

Enseñando a una computadora Teoría Musical Básica

The Matrix y el aprendizaje instantáneo

Qué pasaría si nuestro cerebro funcionara como una computadora?



En la trilogía de películas “The Matrix” se da por un hecho la posibilidad de que un cerebro humano pueda recibir conocimiento de una manera directa. Tal cosa no es posible en un cerebro biológico, pero sí en una computadora. Es posible codificar conocimiento humano y en los milisegundos que se tarda en cargar un archivo en memoria RAM la computadora tendrá el conocimiento que a un ser humano le lleva semanas adquirir.

Ese en nuestro caso con la Teoría Musical Básica que un estudiante de Etapa Básica de la UCR debe dominar en su primer año.

Teoría musical básica

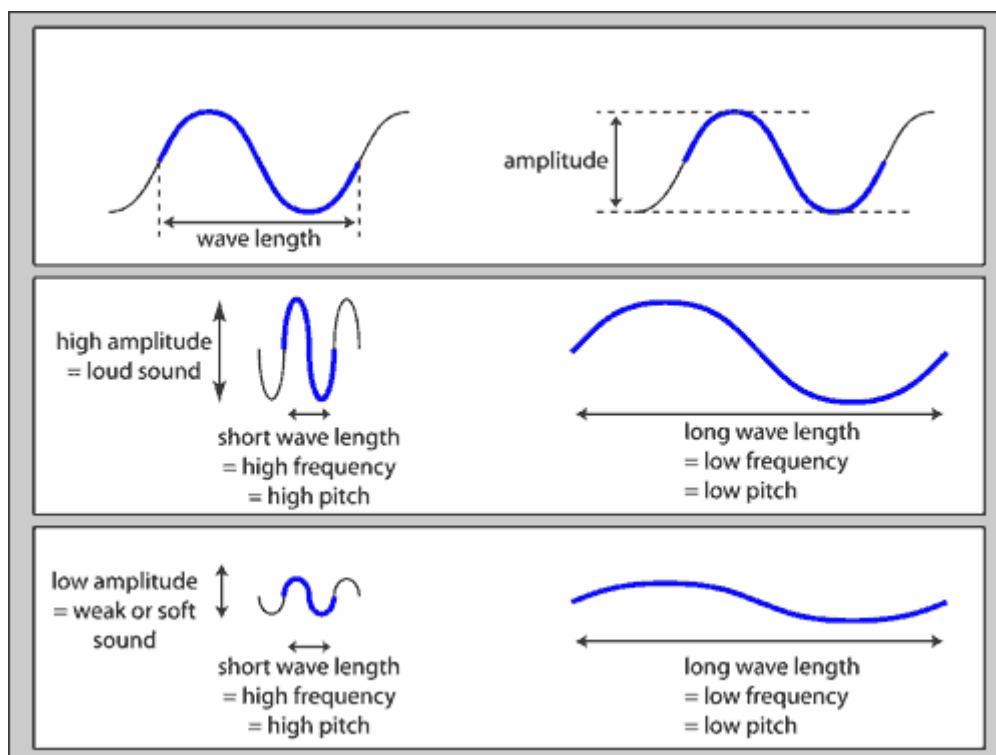
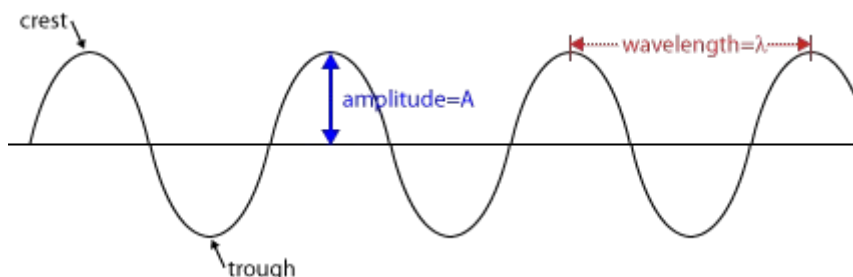
Referencia

El material utilizado en estas notas (exceptuando la interpretación física del sonido) procede de la obra “Curso Básico de Armonía (Libro de Texto)”, de los profesores Isabel Jeremías y Enrique Cordero.¹ Por supuesto, los errores que se encuentren en este resumen son de mi completa responsabilidad.

