como pueden observar la caoba americana es casi el doble de dura que la africana y esto le da un sonido más dulce y agudo dentro de lo grave que suena esta madera. La mejor combinación para una guitarra es un cuerpo de caoba con una tapa de entre 5 y 8 milímetros de Arce. Es una combinación perfecta rica en armónicos y utilizada por grandes fabricantes.

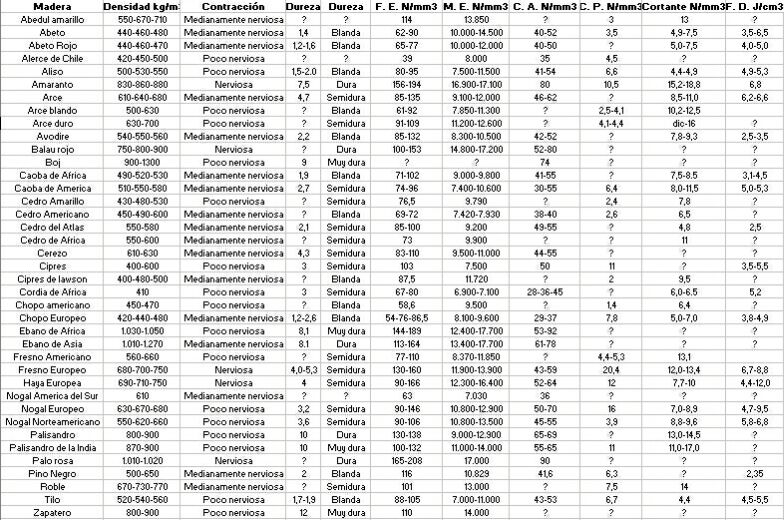
Una matización antes de continuar. Estoy usando una clasificación personal para las guitarras.: Pésimas, malas, regulares, buenas, muy buenas y excelentes.   
Todas las guitarras que menciono aquí son de buenas en adelante. Si comparo entre Gibson por ejemplo, Estas son buenas, muy buenas y excelentes, pero cuando comparo una excelente con una buena tengo que decir que esta última es mala en relación con la excelente. Espero haberme explicado para no herir susceptibilidades.   
  
KORINA:

Yo tengo una Explorer hecha con ese material, y te puedo decir que tiene un sonido medio tirando a agudo, y un sustain tremendo. Es más ligera que la de caoba y su aspecto es muy bonito. Pero he encontrado poca información de esta madera que es de color claro que ha sido muy bien acogida por los fabricantes de guitarras, que la consideran como un buen substituto de la más costosa y escasa “primavera”, o caoba blanca.   
  
TILO:  
  
Existen dos clases importantes de Tilo. El americano conocido como “Basswood” y el europeo.   
  
El americano es de muy buena calidad. Es utilizado por los mejores lutieres   
El problema de esta madera es que es muy escasa y costosa. Es poco rentable para hacer guitarras en serie debido a que del árbol se pueden aprovechar pocos tablones adecuados para hacer guitarras. Su exportación esta muy restringida. El color de la madera es de albura es crema-blanco o marrón pálido y el duramen varia del blanco-crema al marrón rosado claro. Tiene una fibra recta y su grano es fino. Posee una densidad de 370 a 416 kg/m3, con una contracción poco nerviosa. De dureza 1,5 situándola en la categoría blanda. Su velocidad de secado es rápida y apenas se producen deformaciones.   
Las guitarras hechas con esta madera son de muy buena calidad y de un sonido exquisito con abundancia de sonidos medios.   
  
El europeo es la oveja negra del tilo. Se encuentra por toda Europa sus masas forestales son estables, su producción y exportación son normales. El color de la madera es blanco-amarillo pálido en verde, que se convierte en marrón pálido una vez que se ha secado. La madera de albura no se diferencia del duramen, siendo este su principal defecto. Los anillos de crecimiento están poco marcados. Este es un detalle fundamental. La fibra es recta y el grano fino. Tiene una densidad de 520 a 560. Una contracción poco nerviosa pero a su vez, una dureza muy blanda.   
Esta es la madera que no es muy buena para las guitarras, por su sonido grave y opaco que los fabricantes compensan con la electrónica que le instalan. Otro punto en contra es que sufre muchas deformaciones en el secado.

KOA O ACACIA HAWAYANA  
  
Peso específico: 0,83 g/cm3 Densidad=550 a 620   
Árbol de la familia de las Leguminosas.- Es considerado por muchos como el rey de los árboles forestales hawaianos; se encuentra comúnmente en las laderas en las altitudes entre 1.500 y 4.000 pies.   
  
El color de la madera es marrón oscuro con un lustre dorado, a veces con rayas oscuras irregulares.- Es moderadamente dura y pesada.- Es una madera dura porosa, parecida al nogal negro, con características musicales excelentes.- Es extremadamente difícil de trabajar a máquina, y se trabaja solamente a mano.- Las antiguas canoas talladas hawaianas eran de madera de koa, hoy se usa para todo de las cajas ornamentales, muebles e instrumentos musicales, carpintería interior, muebles finos, etc...- Debido al uso excesivo esta madera ha llegado a ser muy escasa.-   
  
Es una de las mejores maderas para hacer guitarras. Es una madera muy noble en cuanto a sonido, respondiendo bien con cualquier pastilla que le pongas. Da una amplia gama de graves, medios y agudos. Es muy versátil.

No hace mucho me construí una guitarra con esta madera utilizando un cuerpo normal y una tapa rizada de la misma especie, y el resultado es espectacular. Aquí pueden ver con detalle este instrumento y su construcción Proyecto Ávila

Estas son las maderas más comunes para hacer guitarras. Se puede hacer guitarras con muchos tipos de maderas.

A continuación os pongo una tabla orientativa con las propiedades de cada madera  
  
Fig 8  


F.E. : Es la Flexión Estática en N/mm3   
  
M.E.: Es El módulo de elasticidad en N/mm3   
  
C.A. : Es compresión axial en N/mm3   
  
C.P. : Es compresión perpendicular N/mm3   
  
Cortante en N/mm3   
  
F.D. :Flexión dinámica en J/cm3   
  
En esta tabla se pueden observar muchísimas cosas. Por ejemplo Queréis un buen sustituto de la caoba, pues tenéis el cedro el castaño, Sapelli, etc.,, que inclusive en algunos casos hasta es mejor. ¿Por qué no se usan entonces? Principalmente por desconocimiento y disponibilidad.   
  
Queréis un sustituto del Ébano pues el Boj, Pau Ferro, pero presenta un problema. Es escaso. etc. etc.

La mano del hombre modifica las características naturales de la madera:

Este es un factor que influye bastante en la estructura interna de la madera, y que pocos saben de ello. En la época de los 60, 70 la industrialización masiva de la madera llevo a la utilización de tratamientos con pesticidas, abonos químicos y otras sustancias para preservar o acelerar el crecimiento de las plantas. Esta práctica trajo como consecuencia que la estructura normal de la madera se viese afectada y por consiguiente sus propiedades sonoras.

En teoría esto no debería afectar la construcción de guitarras pero todos sabemos de la época obscura en donde un buen porcentaje de las guitarras no salían con ese toque especial de sonido de sus antecesoras. Tuvieron que pasar algunos años para que las compañías se diesen cuenta de que todos estos abonos y biopreservantes químicos se depositaban en las fibras, alterando su composición y por consiguiente alterando todas las propiedades sonoras. Hoy en día se cultivan bosques enteros y esta madera es tratada con productos naturales que no afectan para nada su morfología y estructura.

