

Microintervállica - acústica



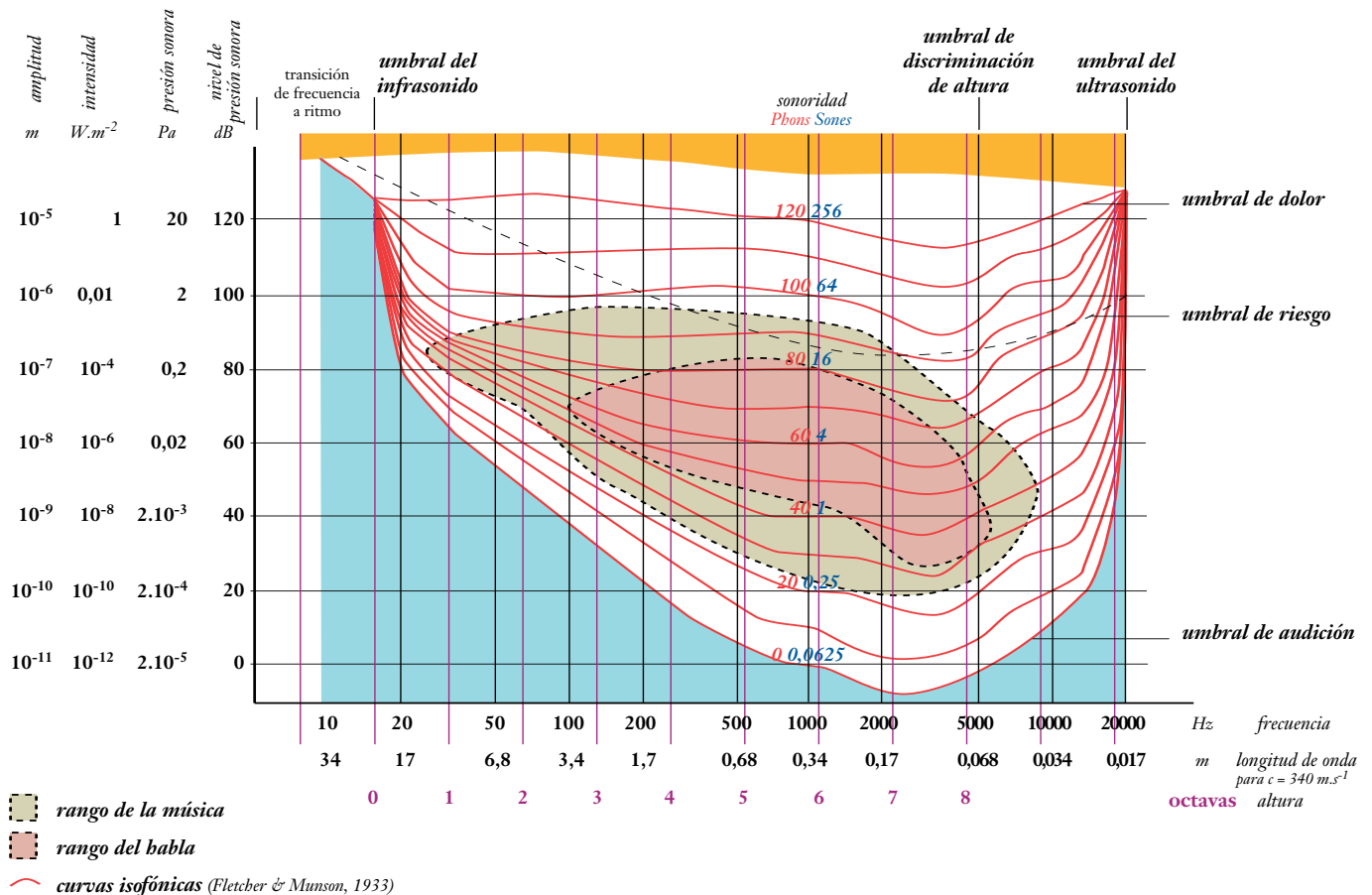
Salvador Dalí: *Retrato de Juan de Pareja ajustando una cuerda de su mandolina*, 1960, oleo, 76,5 x 87,6 cm

Fundamentos acústicos

Se ha hablado, tradicionalmente, de la escala de los físicos para designar una escala musical considerada, a veces, más apropiada, más correcta o más natural. ¿De qué se trata? ¿En qué la física del sonido condiciona la percepción o el uso de alturas? ¿En qué la acústica orienta o determina la organización de alturas para un uso musical?