Características del sonido:

Para los seres humanos, el sonido es una onda cinética que se propaga en el aire.

Las características de una onda son amplitud y frecuencia. A los sonidos de mayor frecuencia se los denomina agudos, y a los de menor frecuencia se los llama graves; a los de mayor amplitud se los llama fuertes y a los de menor amplitud débiles. La amplitud es llamada también “volumen”.



La unidad de medida de la frecuencia de fenómenos periódicos es el Herzio (Hz), donde una medida de 1Hz significa que la onda en cuestión tiene una frecuencia de 1 ciclo por segundo.

La tradición musical de práctica común.

Según los musicólogos, hacia el final del Renacimiento y principios del Barroco se consolida un conjunto de principios sobre las relaciones entre los sonidos, que se consideraron durante trescientos años la forma correcta de hacer y componer música, es decir, estos principios determinaban desde la afinación de los instrumentos musicales hasta lo que se podía considerar como “música bien escrita”.



“Robinson’s Band Plays Anything,” F. Bildestein, 1890. From the cover of the New Orleans newspaper the *Mascot* (November 15, 1890).²

Los sonidos musicales (un punto de vista físico-matemático)

En primer lugar, se estableció de manera empírica un patrón universal de afinación, que se fijó en algo así como 440 ± 15 Hz, y quedó definitivamente establecido en 440Hz a finales del siglo XIX.

Los sonidos musicales aceptados se restringieron a aquellos con distancias exponenciales enteras definidas a partir del patrón de afinación.

Un detalle formal a destacar es que, aunque el sonido está parametrizado por dos valores, la altura y la frecuencia, la frecuencia es el único valor que se juzga esencial en el sonido musical, y la altura se considera solo un medio expresivo, que en la escritura musical europea se consigna con términos como *fortíssimo*, *forte*, *piano*, *pianissimo*, etc. Entonces, dado que solo hay una dimensión sobre la que podemos movernos, el espacio de los sonidos musicales estaría dado en una secuencia lineal.

El conjunto de los sonidos musicales quedó restringido a un conjunto discreto; y de una manera empírica se definió una “distancia” entre sonidos musicales, determinada por el aumento o disminución de la frecuencia de una nota a otra. En términos matemáticos modernos diríamos que si una nota tiene una frecuencia f , entonces las notas predecesora y sucesora de esta en la escala tendrían las frecuencias $\frac{f}{\sqrt[12]{2}}$ y $f * \sqrt[12]{2}$, respectivamente. La distancia entre una nota y cualquiera de sus vecinas inmediatas es llamada **semitono**.

En segundo lugar, se estableció un sistema basado en siete notas “principales”, y cinco notas “adicionales”³. Los nombres de las notas principales, que cambian de acuerdo a la tradición musical de referencia, son:

Tradición Italiana: Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si

Tradición Francesa: Ut, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si

Tradición Alemana: c, d, e, f, g, a, h

Tradición Inglesa: c, d, e, f, g, a, b

Se define que si se tiene una nota principal n , entonces sus vecinas anterior y posterior serían “ n bemol” y “ n sostenido”, respectivamente⁴ (con un par de excepciones que veremos más adelante); existen símbolos especiales para estas denominaciones, que son \flat y \sharp . Por lo anterior, las notas “adicionales” tienen dos nombres, y estas son (Do \sharp /Re \flat), (Re \sharp /Mi \flat), (Fa \sharp /Sol \flat), (Sol \sharp /La \flat) y (La \sharp /Si \flat) [C \sharp /D \flat , D \sharp /E \flat , F \sharp /G \flat , G \sharp /A \flat , A \sharp /B \flat]; también se dice que los dos nombres de estas notas son “notas enarmónicas en el sistema de afinación de igual temperamento”⁵. (En terminología alemana Si \flat es llamada B.)

La *escala cromática* es la secuencia lineal de las 12 notas: Do, (Do \sharp /Re \flat), Re, (Re \sharp /Mi \flat), Mi, Fa, (Fa \sharp /Sol \flat), Sol, (Sol \sharp /La \flat), La, (La \sharp /Si \flat) y Si.



En el teclado del piano y muchos otros instrumentos de tecla, las notas principales corresponden a teclas de color blanco, y las notas auxiliares a teclas de color negro.