Cuando compramos un tablón en una carpintería, podemos estar comprando algo muy bonito pero que acústicamente no sirve para nada. Tan importante como saber que madera estamos comprando, es saber su procedencia. Cuantos pedazos de Caoba, Arce o Aliso he visto en aserraderos con un aspecto bellísimo y al comprobar sus características me he llevado una desilusión. Si tenemos la certeza de que una madera procede de bosques vírgenes, en donde la mano del hombre no ha intervenido para nada, tendremos un alto porcentaje de obtener una guitarra con muy buenas propiedades sonoras.

Otro aspecto es si la madera ha sido tratada para su conservación. Si en un aserradero nos dicen de tal tratamiento podemos darnos media vuelta y buscar en otro sitio. Estos compuestos químicos se introducen en las fibras y la protegen muy bien de agentes externos, pero estropean totalmente todas las propiedades acústicas de la madera. Estos agentes protectores se depositan en los micro espacios huecos de las fibras cancelando infinidad de armónicos.

Importancia de que la madera este bien "Madura":

Que quiere decir esto. Si vais a construir una guitarra, la madera tiene que tener un período de asentamiento de unos 8 o 10 años.

En este proceso de asentamiento, la madera que en apariencia puede estar seca, expulsa el agua que le sobra internamente para igualarse con la humedad ambiental, y que no se puede acelerar con procedimientos artificiales, ya que afecta a la estructura interna de la madera. Pueden pasar 20 años y todavía este porcentaje de humedad no se ha igualado ya que el proceso es extremadamente lento. De ahí la importancia de usar acabados que dejen "Respirar" a la madera y con el paso de los años se nota que va mejorando el sonido de los instrumentos.

Los buenos luthieres y las grandes compañías, presumen de su depósito de maderas, ya que en el radica su éxito posterior. Las maderas que compran hoy van directamente al almacén con su fecha de adquisición y serán usadas en un futuro. Este es un proceso que encarece las guitarras, porque en diez años ese tablón que compramos hoy puede servir o no para hacer una guitarra y nuestra inversión va a la chimenea o en el mejor de los casos a una mesita de noche.

Una buena práctica que yo uso es ir a aserraderos con muchos años. Siempre tienen maderas viejísimas que están almacenadas años y años esperando comprador. También no puedo pasar por una carpintería sin preguntar si tienen maderas viejas o inclusive muebles viejos. Conozco alguien que tiene una imitación de PRS hecha con el tablón de una vieja silla de estas que había antes en las casas, que no era mas que un tablón donde se podían sentar cuatro o cinco personas con cuatro patas y de un espesor considerable. Suena tremendamente bien esa guitarra.

Conclusiones:

Para elaborar una guitarra de excelentes condiciones nos podemos salir tranquilamente de las maderas tradicionales, ya que su empleo esta condicionado con el costo de esta, la disponibilidad, y que sea rentable.   
Dentro de una misma madera tenemos muchas variables.   
¿Cómo determinar la adecuada?, pues hay que compenetrarse con ella. Ya me compré mi estetoscopio. Estoy educando el oído para aprender a diferenciar mejor los sonidos. Estoy escuchando hasta los marcos de las puertas. Parezco un loco por ahí dándole con el nudillo o el famoso palito a todas las tablas.  Después de hacerte un callo en el nudillo del dedo anular, y a aprender a agarrar la madera por donde serán los armónicos en una guitarra, te das de cuenta de los matices que hay en ellas.  
  
Otra curiosidad aclarada es la siguiente: Hasta no hace mucho, me han gustado las guitarras con muchas tablas encoladas, sin embargo la experiencia va derribando mitos y leyendas. Esto, si se hace adecuadamente, no afecta para nada el sonido de una guitarra. Al contrario la combinación puede equilibrar el sonido, pero tiene su truco siempre y cuando no se use este método para ahorrar material por supuesto. En principio con ello evitamos que se deforme la guitarra al compensar las vetas y principalmente modificamos el sonido final.

Si tenemos varios tablones de madera X que su dureza varia por ejemplo entre blanda y dura. Que por ejemplo la primera tira a graves y la segunda a agudos, Si queremos equilibrar la balanza pues combinamos esas dos maderas y obtenemos una resultante media. Con lo cual obtendremos guitarras con una calidad especifica. Podemos hacer lo mismo pero en láminas, una blanda una dura etc. Inclusive de distinto tipo de madera. (No hablo de las guitarras baratas que tienen chapilla y aglomerado alternados) La combinación seria estupenda pero claro esto seria un trabajo de chinos, con el consiguiente coste del instrumento. Pero lo más importante de los dos tipos de encolados, es la cola para unirlas. Antiguamente, las grandes empresas usaban resinas y pegamentos naturales para pegar las maderas, pero con el auge de la industria estos fueron sustituidos por resinas y epoxis de rápido secado y extremada adherencia, pero con una merma importante del sonido. Actualmente dado el fracaso obtenido para agilizar la producción, el apartado de los pegamentos y acabados en las grandes fábricas de guitarras es un departamento especial dedicado a tal fin. Lo bueno es que los luthieres seguían usando estas resinas naturales y claro seguían saliendo buenas.   
  
Por lo que estoy viendo hasta ahora estamos pagando el producto de un trabajo, que si como no suenan bien, pero no es la calidad que estamos comprando con nuestro dinero. Para obtener una calidad óptima hay que desembolsar mucho dinero y eso con un buen luthier sale a menos de la mitad y la misma calidad.

Poco a poco iremos cambiando el Chip. Yo creo que la tendencia hacia las futuras guitarras va a ser mandártelas a fabricar con un luthier especializado que sabes que te va a dar lo que tu pagas.   
  
Todos los trabajos artesanos cuando se industrializan pierden su esencia en favor de la mayor ganancia.

**ESTUDIO SOBRE MADERAS PARA GUITARRAS**

Después de haber visto tantas cosas sobre el sonido y ver más o menos como poder apreciar las ondas de los sonidos y sus resonancias dentro de la madera, pasamos a hablar sobre el medio de captación de estas ondas sonoras y a su diferenciación.   
  
El instrumento que vamos a utilizar es el mejor que jamás se ha construido. Su elaboración y puesta apunto requiere de tiempo y dedicación pero una vez calibrado podemos perfectamente analizar cualquier tipo de sonido y buscar de una forma bastante segura los puntos clave en una madera. Muchos equipos de medición electrónica han sido construidos a tal fin por el hombre. Cada uno se especializa en captar una determinada longitud de onda analizando sus características pero con la desventaja que ninguno excepto uno no analiza simultáneamente una polifonía de tonos, ni desecha sonidos que nunca vamos a oír. Por suerte este instrumento lo poseemos todos y la mayoría tenemos dos. Es el oído humano.   
  
Tenemos la mala costumbre de dejarle todo el trabajo a las máquinas e instrumentos creados por nosotros, y no sabemos explotar el potencial que encerramos dentro de cada uno. ¿Por qué los antiguos luthieres hacían maravillas? Porque los únicos medios que disponían eran sus propios sentidos. Gusto, tacto, olfato, vista y oído, son las cinco mejores herramientas que poseemos.   
  
Los sentidos son como un músculo. Se atrofia si no se ejercita. Muchas veces nuestros instrumentos no suenan bien porque no sabemos sacarles los sonidos que deseamos. Después de devorar paginas y paginas, sobre ajustes de amplificadores, guitarras etc. y etc. He llegado a la conclusión de que nos falta graduar el más importante de todos.   
  
Voy a citar algunos conceptos que para algunos serán aburridos, pero que son muy importantes tenerlos en cuenta a la hora de aprender a ESCUCHAR.   
  