Límites de la percepción

La percepción humana no es infinita: tiene límites que condicionan lo que puede ser percibido. Esos límites afectan todos los parámetros del sonido: la frecuencia, la amplitud, la duración, traducidos en percepción como altura, dinámica y temporalidad.



Percepción de altura – continuo sonoro

Los límites de percepción de frecuencia, tal como se puede experimentar en un laboratorio de sonido bien equipado son alrededor de 16 Hz en los graves y 20 kHz en los agudos, para un oído joven. Entre esos límites, y si está el nivel sonoro necesario, se podrá percibir frecuencia, que podrá, si las circunstancias están dadas, generar sensación de altura.

Entre esos límites, cualquier frecuencia es perceptible: una infinidad de frecuencias. Entre dos frecuencias dadas, también hay una infinidad de otras frecuencias, ya que el fenómeno es continuo y que el oído humano es capaz de percibir cualquier frecuencia en ese rango.

Los límites de percepción de altura también varían según el tipo de sonido. La altura se vuelve difusa e inestable por encima de 5000 Hz aproximadamente. Pero en sonidos complejos armónicos, se percibe hasta los 5 Hz, aprox., a partir de la serie armónica audible (la frecuencia de 5 Hz sola no es audible, pero desde su 4º armónico, la serie es audible). En sonidos complejos inarmónicos, cada componente se tendrá que destacar por sí mismo para poder generar sensación de altura, por lo tanto difícilmente pueda generarla por debajo del umbral de percepción de frecuencia pura (alrededor de 16 a 20 Hz).

Lo que va a generar la sensación de altura depende del tipo de sonido:

<i>tipo de sonido</i>	<i>lo que genera la altura</i>	<i>límites</i>
sonido simple (sinusoidal)	la frecuencia misma del sonido	~16-20 Hz — 5 kHz
sonido complejo		
armónico	la fundamental de la serie armónica (presente o no)	5 Hz — 5 kHz
inarmónico	depende del contenido inarmónico: puede existir una altura bien definida, altura poco estable, varias alturas, o ninguna altura	
sonido de espectro de banda		
estrecha	la frecuencia central de la banda	
ancha	sin sensación de altura	

Altura y timbre, tonicidad

La sensación de altura depende además de la tonicidad del sonido: capacidad del sonido en imponer perceptivamente una altura determinada, fruto de la proporción temporal entre ataque y duración del sonido, carga en transitorios, complejidad del espectro, así como de la estabilidad o variabilidad de las frecuencias presentes.

Esta tonicidad va a diferenciar la calidad de altura (débil o fuerte) de instrumentos tales como los timbales (tonicidad débil), del piano (tonicidad media), del órgano (tonicidad fuerte) o de la campana (tonicidad ambigua, a veces tonicidad doble o triple). La continuidad temporal del sonido y la envolvente son factores centrales de la tonicidad de la fuente sonora.

Duración y discriminación tonal

La discriminación tonal requiere un tiempo mínimo de exposición para generar la sensación de altura, que implica una duración mínima del sonido para ser percibido tonalmente.

Abajo de 10 ms, no se percibe altura, sino impulso; el umbral de percepción va a depender del nivel sonoro y de la complejidad del timbre. Puede llegar a 100 ms.

Para percibir dos sonidos sucesivos como separados, también se necesita un tiempo mínimo, del orden de 30 ms, dependiendo del tipo de sonidos y del sujeto. Los sonidos continuos necesitan más separación que los discontinuos.

O sea, dos sonidos demasiado breves o demasiado cercanos van a ser percibidos como una unidad.

Banda crítica y batimiento

Otro elemento que afecta la percepción de altura es la banda crítica: esa zona alrededor de cada frecuencia en la cual se producen los fenómenos perceptivos de batimiento y de aspereza.

Dos frecuencias separadas por menos de 20 Hz se perciben fusionadas, con una modulación de amplitud igual a la mitad de su diferencia (frecuencia de batimiento). La altura percibida es el promedio de las dos frecuencias. Con más frecuencias simultáneas en la misma banda de 20 a 100 Hz (dependiendo del registro y de la cantidad de frecuencias simultáneas), la fusión perceptiva se acompaña de una modulación de amplitud que se vuelve irregular y da una sensación orgánica, aún mayor si la banda es de espectro continuo.

Si la diferencia entre las frecuencias es mayor a 20 Hz (aprox.), se percibe aspereza o rugosidad, que hace difícil la separación perceptiva de las alturas.