Dos notas cualesquiera de la escala cromática están a un semitono de distancia; dos notas que están a una distancia de dos semitonos se dice que están a un tono de distancia.

El conjunto de nombres de las notas es usado de manera cíclica, de forma que la nota sucesora de Si es Do. Para distinguir notas diferentes con el mismo nombre se agrega un subíndice; de esta forma se dice que la nota con una frecuencia de 27.5Hz es La₀, y la nota con frecuencia de 4186Hz es Do₈.

El patrón de afinación corresponde entonces a La₄.

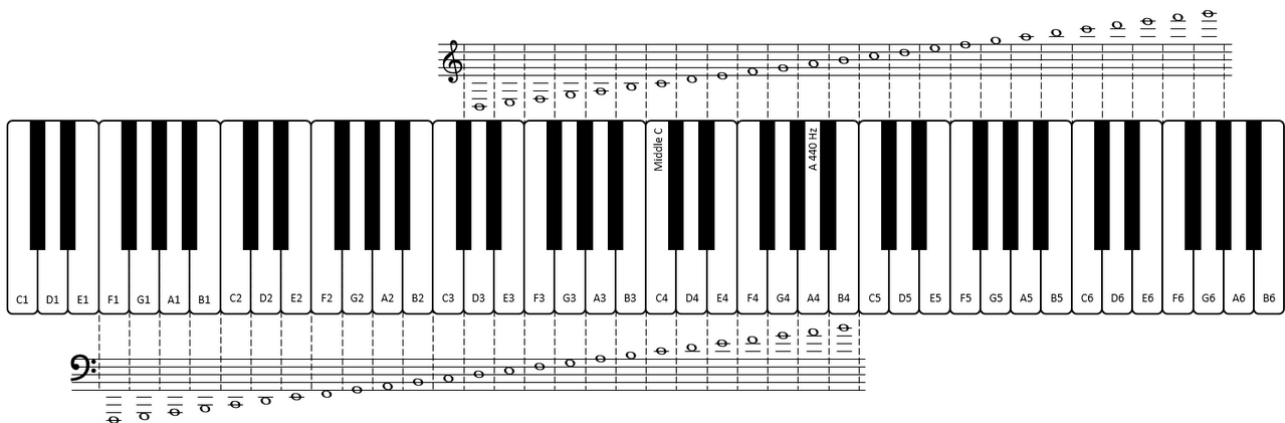
Para calcular la frecuencia de cualquier nota indizada n_i primero definimos una función N según la siguiente tabla:

| n | N(n) = k |
|-----------------|-----------------|
| Do | -9 |
| Do#/Re \flat | -8 |
| Re | -7 |
| Re#/Mi \flat | -6 |
| Mi | -5 |
| Fa | -4 |
| Fa#/Sol \flat | -3 |
| Sol | -2 |
| Sol#/La \flat | -1 |
| La | 0 |
| La#/Si \flat | 1 |
| Si | 2 |

Entonces, la frecuencia de cualquier nota musical n_i corresponde a los valores de la función:

$$F(N(n_i), i) = 440 \times \left(\sqrt[12]{2}\right)^{12(i-4)+k} = 55 \times 2^{i-1} \times \left(\sqrt[12]{2}\right)^k$$

En la escala cromática las notas principales se encuentran a una distancia de un tono de sus vecinas inmediatas, excepto Mi/Fa y Si/Do, cuya distancia es un semitono.



En teoría el conjunto de notas es infinito, pero el rango auditivo del ser humano es limitado, así como las posibilidades constructivas de los instrumentos y los rangos naturales normales del cuerpo humano; el rango de las frecuencias de las notas en un piano normal oscila entre los 27.5Hz (La₀) y los 4186Hz (Do₈), pero algunos fabricantes han construido ejemplares que amplían el rango hasta Do₀ (16.35Hz, Bössendorfer Imperial) y, recientemente, Si₈ (7902.13Hz; 2018, Stuart & Sons).

Relación de orden

La correspondencia de notas con frecuencias permite también establecer una relación de orden total sobre el conjunto de las notas, de manera que diremos que si dos notas n_1 y n_2 son tales que la frecuencia de n_1 es menor que la de n_2 , entonces diremos que la nota n_1 es inferior a la nota n_2 , (o

“ n_1 es más grave que n_2 ”) en el contexto de la relación de orden; e igualmente podemos decir que la nota n_2 es superior a la nota n_1 . (o “ n_2 es más aguda que n_1 ”).