He encontrado un documento bastante bueno y lo he “Adaptado” a nuestra necesidad. Con el podremos apreciar mucho mas los sonidos y aprender a diferenciarlos. Yo ya he experimentado y sigo experimentando y he quedado alucinado con la experiencia. Se despejan muchas dudas en este estudio.   
  
**¿QUÉ ES EL SONIDO?**   
  
Antes de analizar las ondas sonoras veamos lo que es una onda en general.   
  
En la naturaleza existen diferentes tipos de ondas, entre las cuales se encuentran las sonoras.   
  
Imaginemos una cuerda que está fija en uno de sus extremos a una pared (Figura 9) y que la sostenemos con la mano en su otro extremo. En el instante inicial la cuerda está en reposo y en posición horizontal. Ahora subamos la mano; al hacerlo moveremos la parte AB de la cuerda que estamos sujetando con la mano. Nos damos cuenta que en un instante posterior la porción BC de la cuerda empezará a subir. Posteriormente CD empezará a subir y después, DE también lo hará, etc. De hecho, cuando la parte AB sube, arrastra hacia arriba la porción BC; al subir BC arrastra a su vez hacia arriba a CD y así sucesivamente. Al moverse, cada parte de la cuerda arrastra la porción que está a su lado. En todo esto hay que darse cuenta que nuestra mano solamente movió la porción AB; nuestra mano no movió las porciones BC, CD, DE, etc. De hecho, ni siquiera las ha tocado.

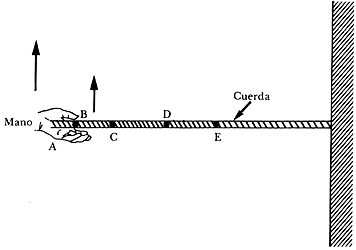
Fig 9  


Figura 9. Al perturbar la cuerda en el punto A se crea una perturbación en los demás puntos. Esta perturbación que se propaga es una onda.   
  
  
  
Podemos decir que nuestra mano sacó a la cuerda de su posición de equilibrio, que es la horizontal; o sea, nuestra mano perturbó la cuerda y más específicamente perturbó la parte AB. A su vez, la parte B perturbó la sección BC; en seguida, la parte BC perturbó la porción CD, etc. Es decir, la perturbación que nuestra mano causó en una parte bien precisa de la cuerda se ha ido propagando al resto de ella. Esta propagación de la perturbación es una onda. Nos damos cuenta que la perturbación que generó nuestra mano se propagó a lo largo de la cuerda. Se dice que la cuerda es el medio en el que se propaga la onda así generada.   
  
En general, una onda es una perturbación que se propaga en un medio.   
Otro ejemplo de creación de una onda ocurre cuando lanzamos una piedra a un estanque de agua. Cuando la piedra llega al agua la mueve. Nos damos cuenta de que en instantes posteriores, partes adyacentes a la porción de agua en que cayó la piedra empiezan a moverse; nótese que estas partes no fueron tocadas por la piedra. Más tarde aun, otras partes del agua, que tampoco fueron tocadas por la piedra, empiezan también a moverse. La piedra causó una perturbación en el agua y esta perturbación se propagó. Es decir, se creó una onda. En este ejemplo, la onda se propagó en el agua, o sea que el agua fue el medio.

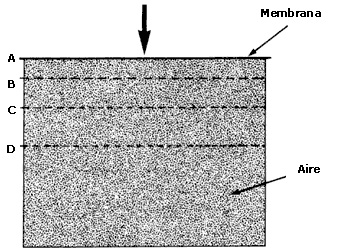
Fig 10  


Figura 10. Al apretar la membrana, el aire en la zona AB se comprime.   
  
  
  
Otro tipo de onda es el siguiente: consideremos un recipiente dentro del cual haya aire (Figura 10); supóngase que la parte superior del recipiente esté cubierta con una membrana elástica que no deja pasar el aire hacia afuera. Ahora apretemos la membrana comprimiendo el aire dentro del recipiente. Para empezar, la región AB de aire adyacente a la membrana se comprime. Al transcurrir el tiempo uno se puede dar cuenta que esta región AB deja de estar comprimida pero el aire que ocupa la región adyacente BC se comprime. En instantes de tiempo posteriores, la región BC deja de estar comprimida, pero el aire que está en la región CD se comprime. De esta forma, la compresión se va propagando a lo largo de todas las regiones del aire dentro del recipiente. Es decir, la perturbación que aplicamos al apretar la membrana, perturbación que comprimió el aire en la región AB, se fue propagando al resto del aire. Por tanto, se generó una onda. En este caso, la onda es de compresión del aire y el medio en que se propaga la onda es precisamente el aire.   
  
Otra, posibilidad es que en lugar de apretar la membrana la estiremos hacia arriba (Figura 11). En este caso el aire que queda entre la membrana y el nivel B ocupa un volumen mayor que el que tenía en la figura 10. Como la cantidad de aire en las dos figuras, 10 y 11, es el mismo, ahora el aire queda diluido, es decir, rarificado. Este efecto es el opuesto al de compresión. Por tanto, al estirar la membrana la región AB experimenta una rarefacción.   
  
En instantes posteriores nos podemos dar cuenta que la región adyacente BC quedará rarificada ya que el aire que había en ella se mueve hacia la región AB. Aun más adelante, será la región CD la que se rarifique y así sucesivamente. Es decir, la perturbación, que ahora es la rarefacción, se ha propagado en el aire. En este caso, la onda así creada es de rarefacción.   
  
También se puede generar una onda en que se propague tanto una compresión como una rarefacción. En efecto, supóngase que primero empujamos y luego jalamos la membrana. Al empujar comprimimos el aire y al jalar lo rarificamos. Lo que ocurre es lo siguiente: en primer lugar, la región AB se comprime. Posteriormente, la región adyacente BC se comprime. Si ahora la membrana se jala, entonces la región AB se rarifica. En un instante posterior, la región CD queda comprimida mientras que la región BC queda rarificada y así sucesivamente. Se ha generado una onda de compresión y de rarefacción.

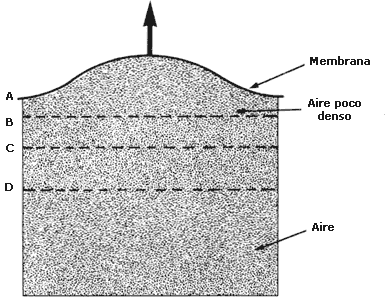
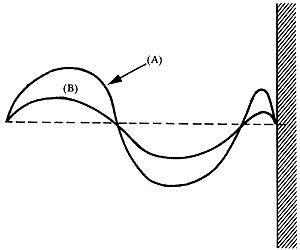
Fig 11  


Figura 11. Al estirar la membrana, el aire en la zona AB se vuelve menos denso, es decir, se rarifica.   
  
  
  
El sonido es justamente una onda de este tipo, es decir, de compresión y de rarefacción.   
  
Cuando hablamos emitimos sonidos. Nuestra garganta, a través de las cuerdas vocales, perturba el aire que está a su alrededor comprimiéndolo y rarificándolo. Estas perturbaciones se propagan por medio de la atmósfera que nos rodea constituyendo una onda de sonido.   
  
Cuando se toca algún instrumento musical lo que se está haciendo efectivamente es hacerlo vibrar. Por ejemplo, al tocar una guitarra, se hace vibrar la cuerda con el dedo o la pua; ésta a su vez hace vibrar el cuerpo de la guitarra. Al vibrar, la madera de que está hecha la guitarra, comprime y rarifica al aire que está junto a él. Estas perturbaciones se propagan y forman un sonido. Lo mismo ocurre con cualquier otro instrumento musical.   
  