En el caso de sonidos reales (complejos armónicos o inarmónicos, o complejos de bandas estrechas), la cantidad de componentes influye sobre el resultado perceptivo y la percepción de batimiento o de aspereza.

Discriminación tonal y continuo

La discriminación tonal es también afectada por la continuidad o discontinuidad percibida. Un cambio progresivo de altura es más difícil de percibir si el sonido cambia en forma continua que si cambia de manera discontinua; uno necesitará un cambio con más diferencia real si es continuo que si es discontinuo.

Eso afecta también la percepción de altura en los graves extremos: un sonido complejo armónico por debajo de 20 Hz de fundamental (50 ms de período), perceptible por su serie armónica, podrá ser percibido como altura y como un pulso de la misma frecuencia, ya que los ciclos de esa onda son más largos que la duración límite para percibir sonidos separados.

Intervalos

Lo significativo de un intervalo no es la cantidad de ciclos que diferencia las alturas involucradas, sino la proporción entre las frecuencias que representan las alturas.

El intervalo se puede expresar como cociente de las frecuencias involucradas: $I = f_a/f_b$

Si es producido por una división regular de un intervalo de referencia, cada intervalo se podrá expresar en función de este intervalo, considerado como intervalo de periodicidad.

$$I_n = \sqrt[d]{I_p}^n$$

I_n , intervalo de n intervalos básicos; d , cantidad de divisiones; I_p , intervalo de referencia, periodicidad o repetición.

Se propusieron dos unidades que facilitan la medición y la comparación:

- el *savart*, logaritmo decimal del intervalo expresado como cociente o como raíz n , multiplicado por 1000:

$$I = 1000 \log I_f$$

la unidad se escribe σ (letra griega sigma)

- el *cent*, propuesto por Alexander Ellis y derivado de otra unidad anterior, el prony: es la división del semitono en cien partes iguales, o la división de la octava en 1200 partes iguales:

$$I = 100 \log_{\sqrt[12]{2}} I_f$$

la unidad se escribe c .

La primera unidad es neutra: no favorece ningún intervalo en particular; la segunda parte del temperamento igual occidental para la medición y comparación de intervalos. Los números obtenidos suelen ser redondos para intervalos comunes equidistantes, en cents (1200 c para la octava, 200 c para un tono, 100 c para un semitono), pero no en savarts (301,03 σ para la octava, 50,17 σ para un tono temperado igual, 25,09 σ para un semitono), para los cuales no hay referencia particular.

Memoria y cultura

La acústica y la psicoacústica no tienen (y no deberían tener) preferencias en términos de afinación y entonación: nada en la física del sonido implica una forma u otra de organización de las alturas, como tampoco muestra preferencias por alguna forma de timbre. Todo es posible, como lo muestra la práctica de las culturas humanas, históricamente y geográficamente.

Aparte de los límites perceptivos, que están muy lejos de los límites inherentes a los sistemas musicales en general, si algo limita la percepción de intervalos diferentes, será la memoria y la cultura del oyente, calibrada en los límites y las preferencias musicales de su entorno sociocultural. La memoria registra con más o menos precisión y más o menos flexibilidad el contexto tonal y lo usa para evaluar si se toca o canta «justo» o «desafinado». La cultura incluye (a veces) o excluye (en general) todo lo que no es propio y, usualmente, lo descalifica en primera aproximación; la cultura calibra las referencias y dificulta la percepción de lo diferente. Pero en ambos casos, memoria y cultura son fenómenos abiertos que pueden evolucionar e incorporar nuevos matices y nuevas matrices referenciales, como lo ha mostrado ampliamente el s. XX, y como lo muestran las culturas que usan diferentes sistemas de entonación en diferentes contextos.

Sonido, música y ruido

No le pertenece a la acústica definir, como lo hizo en su momento Hermann von Helmholtz en un intento de circunscribir científicamente la música, qué es el sonido musical y qué sería el sonido no musical. Esa conceptualización le pertenece a los músicos, a las culturas y a la historia; cambiará en el tiempo y en la geografía, como lo muestra una mirada rápida a las prácticas variadas de hoy y a las de ayer. La oposición arbitraria, propuesta por Helmholtz y ampliamente difundida por los diccionarios y otros desde entonces, entre sonido musical periódico y ruido aperiódico no corresponde a la realidad de la práctica musical anterior o contemporánea del físico, ni a la posterior que fue reivindicando la inclusión del ruido (tomado en muchas otras acepciones que la específica de Helmholtz) en la música. Esta propuesta asimila, quizás como visión profética del *rap*, la voz hablada a la música y excluye de la música a la mayoría de las percusiones. La confusión se produce por querer definir mediante la ciencia los límites de la cultura.