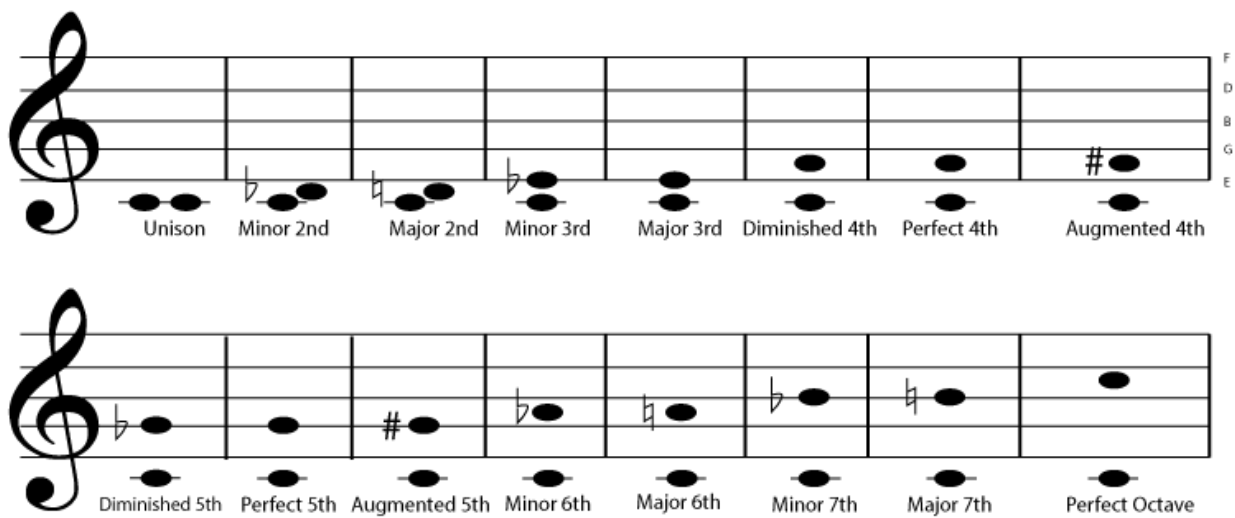
Intervalos

Casi todas las distancias “cercanas” entre las notas, medidas en semitonos, tienen nombre, según muestra la siguiente tabla:

| Distancia (en semitonos) | Nombre |
|--------------------------|--------------------|
| 0 | Unísono (perfecto) |
| 1 | Segunda menor |
| 2 | Segunda mayor |
| 3 | Tercera menor |
| 4 | Tercera mayor |
| 5 | Cuarta (perfecta) |
| 7 | Quinta (perfecta) |
| 8 | Sexta menor |
| 9 | Sexta mayor |
| 10 | Séptima menor |
| 11 | Séptima mayor |
| 12 | Octava (perfecta) |

La distancia entre dos notas es llamada intervalo.

Un hecho a destacar es que desde el punto de vista acústico, si una nota tiene una frecuencia f , su octava superior tiene la frecuencia $2f$, y la nota a una octava inferior tiene una frecuencia de $f/2$.



Intervalos aumentados o disminuidos

Todos los intervalos pueden ser aumentados si la distancia es un semitono más de los arriba definidos; por ejemplo, una segunda mayor aumentada es una distancia de tres semitonos, y una cuarta aumentada es el nombre de una distancia de 6 semitonos. De igual forma, todos los

intervalos, a excepción del unísono, pueden considerarse disminuidos si la distancia entre dos notas es menor en un semitono a la distancia dada por la tabla. Por ejemplo, una distancia de 6 semitonos entre dos notas puede llamarse quinta disminuida, y una distancia de 8 tonos podría llamarse sexta disminuida. En otras palabras, casi todos los intervalos tienen tres nombres, excepto las distancias de 0 y 6 semitonos que tienen solo dos.

Los intervalos de una octava o menos son llamados simples; los de más de una octava son llamados compuestos.

Intervalos consonantes y disonantes

Los intervalos de terceras mayores y menores, la quinta justa, las sextas mayores y menores y la octava justa son llamados intervalos consonantes. Los demás intervalos son llamados disonantes.