Cuando un objeto se rompe o choca con algún cuerpo, perturba el aire que está a su alrededor generando una onda sonora.   
Las ondas de compresión y de rarefacción se propagan no solamente en el aire sino también en cualquier otra sustancia. Es claro que para que esta onda pueda propagarse la sustancia debe poder comprimirse y rarificarse. Esto ocurre con cualquier sustancia, unas en mayor grado y otras en menor grado. Por tanto una onda sonora se propaga, por ejemplo en el agua, en un sólido como el hierro, madera, plástico, etcétera.   
  
De lo anteriormente expuesto es claro que si no hay medio entonces una onda no se propaga. De esta forma, una onda sonora no se puede propagar en una región en que no haya nada, en el vacío. Por ejemplo, en la Luna no hay atmósfera, es decir, no hay aire y por tanto, no se propaga el sonido.   
  
**EL SONIDO Y EL OÍDO HUMANO**   
  
**Frecuencia y tono**   
  
Supongamos ahora que el agente externo que produce la onda sonora, lo hace de manera periódica. Esto significa, por ejemplo, en el caso del recipiente de la figura 10, que la compresión y la rarefacción del gas se lleva a cabo en forma periódica, con determinada frecuencia; esto es, el agente externo realiza sus, movimientos repetitivamente. La frecuencia es el número de veces que repite el movimiento en cada segundo. Esta cantidad se mide en hertz (Hz). Así, si efectúan 500 repeticiones en cada segundo, se dice que el movimiento tiene una frecuencia de 500 Hz. Es claro entonces que la onda que se produce en el aire encerrado en el recipiente también se repetirá con la misma frecuencia que le imprime el agente externo. Se dice que en, este caso se produce una onda sonora periódica. El oído humano percibe ondas sonoras periódicas si sus frecuencias tienen valores comprendidos entre 20 Hz y 20 000 Hz, aproximadamente. Ondas sonoras periódicas que tengan frecuencias fuera de este intervalo no son percibidas por el oído humano; aquellas ondas que tienen frecuencias mayores que 2 000 Hz se llaman ondas de ultrasonido.   
  
Cuando oímos un sonido producido por un instrumento musical, por ejemplo, podemos distinguir un sonido grave de uno agudo; es decir, el oído es sensible al tono del sonido. El tono de un sonido está relacionado con su frecuencia: mientras mayor sea la frecuencia de un sonido más agudo lo percibiremos e, inversamente, mientras más baja sea su frecuencia más grave lo percibiremos.   
  
Por ejemplo, si tocamos la nota “La” que está en la parte central de una guitarra, se genera una onda sonora con frecuencia de 440 Hz.   
  
**Sobretonos y tonos de combinación**   
  
Cuando una onda sonora llega al oído humano, además de tener la sensación de oír la frecuencia del sonido, se tiene la sensación adicional de oír otros sonidos, que no llegaron al oído y que tienen frecuencias 2, 3,... veces la frecuencia del sonido que sí llegó. Por ejemplo, si recibimos una onda de frecuencia 440 Hz (que corresponde a una nota “La”); tendremos la sensación de oír, además de esta nota, sonidos de frecuencias 2 X 440 Hz = 880 Hz, 3 X 440 Hz = 1 320 Hz, etc. Sonidos con estas frecuencias se llaman sobretonos o armónicos.   
  
Cuando llegan al oído varios sonidos de diferentes frecuencias ocurre otro fenómeno que es muy curioso. Supongamos que llegan dos sonidos con frecuencias de 500 Hz, y de 800 Hz. El oído tiene la sensación de oír, además de las frecuencias que llegan, sonidos que tienen las siguientes frecuencias:   
  
  
800 Hz - 500 Hz = 300 Hz,   
800 Hz + 500 Hz = 1 300 Hz,   
2 X 800 Hz - 500 Hz = 1 600 Hz - 500 Hz = 1100 Hz,   
2 X 800 Hz - 2 X 500 Hz = 1600 Hz - 1000 Hz = 600 Hz,   
2 X 800 Hz + 500 Hz = 1600 Hz + 500 Hz = 2100 Hz, etcétera.   
  
Los sonidos con estas frecuencias se llaman tonos de combinación. El sonido del tono de combinación que se percibe con mayor intensidad es el que tiene frecuencia igual a la diferencia de las frecuencias de los sonidos presentes (en nuestro caso, el de 300 Hz); los otros tonos de combinación que se producen tienen intensidades muy pequeñas y en ocasiones son difíciles de percibir.   
  
Además, si resulta que el valor de la frecuencia del tono de combinación queda comprendido entre los valores de las frecuencias que llegan al oído, entonces es difícil percibirlo. Solamente un oído muy entrenado puede percibir este tono.   
Vemos entonces que el oído percibe sonidos de frecuencias que no están físicamente, presentes.   
  
**Nivel de intensidad**   
  
En el caso de la cuerda de la figura 9, podemos hacerla vibrar con distintas amplitudes y con la misma frecuencia (Figura 12). De estas ondas, la que tiene mayor amplitud (A) tiene más energía que la que tiene menor amplitud (B). Esta energía se propaga con la onda. De manera análoga, una onda sonora lleva consigo energía.   
  
El oído humano es capaz de distinguir sonidos fuertes de sonidos débiles; es decir, es sensible al nivel de intensidad del sonido. Mientras más energía lleve consigo una onda más fuertemente lo percibiremos y por tanto mayor será su nivel de intensidad.



**ESTUDIO SOBRE MADERAS PARA GUITARRAS**

Después de haber visto tantas cosas sobre el sonido y ver mas o menos como poder apreciar las ondas de los sonidos y sus resonancias dentro de la madera, pasamos a hablar sobre el medio de captación de estas ondas sonoras y a su diferenciación.   
  
El instrumento que vamos a utilizar es el mejor que jamás se ha construido. Su elaboración y puesta apunto requiere de tiempo y dedicación pero una vez calibrado podemos perfectamente analizar cualquier tipo de sonido y buscar de una forma bastante segura los puntos clave en una madera. Muchos equipos de medición electrónica han sido construidos a tal fin por el hombre. Cada uno se especializa en captar una determinada longitud de onda analizando sus características pero con la desventaja que ninguno excepto uno no analiza simultáneamente una polifonía de tonos, ni desecha sonidos que nunca vamos a oír. Por suerte este instrumento lo poseemos todos y la mayoría tenemos dos. Es el oído humano.   
  
Tenemos la mala costumbre de dejarle todo el trabajo a las máquinas e instrumentos creados por nosotros, y no sabemos explotar el potencial que encerramos dentro de cada uno. ¿Por qué los antiguos luthieres hacían maravillas? Porque los únicos medios que disponían eran sus propios sentidos. Gusto, tacto, olfato, vista y oído, son las cinco mejores herramientas que poseemos.   
  
Los sentidos son como un músculo. Se atrofia si no se ejercita. Muchas veces nuestros instrumentos no suenan bien porque no sabemos sacarles los sonidos que deseamos. Después de devorar paginas y paginas, sobre ajustes de amplificadores, guitarras etc. y etc. He llegado a la conclusión de que nos falta graduar el mas importante de todos.   
  
Voy a citar algunos conceptos que para algunos serán aburridos, pero que son muy importantes tenerlos en cuenta a la hora de aprender a ESCUCHAR.   
  
He encontrado un documento bastante bueno y lo he “Adaptado” a nuestra necesidad. Con el podremos apreciar mucho mas los sonidos y aprender a diferenciarlos. Yo ya he experimentado y sigo experimentando y he quedado alucinado con la experiencia. Se despejan muchas dudas en este estudio.   
  
**¿QUÉ ES EL SONIDO?**   
  
Antes de analizar las ondas sonoras veamos lo que es una onda en general.   
  