¿Leyes naturales? La serie armónica en la acústica real

Armonía, palabra sagrada que no puede sino estar al origen de la música. Y sin embargo, cuántas confusiones nacen de una palabra usada en sentidos muy diferentes a lo largo de los siglos, a través de cuyos sentidos parece encontrarse la naturaleza de la música. Se recurre a la acústica para decir que los intervalos musicales nacen de la serie armónica, pero en física, esta misma serie caracteriza el espectro de un sonido perfectamente periódico, o sea se relaciona al timbre y no particularmente a la altura: ¿esa relación al timbre implica determinar las alturas? ¿El sonido periódico tiene la responsabilidad de determinar las relaciones interválicas de todos los sonidos? ¿O se trata de una elección, entre muchas otras posibilidades?

La serie armónica está presente en el sonido periódico, pero las condiciones para que el sonido este periódico no son las condiciones generales de la generación sonora.

Los vibradores sólidos libres (los que no necesitan tener tensión ni estar agarrados para vibrar) se caracterizan por la emisión de un espectro inarmónico, dependiente del material (madera, metal, piedra, cerámica, vidrio, etc.) y de su forma. La masa, la densidad y la estructura (amorfa, cristal, fibras, etc.) del material sólido favorecen una resistencia a la onda sonora que se traduce por una vibración inarmónica (con componentes de frecuencia en proporciones no enteras entre sí). Las formas que puede tomar la materia en estado sólido permiten el desarrollo de ondas estacionarias variadas que constituyen un espectro inarmónico. Además cada componente tiene una microinestabilidad que lo permite ver (oír) más como una pequeña banda estrecha y continua de frecuencias que como una frecuencia pura: es lo que le da esa sensación de sonido orgánico y lo hace diferenciarse perceptivamente del sonido sintético.

Los sólidos flexibles (los que necesitan tener una extremidad agarrada para vibrar, diapasón, kalimba, acordeón, etc.) emiten un espectro inarmónico, pero bastante estable: no sufren desviación de altura cuando crece la energía de excitación que los pone en vibración, y la energía necesaria para dar el salto de un régimen vibratorio al siguiente es difícil de alcanzar. Las varillas (diapasón) y las lengüetas espesas (kalimba) tendrán un espectro de pocos componentes, mientras las lengüetas livianas (acordeón) tendrán un espectro más cercano a una serie armónica, o a una serie armónica de pequeñas bandas estrechas y continuas.

Los sólidos tensables (cuerdas, resortes, membranas, que necesitan estar tensados para vibrar) no tienen un comportamiento único: las cuerdas emiten un espectro bastante armónico, con un grado de inarmonicidad que depende de su densidad y de su tensión; las membranas generan un espectro inarmónico.

Por supuesto, se puede afirmar que en las cuerdas, modelo tradicional desde los griegos, la división armónica (en 2, 3, 4, 5 o más partes iguales) de la cuerda produce la serie armónica. Pero también se debe recordar que la altura de la cuerda dependerá de su longitud y de la tensión que se le aplica: de esa manera, la cuerda puede producir el continuo sonoro independientemente de su producción de armónicos. De la misma manera, la columna de aire generada por un tubo se divide en partes iguales para producir armónicos y constituir el timbre del aerófono, pero la longitud del tubo puede ser cualquiera, para producir cualquier altura.

Con los vibradores gaseosos (fuentes sonoras que emiten sonido a partir de la vibración del aire u otro gas), la producción sonora en condiciones normales se asemeja a una serie armónica y al modelo ideal, pero apenas se fuerza la presión de excitación del aire vibrante (en columna o cavidad), la frecuencia fundamental y su serie armónica cambia, marcando inestabilidad. Si la presión se vuelve fuerte o se modifican las condiciones de la excitación (posición de la misma con respecto a la columna, por ejemplo), el sonido se vuelve complejo (los llamados «multifónicos») y francamente inarmónico.

En definitiva, las condiciones de la serie armónica perfecta son un sonido en media tinta, en el registro medio y con dinámica mediana. La tensión, la presión y la densidad son factores de inarmonicidad, ya que resisten a la vibración y contribuyen así a la deformación de la serie armónica. El aire, único gas compatible con el ser humano, es el único material que puede dar un espectro perfectamente armónico, en ciertas condiciones limitadas.