Modificación de los intervalos

Aumentación y disminución de notas

Diremos que aumentar una nota n por un cierto intervalo es el proceso de encontrar una nota superior cuya distancia a la nota n es el intervalo dado, y reemplazarla por la nota original. Por ejemplo, aumentar Sol_4 por una tercera menor consiste en encontrar la nota superior a Sol_4 que se encuentra a una distancia de una tercera menor de ella, y esta es $\text{La}_4 \sharp^6$. De manera similar definimos el disminuir una nota n por un cierto intervalo como el proceso de encontrar una nota inferior cuya distancia a la nota n es el intervalo dado, y reemplazarla por la nota original. Por ejemplo, disminuir Sol_4 por una tercera menor consiste en encontrar la nota inferior a Sol_4 que se encuentra a una distancia de una tercera menor de ella, y esta es Mi_4 .⁷

Operaciones sobre los intervalos

Las operaciones sobre los intervalos son operadores que los modifican mediante la aumentación o disminución de alguna de las dos notas que lo constituyen. Se definen tres operadores sobre los intervalos: inversión, ampliación y reducción.

Inversión.

Dado un intervalo, la inversión del mismo consiste en tomar la nota inferior y elevarla una octava, dejando la nota superior sin modificar. En la siguiente tabla se muestra el resultado de invertir todos los intervalos simples:

| Intervalo | Inversión |
|---------------|---------------|
| Unísono | Octava |
| Segunda menor | Séptima mayor |
| Segunda mayor | Séptima menor |
| Tercera menor | Sexta mayor |
| Tercera mayor | Sexta menor |
| Cuarta | Quinta |
| Quinta | Cuarta |

| | |
|---------------|---------------|
| Sexta menor | Tercera mayor |
| Sexta mayor | Tercera menor |
| Séptima menor | Segunda mayor |
| Séptima mayor | Segunda menor |
| Octava | Unísono |

Ampliación de un intervalo

Esta operación consiste en tomar la nota superior de un intervalo y elevarla una octava, o tomar la nota inferior y bajarla una octava. Por supuesto, este operador siempre produce intervalos compuestos, excepto para el unísono. Un tipo especial de ampliación de intervalos es la aumentación, que consiste en tomar la nota inferior del intervalo y bajarla un semitono, o tomar la nota superior del intervalo y subirla un semitono.

Reducción de un intervalo

Esta operación aplica solo a intervalos compuestos, y consiste en tomar la nota superior y reducirla una octava, o tomar la inferior y aumentarla una octava. Otra modificación de reducción es la disminución, que consiste en tomar la nota inferior de un intervalo cualquiera y aumentarla un semitono, o tomar la nota superior y disminuirla un semitono.

Escalas

Una escala es una secuencia de sonidos, escogidos del conjunto básico de 12 notas, que se ajusta a un patrón preestablecido de distancias entre notas consecutivas.

El sistema de tonalidad de práctica común consta de escalas de siete notas⁸ o heptatónicas.

Escalas mayores

Si consideramos la sucesión de las notas “principales”: Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si, usando la teoría de distancia que definimos anteriormente, veremos que el patrón de distancia entre notas consecutivas, medida en semitonos, es: 2, 2, 1, 2, 2, 2, 1; es el patrón 2, 2, 1, repetido, con una distancia de un tono entre las repeticiones. Este patrón se denomina Escala Mayor.

Las escalas reciben su nombre de la primera nota de la serie, por lo que la sucesión de notas “principales” es llamada Escala de Do Mayor; y la nota inicial es llamada el *centro tonal*.

Cualquiera de las doce notas puede ser el centro tonal de una escala mayor, por lo que hay doce escalas mayores: Do, Sol, Re, La, Mi, Si/Do^b, Fa#/Sol^b, Do#/Re^b, Lab, Mib, Sib y Fa.