En la naturaleza existen diferentes tipos de ondas, entre las cuales se encuentran las sonoras.   
  
Imaginemos una cuerda que está fija en uno de sus extremos a una pared (Figura 9) y que la sostenemos con la mano en su otro extremo. En el instante inicial la cuerda está en reposo y en posición horizontal. Ahora subamos la mano; al hacerlo moveremos la parte AB de la cuerda que estamos sujetando con la mano. Nos damos cuenta que en un instante posterior la porción BC de la cuerda empezará a subir. Posteriormente CD empezará a subir y después, DE también lo hará, etc. De hecho, cuando la parte AB sube, arrastra hacia arriba la porción BC; al subir BC arrastra a su vez hacia arriba a CD y así sucesivamente. Al moverse, cada parte de la cuerda arrastra la porción que está a su lado. En todo esto hay que darse cuenta que nuestra mano solamente movió la porción AB; nuestra mano no movió las porciones BC, CD, DE, etc. De hecho, ni siquiera las ha tocado.

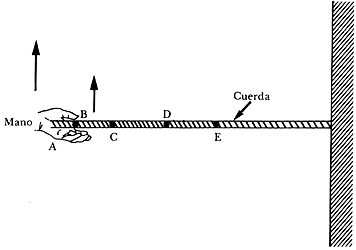
Fig 9  


Figura 9. Al perturbar la cuerda en el punto A se crea una perturbación en los demás puntos. Esta perturbación que se propaga es una onda.   
  
  
  
Podemos decir que nuestra mano sacó a la cuerda de su posición de equilibrio, que es la horizontal; o sea, nuestra mano perturbó la cuerda y más específicamente perturbó la parte AB. A su vez, la parte B perturbó la sección BC; en seguida, la parte BC perturbó la porción CD, etc. Es decir, la perturbación que nuestra mano causó en una parte bien precisa de la cuerda se ha ido propagando al resto de ella. Esta propagación de la perturbación es una onda. Nos damos cuenta que la perturbación que generó nuestra mano se propagó a lo largo de la cuerda. Se dice que la cuerda es el medio en el que se propaga la onda así generada.   
  
En general, una onda es una perturbación que se propaga en un medio.   
Otro ejemplo de creación de una onda ocurre cuando lanzamos una piedra a un estanque de agua. Cuando la piedra llega al agua la mueve. Nos damos cuenta de que en instantes posteriores, partes adyacentes a la porción de agua en que cayó la piedra empiezan a moverse; nótese que estas partes no fueron tocadas por la piedra. Más tarde aun, otras partes del agua, que tampoco fueron tocadas por la piedra, empiezan también a moverse. La piedra causó una perturbación en el agua y esta perturbación se propagó. Es decir, se creó una onda. En este ejemplo, la onda se propagó en el agua, o sea que el agua fue el medio.

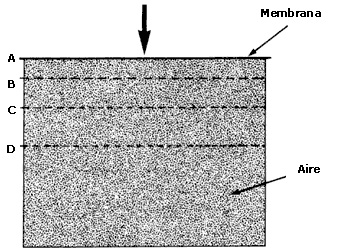
Fig 10  


Figura 10. Al apretar la membrana, el aire en la zona AB se comprime.   
  
  
  
Otro tipo de onda es el siguiente: consideremos un recipiente dentro del cual haya aire (Figura 10); supóngase que la parte superior del recipiente esté cubierta con una membrana elástica que no deja pasar el aire hacia afuera. Ahora apretemos la membrana comprimiendo el aire dentro del recipiente. Para empezar, la región AB de aire adyacente a la membrana se comprime. Al transcurrir el tiempo uno se puede dar cuenta que esta región AB deja de estar comprimida pero el aire que ocupa la región adyacente BC se comprime. En instantes de tiempo posteriores, la región BC deja de estar comprimida, pero el aire que está en la región CD se comprime. De esta forma, la compresión se va propagando a lo largo de todas las regiones del aire dentro del recipiente. Es decir, la perturbación que aplicamos al apretar la membrana, perturbación que comprimió el aire en la región AB, se fue propagando al resto del aire. Por tanto, se generó una onda. En este caso, la onda es de compresión del aire y el medio en que se propaga la onda es precisamente el aire.   
  
Otra, posibilidad es que en lugar de apretar la membrana la estiremos hacia arriba (Figura 11). En este caso el aire que queda entre la membrana y el nivel B ocupa un volumen mayor que el que tenía en la figura 10. Como la cantidad de aire en las dos figuras, 10 y 11, es el mismo, ahora el aire queda diluido, es decir, rarificado. Este efecto es el opuesto al de compresión. Por tanto, al estirar la membrana la región AB experimenta una rarefacción.   
  
En instantes posteriores nos podemos dar cuenta que la región adyacente BC quedará rarificada ya que el aire que había en ella se mueve hacia la región AB. Aun más adelante, será la región CD la que se rarifique y así sucesivamente. Es decir, la perturbación, que ahora es la rarefacción, se ha propagado en el aire. En este caso, la onda así creada es de rarefacción.   
  
También se puede generar una onda en que se propague tanto una compresión como una rarefacción. En efecto, supóngase que primero empujamos y luego jalamos la membrana. Al empujar comprimimos el aire y al jalar lo rarificamos. Lo que ocurre es lo siguiente: en primer lugar, la región AB se comprime. Posteriormente, la región adyacente BC se comprime. Si ahora la membrana se jala, entonces la región AB se rarifica. En un instante posterior, la región CD queda comprimida mientras que la región BC queda rarificada y así sucesivamente. Se ha generado una onda de compresión y de rarefacción.

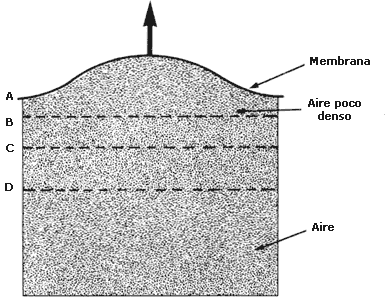
Fig 11  


Figura 11. Al estirar la membrana, el aire en la zona AB se vuelve menos denso, es decir, se rarifica.   
  
  
  
El sonido es justamente una onda de este tipo, es decir, de compresión y de rarefacción.   
  
Cuando hablamos emitimos sonidos. Nuestra garganta, a través de las cuerdas vocales, perturba el aire que está a su alrededor comprimiéndolo y rarificándolo. Estas perturbaciones se propagan por medio de la atmósfera que nos rodea constituyendo una onda de sonido.   
  
Cuando se toca algún instrumento musical lo que se está haciendo efectivamente es hacerlo vibrar. Por ejemplo, al tocar una guitarra, se hace vibrar la cuerda con el dedo o la pua; ésta a su vez hace vibrar el cuerpo de la guitarra. Al vibrar, la madera de que está hecha la guitarra, comprime y rarifica al aire que está junto a él. Estas perturbaciones se propagan y forman un sonido. Lo mismo ocurre con cualquier otro instrumento musical.   
  
Cuando un objeto se rompe o choca con algún cuerpo, perturba el aire que está a su alrededor generando una onda sonora.   
Las ondas de compresión y de rarefacción se propagan no solamente en el aire sino también en cualquier otra sustancia. Es claro que para que esta onda pueda propagarse la sustancia debe poder comprimirse y rarificarse. Esto ocurre con cualquier sustancia, unas en mayor grado y otras en menor grado. Por tanto una onda sonora se propaga, por ejemplo en el agua, en un sólido como el hierro, madera, plástico, etcétera.   
  
De lo anteriormente expuesto es claro que si no hay medio entonces una onda no se propaga. De esta forma, una onda sonora no se puede propagar en una región en que no haya nada, en el vacío. Por ejemplo, en la Luna no hay atmósfera, es decir, no hay aire y por tanto, no se propaga el sonido.   
  
**EL SONIDO Y EL OÍDO HUMANO**   
  
**Frecuencia y tono**   
  
Supongamos ahora que el agente externo que produce la onda sonora, lo hace de manera periódica. Esto significa, por ejemplo, en el caso del recipiente de la figura 10, que la compresión y la rarefacción del gas se lleva a cabo en forma periódica, con determinada frecuencia; esto es, el agente externo realiza sus, movimientos repetitivamente. La frecuencia es el número de veces que repite el movimiento en cada segundo. Esta cantidad se mide en hertz (Hz). Así, si efectúan 500 repeticiones en cada segundo, se dice que el movimiento tiene una frecuencia de 500 Hz. Es claro entonces que la onda que se produce en el aire encerrado en el recipiente también se repetirá con la misma frecuencia que le imprime el agente externo. Se dice que en, este caso se produce una onda sonora periódica. El oído humano percibe ondas sonoras periódicas si sus frecuencias tienen valores comprendidos entre 20 Hz y 20 000 Hz, aproximadamente. Ondas sonoras periódicas que tengan frecuencias fuera de este intervalo no son percibidas por el oído humano; aquellas ondas que tienen frecuencias mayores que 2 000 Hz se llaman ondas de ultrasonido.   
  
Cuando oímos un sonido producido por un instrumento musical, por ejemplo, podemos distinguir un sonido grave de uno agudo; es decir, el oído es sensible al tono del sonido. El tono de un sonido está relacionado con su frecuencia: mientras mayor sea la frecuencia de un sonido más agudo lo percibiremos e, inversamente, mientras más baja sea su frecuencia más grave lo percibiremos.   
  
Por ejemplo, si tocamos la nota “La” que está en la parte central de una guitarra, se genera una onda sonora con frecuencia de 440 Hz.   
  
**Sobretonos y tonos de combinación**   
  
Cuando una onda sonora llega al oído humano, además de tener la sensación de oír la frecuencia del sonido, se tiene la sensación adicional de oír otros sonidos, que no llegaron al oído y que tienen frecuencias 2, 3,... veces la frecuencia del sonido que sí llegó. Por ejemplo, si recibimos una onda de frecuencia 440 Hz (que corresponde a una nota “La”); tendremos la sensación de oír, además de esta nota, sonidos de frecuencias 2 X 440 Hz = 880 Hz, 3 X 440 Hz = 1 320 Hz, etc. Sonidos con estas frecuencias se llaman sobretonos o armónicos.   
  
Cuando llegan al oído varios sonidos de diferentes frecuencias ocurre otro fenómeno que es muy curioso. Supongamos que llegan dos sonidos con frecuencias de 500 Hz, y de 800 Hz. El oído tiene la sensación de oír, además de las frecuencias que llegan, sonidos que tienen las siguientes frecuencias:   
  
  
800 Hz - 500 Hz = 300 Hz,   
800 Hz + 500 Hz = 1 300 Hz,   
2 X 800 Hz - 500 Hz = 1 600 Hz - 500 Hz = 1100 Hz,   
2 X 800 Hz - 2 X 500 Hz = 1600 Hz - 1000 Hz = 600 Hz,   
2 X 800 Hz + 500 Hz = 1600 Hz + 500 Hz = 2100 Hz, etcétera.   
  
Los sonidos con estas frecuencias se llaman tonos de combinación. El sonido del tono de combinación que se percibe con mayor intensidad es el que tiene frecuencia igual a la diferencia de las frecuencias de los sonidos presentes (en nuestro caso, el de 300 Hz); los otros tonos de combinación que se producen tienen intensidades muy pequeñas y en ocasiones son difíciles de percibir.   
  
Además, si resulta que el valor de la frecuencia del tono de combinación queda comprendido entre los valores de las frecuencias que llegan al oído, entonces es difícil percibirlo. Solamente un oído muy entrenado puede percibir este tono.   
Vemos entonces que el oído percibe sonidos de frecuencias que no están físicamente, presentes.   
  
**Nivel de intensidad**   
  
En el caso de la cuerda de la figura 9, podemos hacerla vibrar con distintas amplitudes y con la misma frecuencia (Figura 12). De estas ondas, la que tiene mayor amplitud (A) tiene más energía que la que tiene menor amplitud (B). Esta energía se propaga con la onda. De manera análoga, una onda sonora lleva consigo energía.   
  
El oído humano es capaz de distinguir sonidos fuertes de sonidos débiles; es decir, es sensible al nivel de intensidad del sonido. Mientras más energía lleve consigo una onda más fuertemente lo percibiremos y por tanto mayor será su nivel de intensidad.

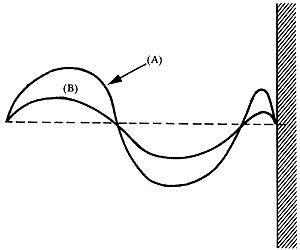


Figura 12. La onda que tiene mayor amplitud (A) tiene más energía.   
  
  
  
Los niveles de intensidad que el oído puede percibir están comprendidos en un determinado intervalo. Si el sonido es muy débil, el oído no lo alcanza a oír y no se oye nada. Este hecho se debe a que los movimientos que ocurren dentro del cuerpo humano, como son la circulación de la sangre, los latidos del corazón, etc., producen continuamente vibraciones que generan sonidos. Cualquier sonido externo que se quiera oír deberá sobrepasar estos sonidos humanos, o sea, deberá tener un nivel de, intensidad más grande que estos sonidos producidos por el cuerpo. A la mínima intensidad de un sonido externo al cuerpo que el oído puede registrar se le llama umbral de audibilidad.   
Por otro lado, un sonido muy fuerte, es decir con una intensidad muy alta, puede dañar al oído. A la máxima intensidad que el oído puede resistir sin causarle daños se llama el umbral de dolor.   
  
El oído oye un sonido cuya intensidad se encuentra entre los umbrales arriba descritos. El intervalo entre los umbrales de audibilidad y de dolor es notablemente grande. La intensidad del umbral de dolor es 10 12 (un uno seguido de doce ceros) veces mayor que la del umbral de audibilidad. Este intervalo es extraordinario ya que prácticamente no existe ningún aparato diseñado por el hombre que tenga un intervalo de respuesta tan extenso como el que hay entre los dos umbrales del oído.   
  
**Timbre**   
  
Si oímos tocar una nota “La” de frecuencia 440 Hz por un piano y la misma nota (de la misma frecuencia) tocada por una guitarra, y si además ambas notas son ejecutadas con el mismo nivel de intensidad, nuestro oído es capaz de distinguir entre los dos sonidos. Podemos decir cuál fue producida por el piano y cuál por la guitarra. Esto quiere decir que a pesar de que los dos sonidos tienen las mismas frecuencias y los mismos niveles de intensidad se les puede distinguir. Decimos que ambos sonidos, tienen distintos timbres.   
  
¿En qué consiste la diferencia de timbres de los dos sonidos? Pues bien, cuando se hace vibrar un instrumento para producir un sonido ocurren dos cosas que describiremos a continuación.   
  
Al hacer vibrar un instrumento para producir cierta nota, por ejemplo el “La” de 440 Hz, entonces resulta que además de esta frecuencia, el instrumento también produce sonidos con otras frecuencias, que son los armónicos. El instrumento produce sonidos con frecuencias de 880 Hz, 1 320 Hz, etc. Es decir, produce ondas con frecuencias que tienen 2, 3,... veces el valor de la frecuencia requerida. Estos armónicos, en nuestro ejemplo, también son notas “La”, pero corresponden a octavas superiores.   
  