SCALES (Major)

$\text{♩} = 80$

Do Major

6 Sol Major

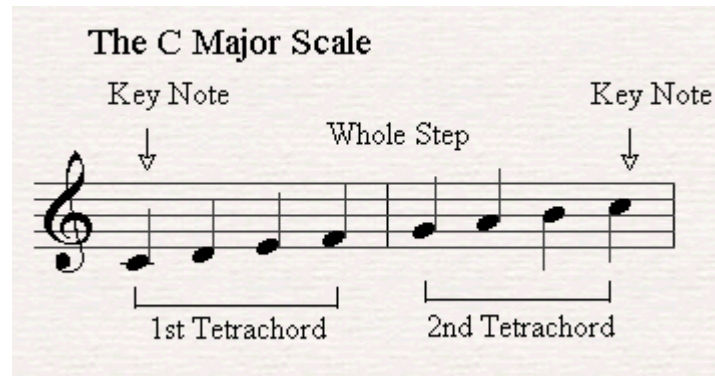
11 Re Major

16 La Major

21 Mi Major

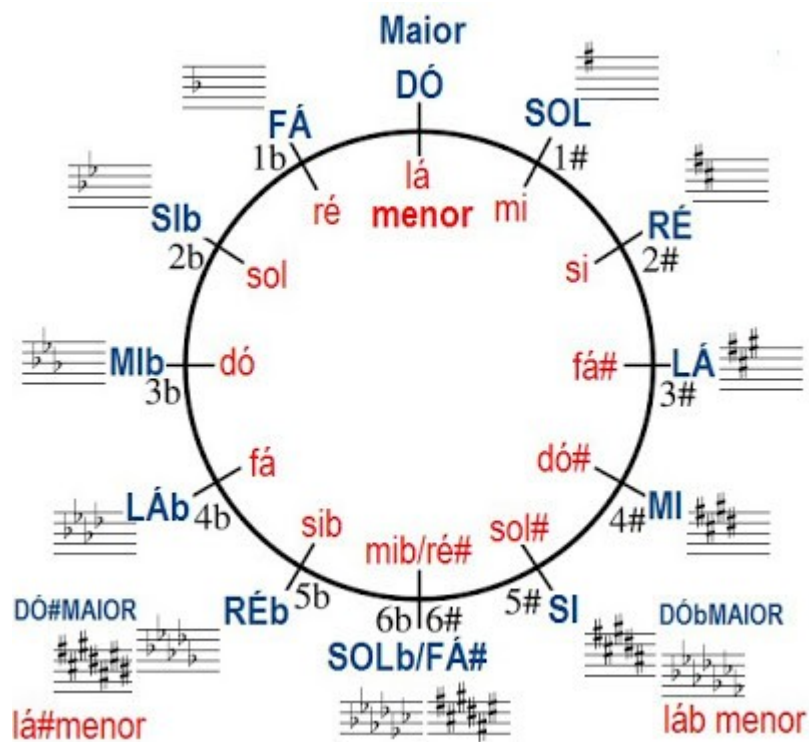
Tetracordios

Si observamos la escala de Do veremos que el patrón inicial de semitonos: 2-2-1, se repite a partir de Sol si incluimos el siguiente Do: Sol-La-Si-Do. Ese patrón (2-2-1) es llamado tetracordio mayor. Es claro que una escala mayor es la unión de dos tetracordios mayores separados por un tono. En la escala de Do tenemos un tetracordio que inicia en Do y otro que inicia en Sol.



El círculo de quintas

La escala de Do mayor usa todas las notas “principales”. Una escala mayor construida a partir de Sol tiene una sola nota auxiliar, Fa#. La siguiente escala mayor, usando el patrón de tetracordios, sería Re, que tiene dos notas auxiliares: Fa# y Do#. Si continuamos este proceso llegaremos a la escala de Fa mayor, y luego otra vez a Do mayor. La sucesión de escalas así construida es: Do-Sol-Re-La-Mi-Si/Do -Fa#/Sol -Do#/Re -Lab -Mib -Sib -Fa, es llamada el círculo de quintas.



Acordes mayores y menores

Un acorde es un conjunto de notas que se tocan simultáneamente (modo armónico) o en sucesión (modo melódico), tal que la distancia entre notas es una tercera.

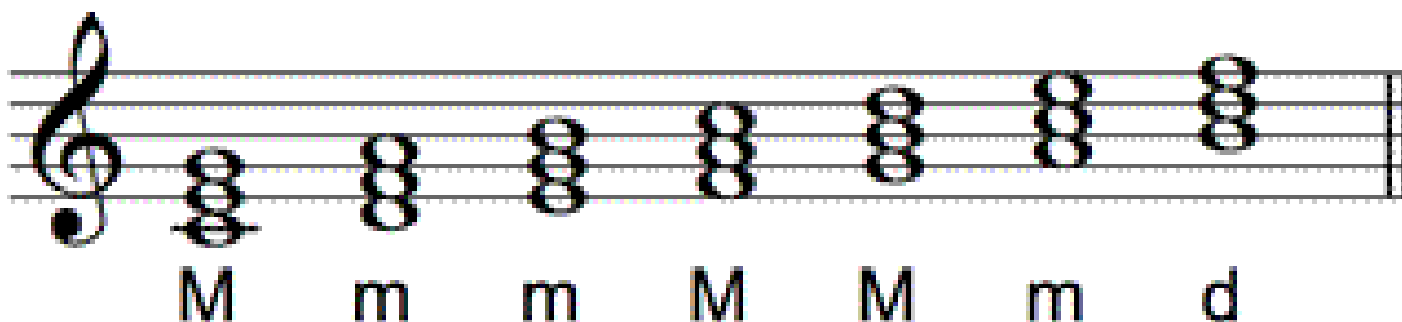
Un acorde de tres notas es una tríada.

Consideremos la escala de Do mayor. Tomemos la primera, tercera y quinta nota de esa escala, obteniendo el conjunto {Do, Mi, Sol}. Notamos que la distancia de Do a Mi es una tercera mayor, y la distancia de Mi a Sol es una tercera menor. Este patrón es llamado acorde mayor de Do. Y podemos repetir esta operación con cualquier escala mayor, y obtenemos el mismo resultado, a saber, un acorde mayor.

Una modificación importante a un acorde mayor es disminuir la primera tercera, lo que aumenta la segunda tercera; el resultado es un patrón llamado acorde menor.

Los acordes construidos en una escala dada se numeran usando notación romana, así, la tríada construida con terceras a partir la primera nota de una escala se denomina I (por ser mayor), la segunda sería ii (por ser menor), y así sucesivamente.

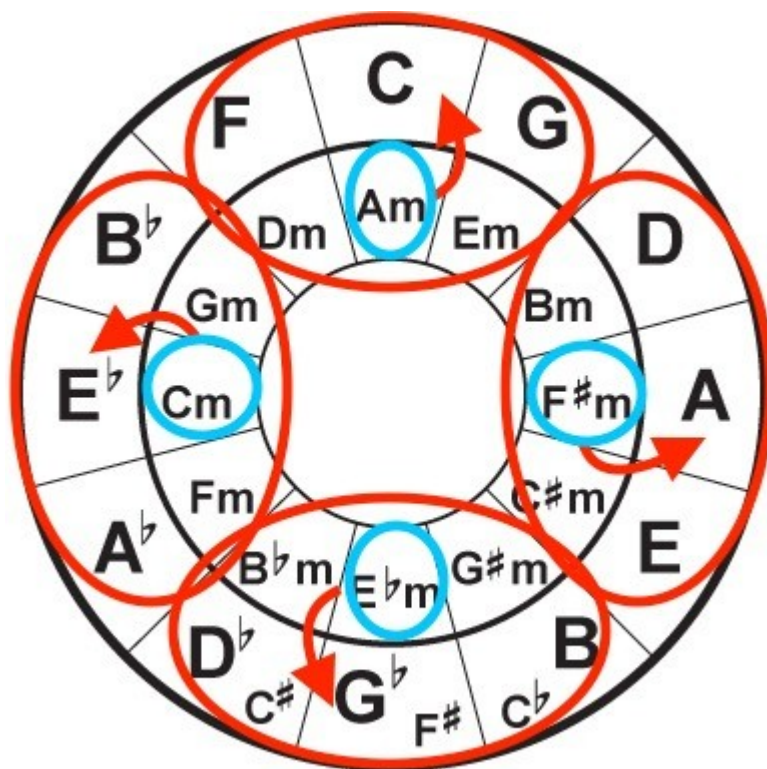
Si construimos todas las tríadas posibles con las notas de una escala mayor tenemos el siguiente patrón: I-ii-iii-IV-V-vi-d:



Progresión en círculos de acordes

Las sucesiones de acordes se usan mucho como trasfondo armónico en las obras musicales. En teoría musical estas son llamadas progresiones. La progresión vi-ii-V-I es muy usada para la armonía, y esa es la razón de que aparezca frecuentemente en la música popular para la armonización de canciones, aunque se la encuentra también en la música de la práctica común europea.