Cada instrumento produce cierta nota acompañada de sus armónicos y cada armónico así producido tiene determinada energía. Sin embargo, resulta que la distribución de energía entre los armónicos de un instrumento no es la misma que la de otro instrumento.   
  
Por otra parte, cuando un instrumento produce una nota, tarda cierto tiempo en hacerlo. Además, al terminar de pulsar la nota, aunque ya no estemos tocando el instrumento, éste continuará vibrando hasta que, por fricción, deja de hacerlo es decir, continuará produciendo sonido durante cierto intervalo de tiempo, o sea, el instrumento tarda cierto tiempo en decaer. La forma en que se produce y decae el sonido se llama el ataque del instrumento. Diferentes instrumentos tienen distintos ataques.   
Las características del timbre de un instrumento dependen del número de armónicos que produce, de la distribución de energía en cada armónico, así como del ataque de cada uno de los sonidos que produce. El oído humano es sensible al timbre de un sonido y es capaz de distinguir dos sonidos con timbres distintos.   
  
La capacidad del oído de distinguir los timbres de diferentes instrumentos implica que cuando llegan simultáneamente ondas con diferentes frecuencias e intensidades, el oído es capaz de separar cada una de las ondas que llegan. Esta cualidad no la tiene el ojo; si diferentes ondas luminosas llegan al mismo tiempo al ojo entonces uno las ve combinadas. Si por ejemplo nos llega luz blanca, nuestros ojos no son capaces de distinguir cada una de las componentes de luz. Si así fuera, lo que veríamos serían los colores de un arco iris y nunca veríamos el blanco, hecho que no sucede. Ésta es una propiedad que distingue esencialmente al oído del ojo.   
  
**ALGUNOS FENÓMENOS FÍSICOS**   
  
En esta sección haremos una revisión de algunos fenómenos y propiedades físicas que nos ayudarán a entender lo que ocurre en el proceso auditivo.   
  
Resonancia   
  
Cuando cualquier cuerpo o estructura puede vibrar lo hace solamente con determinadas frecuencias. Los valores de estas frecuencias dependen de la forma y de las características mecánicas del cuerpo o estructura. Tomemos como ejemplo ilustrativo el caso de una cuerda que tiene sus dos extremos fijos. Supongamos que inicialmente la cuerda está en equilibrio, es decir en su posición horizontal y en reposo. Si en un determinado instante la jalamos y luego la soltamos, nos daremos cuenta de que empezará a vibrar. De hecho esta vibración la podemos oír. Éste es el caso cuando se toca una guitarra, en la que las cuerdas están fijas en sus extremos y se rasgan. Otro ejemplo es el del violín, en que las cuerdas están fijas en un extremo y se fijan con el dedo del artista en el otro; se dice que se pisa la cuerda. En el caso del violín, no se jala la cuerda con el dedo sino se saca de su posición de equilibrio por medio del arco. Otros casos son el del piano, el arpa, el laúd, etcétera.   
  
La cuerda está vibrando con muchas frecuencias al mismo tiempo. Ahora bien, resulta que de todas las frecuencias hay una, la de mínimo valor, que es la que tiene mayor energía. A esta frecuencia se le llama la fundamental. Las otras frecuencias con las que también vibra la cuerda tienen valores que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental; esto es, tienen valores que son 2, 3, 4,... veces el valor de la frecuencia fundamental, que son los sobretonos o armónicos de la fundamental.   
  
El conjunto de frecuencias a las que vibra un cuerpo se llaman frecuencias naturales o modos normales de oscilación. Los valores de las frecuencias naturales dependen de las características del cuerpo particular. En el ejemplo de la cuerda antes mencionado, las frecuencias naturales dependen de la longitud de la cuerda, de su masa y de la tensión a que esté. Mientras más pesada sea la cuerda, menor será la frecuencia que emita, es decir, su tono será más grave. Además, mientras mayor sea la tensión a la que esté sujeta la cuerda, mayor será la frecuencia de sus sonidos, o sea, será más agudo. Finalmente, mientras más corta sea la cuerda más agudo será el tono de sus sonidos.   
Existen muchos otros sistemas que pueden vibrar. En general, cada uno de ellos puede vibrar solamente con una o varias frecuencias, o sea las frecuencias naturales. De estas frecuencias la mínima es la fundamental y las otras son los sobretonos. No siempre ocurre que los sobretonos sean múltiplos enteros de la fundamental; por ejemplo, en un tambor los sobretonos no son múltiplos de la frecuencia fundamental.   
  
Cuando uno perturba cualquier sistema que puede vibrar se generan ondas de muchas frecuencias. Resulta que aquellas ondas, con frecuencias que no son iguales a alguna de las naturales, se disipan muy rápidamente, quedando solamente las ondas, que sí tienen frecuencias iguales a alguna de las naturales. Es decir, en general, el sistema vibra con la frecuencia fundamental y algunos de sus sobretonos.   
  
Supongamos ahora que un agente externo perturba un sistema que puede vibrar. En este caso el sistema empieza a vibrar. La forma en que vibre dependerá de la o las frecuencias que imprima el agente externo. Si la frecuencia de la perturbación no es igual a ninguna de las frecuencias naturales del sistema, entonces el sistema vibrará con determinada amplitud, que en general será pequeña. Sin embargo, si el valor de la frecuencia de la perturbación se acerca al valor de alguna de las frecuencias naturales del sistema, la vibración que ocurre empieza a tener una amplitud grande; mientras más cerca esté de una de las frecuencias naturales, mayor será la amplitud. Si resulta que la frecuencia de la perturbación es igual a una de las naturales, entonces la vibración tendrá una amplitud muy grande. Se dice que el agente externo está en resonancia con el sistema.   
  
Puede ocurrir que esta amplitud sea tan grande que el sistema no sea capaz de tolerarla y se destruya. Podemos citar el siguiente ejemplo: un edificio es un sistema mecánico que puede vibrar, y por tanto tiene un conjunto de frecuencias naturales de oscilación. Sobre el edificio puede incidir un golpe de viento, que es una perturbación que contiene muchas frecuencias. Si resulta que una de las frecuencias con las que vibra el viento es igual a alguna de las naturales del edificio, entonces el edificio empezará a oscilar con una amplitud muy grande que puede causarle daños. El viento habrá entrado, en este caso, en resonancia con el edificio.   
  
Otra perturbación que puede afectar a un edificio es la de una onda sísmica, que también contiene ondas de muchas frecuencias. Si resulta que una de éstas es igual a alguna de las naturales del edificio, entonces la onda entra en resonancia con el edificio y lo puede dañar. En el terremoto que sufrió la ciudad de México en septiembre de 1985, las ondas sísmicas contenían una frecuencia de 0.5 Hz. Resulta que éste era el valor de la frecuencia natural de un buen número de edificios de alrededor de seis pisos. La consecuencia fue su destrucción.   
  
Otro ejemplo impresionante de resonancia ocurrió en 1940 con un puente en la ciudad de Tacoma, en el estado de Washington en Estados Unidos. Poco tiempo después de su inauguración, un vendaval sacudió la zona. En el viento había una onda de frecuencia igual a una de las naturales del puente. Éste entró en resonancia con el viento, con la consecuencia de que su amplitud fue tan grande que se destruyó.   
  
Si un cantante emite con su garganta una nota de cierta frecuencia, por ejemplo el la de 440 Hz, cerca de un piano (con sus apagadores desconectados) o un violín, se observará que cualquiera de estos instrumentos empezará a vibrar en la nota la: En este caso, el sonido emitido por el cantante entró en resonancia con el instrumento musical y lo puso a vibrar.   
  
Hemos de mencionar que hay otros ejemplos de resonancia que no son destructivos. Las moléculas que componen las sustancias pueden absorber y emitir ondas luminosas solamente de ciertas frecuencias. Éstas son sus frecuencias naturales. Si a una sustancia le llega una luz que contiene a todas las frecuencias, por ejemplo la luz blanca, entonces las moléculas de la sustancia absorberán solamente las ondas que tengan frecuencias iguales a alguna de sus frecuencias naturales y dejarán pasar o reflejarán a las otras. Éste es un fenómeno de resonancia. Si observamos la sustancia, a nuestros ojos llegarán las ondas reflejadas por ella. Por tanto, el color que le asignemos corresponde a las frecuencias que no son iguales a las naturales. En consecuencia, el color que asignamos a una sustancia está relacionado con un fenómeno de resonancia.   
  
Presión   
  
Un concepto muy importante para entender la transmisión del sonido en el oído es el de la presión. Supongamos que se aplica una fuerza sobre una superficie extendida. Un ejemplo es cuando estamos parados con un solo pie. En este caso todo el peso de nuestro cuerpo se aplica al suelo, pero no en un solo punto sino sobre toda la superficie de nuestro pie que está en contacto con el suelo. De esta manera, por así decirlo, la fuerza que aplicamos al suelo se distribuye a lo largo del área en que se aplica. Si pesamos 70 kg y nuestro zapato tiene un área de 250 cm2, entonces vemos que en cada cm2 de contacto se está aplicando una fuerza de (70/250) = 0.28 kg. A la fuerza que se aplica en cada cm2 de superficie se le llama presión. En nuestro caso, el cuerpo está aplicando una presión de 0.28 kg/cm2.   
  
Supóngase que la misma persona que pesa 70 kg se pusiera otros zapatos que tuvieran menor área, por ejemplo que el área, en lugar de ser 250 cm2, fuera de 175 cm2. En este caso a cada cm2 le tocaría una fuerza de (70/175) = 0.4 kg. Es decir, la presión sería de 0.4 kg/cm2.   
Este ejemplo nos ilustra el hecho de que si se aplica la misma fuerza en distintas superficies, aquella que tenga mayor área experimentará menor presión, e inversamente, mientras menor sea el, área mayor será la presión ejercida. Por tanto, se puede lograr una presión requerida, aplicando determinada fuerza, cambiando adecuadamente el valor del área de la superficie.   
  
Consideremos el caso en que se aplica una presión de 30 kg/cm2 sobre una superficie que tiene un área de 20 cm2. Queremos calcular la fuerza total que se aplica a la superficie. Una presión de 30 kg/cm2 quiere decir que a cada cm2 se le aplica una fuerza de 30 kg, y si se tienen 20cm2 entonces la fuerza total será de   
30X 20 = 600 kg.

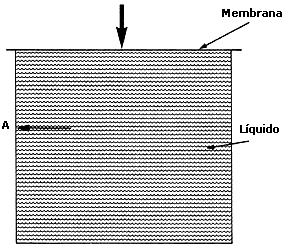
Fig 13  


Figura 13. La presión aplicada en la membrana se transmite íntegra a todos los puntos del líquido.   
  
  
  
Esto significa que mientras mayor sea el área en que se aplica una presión mayor será la fuerza total que experimente la superficie.   
  
Sea el caso en que se aplica una fuerza sobre un líquido que está en reposo. Esto se puede lograr, por ejemplo, a través de una membrana que se coloque sobre la superficie libre del líquido (Figura 13). Esta fuerza genera una presión sobre la membrana. La membrana, a su vez transmite esta presión al líquido. Pues bien, resulta que si el líquido está en reposo, entonces la presión que recibe el líquido la transmite con el mismo valor a cualquier punto de él. Así, si se ejerce, por ejemplo, una presión de 4 kg/cm2 sobre la membrana, entonces en un punto como el A, en el que el líquido está en contacto con su recipiente, dicho líquido ejerce sobre la pared del recipiente una presión de 4 kg/cm2. Si el área del recipiente es grande, entonces la fuerza total que ejerce el líquido es grande, y si el material de que está hecho el recipiente no aguanta esta fuerza entonces se puede romper. Es por este motivo que no hay que llenar completamente las botellas que encierran líquidos, pues si se aplica una fuerza sobre el recipiente, por ejemplo un golpe, la presión ejercida se transmite a todo el líquido y se puede ejercer una fuerza muy grande sobre las paredes interiores de la botella, que si no puede soportarla, se rompe.   
  
Transformador de presiones   
  
Supongamos que a un aparato como el mostrado en la figura 14 se le aplica una fuerza en el extremo A. Además, supóngase que este aparato es capaz de transmitir esta fuerza aplicada de manera íntegra al otro extremo B; es decir, si se le aplica en A una fuerza de 25 kg entonces el extremo B ejerce una fuerza de 25 kg.

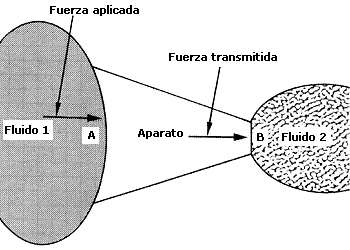
Fig. 14  


Figura 14. Esquema de un transformador de presiones.   
  
  
  
En seguida consideremos el caso en que ambos extremos del aparato estén en contacto, cada uno, con membranas que encierran a sendos fluidos. Supóngase que el fluido 1, a la izquierda, ejerce sobre el aparato una determinada fuerza. El aparato transmite esta fuerza hasta el extremo B que está en contacto, a través de otra membrana, con el fluido 2. Por tanto, e fluido 1 ejerce una presión sobre el aparato "por medio de la superficie A. Como el extremo B del aparato ejerce una fuerza, esto significa que el líquido 2 también experimenta una presión. ¿Cuál es la relación entre las presiones en los dos líquidos? Para responder a esta pregunta consideremos el siguiente ejercicio numérico.   
Supóngase el caso en que las dimensiones de las áreas de las superficies de las membranas A y B sean:   
  
superficie A = 90 cm2; superficie B = 2 cm2.   
  
Supóngase además que el fluido 1 ejerce una presión de 4 kg/cm2 sobre el extremo A. En este caso la fuerza total que ejerce el fluido 1 sobre el extremo A del aparato es   
4 X 90 = 360 kg.   
  
Pero el aparato transmite toda esta fuerza hasta el extremo B. Por tanto, el fluido 2 experimenta una fuerza de 360 kg. Aplicada en un área de 2 cm2. En consecuencia, la presión ejercida sobre el líquido 2 es   
360/2 = 180 kg/cm2.   
  
Nos damos cuenta que el aparato fue capaz de aumentar la presión del valor 4 kg/cm2 al valor 180 kg/cm2; es decir hubo un aumento de 180/4 = 45 veces: ¿De dónde vino este aumento? Pues podemos ver que vino de la diferencia de áreas. En efecto, la relación entre las áreas es   
90/2 = 45  
,   
que es justamente el factor en que aumentó la presión. Partiendo de este ejercicio nos damos cuenta que si las áreas entre las que se aplica nuestro aparato disminuyen en un factor determinado, entonces la presión aumenta precisamente en ese mismo factor.   
  
Un aparato como el que estamos considerando es capaz entonces de aumentar los valores de la presión y es por este motivo que se le llama transformador de presiones.   
  
Por diversas razones inherentes a su funcionamiento, en casos prácticos un transformador de presiones no transmite completamente la fuerza aplicada. Esto tiene como consecuencia que la amplificación de presiones que se logra es menor que la relación entre las áreas