A continuación se muestra una imagen que ilustra la relación entre los círculos de acordes y el círculo de quintas.



I vi ii V I Progressions

Chord progression notation for I vi ii V I Progressions:

1. C Am Dm G C C Am Dm G C C Am Dm G C F Dm Gm C F

9. F Dm Gm C F F Dm Gm C F Bbm Gm Cm F Bbm Bbm Gm Cm F

16. Bbm Bbm Gm Cm F Bbm Eb Cm Fm Bbm Eb Eb Cm Fm Bbm Eb

23. Eb Cm Fm Bbm Eb Ab Fm Bbm Eb Ab Ab Fm Bbm Eb Ab

29. Ab Fm Bbm Eb Ab Db Bbm Ebm Ab Db Db Bbm Ebm Ab Db

Referencias

Johnston, Ian, Measured Tones (1989). *The interplay of physics and music*. Hilger, NY.

Sundberg, Johan (1991). *The Science of Musical Sounds*. Academic Press, San Diego.

JeremíasI., & Cordero, E. (2005). *Curso básico de armonía : libro de texto*. Editorial De La Universidad De Costa Rica. Segunda Edición.

- 1 JeremíasI., & Cordero, E. (2005). *Curso básico de armonía : libro de texto*. Editorial De La Universidad De Costa Rica. Segunda Edición.
- 2 Esta imagen representa el esnobismo, el engreimiento y el racismo de sus autores. Ilustra las quejas de un sector de la población de Nueva Orleáns hacia la música de los establecimientos frecuentados por la población afrodescendiente. En su exageración muestra a personas “decentes” y caballos cayendo fulminadas en las calles, al igual que perros aullando de dolor; y figuras con cabeza de burro o de pájaro (lo primero por inteligencia, lo segundo por bajas cualidades morales), entrando al local, con una banda de músicos afrodescendientes ejecutando en un balcón y provocando el caos. El Jazz y el Blues han demostrado sobradamente su vigor y valor en los cien años que han pasado desde esa imagen. Lo que se muestra, accidentalmente, es que el Jazz ya era una forma musical en un estado avanzado de formación a finales del siglo XIX en Nueva Orleáns. Lo que se trata de ilustrar con la imagen es que hay otras tradiciones musicales legítimas aparte de la práctica común europea, que, aunque teóricamente muy interesante, no es la única forma de hacer música; aunque la gente se resista a veces a aceptar otros discursos musicales.
- 3 Este término es de mi invención, así como el de “nota adicional”. Se definen solo para formalizar el discurso pero no son usados por músicos ni teóricos de la música.
- 4 En otros idiomas:
Italiano: n bemolle, n diesis
Francés: n bémol, n dièse
Alemán: n-s, n-is
Inglés: n flat, n sharp
- 5 Dicen Jeremías y Cordero: “Podemos definir el temperamento como la afinación igualitaria de los sonidos. Este sistema se desarrolló históricamente como una necesidad, ya que existían muchos sistemas que sustentaban teorías diferentes. La primera evidencia del sistema temperado la encontramos alrededor del siglo XV pero, no es sino hasta fines del siglo XVII que se establece. El sistema temperado se aplica especialmente en instrumentos de teclado.” (página 8, nota 4.)
- 6 Una aplicación práctica de este principio permite encontrar rápidamente la escala relativa mayor de una escala menor dada; si se tiene una escala menor cualquiera, por ejemplo Re menor, se toma la nota “básica” (centro tonal) de la escala, es decir, Re, y se aumenta una tercera menor, dando como resultado Fa; entonces, Fa mayor es la escala relativa menor de Re menor.
- 7 Y, nuevamente, podemos aplicar el procedimiento inverso al descrito en la nota anterior para hallar la escala menor relativa de una escala mayor. Si tenemos una escala mayor, como Mi mayor, tomamos el centro tonal: Mi, y le aplicamos una disminución de una tercera menor, encontrando Do#; entonces, Do# menor es la escala menor relativa a Mi mayor.
- 8 Hay otros sistemas de tonalidad. En la historia de la humanidad más bien eran comunes las escalas de cinco notas, llamadas escalas pentatónicas.