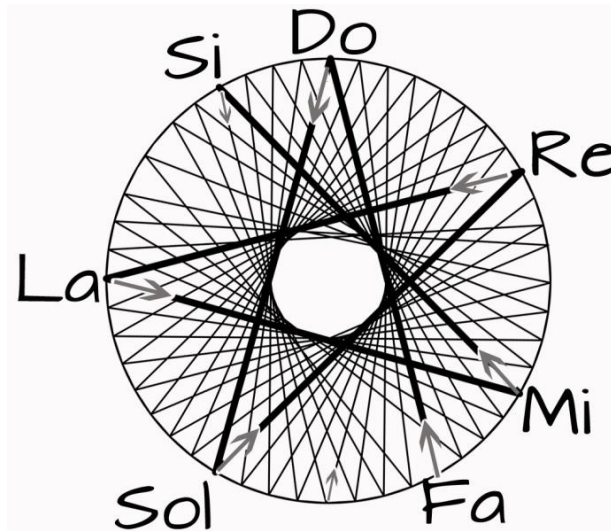


1.5 EL TEMPERAMENTO IGUAL DE DOCE SONIDOS

La **afinación pitagórica** supone el punto de partida desde el cual se desarrollan los múltiples sistemas de afinación propios de la música occidental. Junto con los textos pitagóricos, Aristógenes y Ptolomeo son los teóricos musicales del mundo clásico que más influencia ejercerán con posterioridad en los modelos de la Europa cristiana medieval.

La evolución que tiene lugar a partir del Renacimiento y durante el Barroco da lugar a nuevas teorías musicales y maneras de afinar. Destacan las aportaciones de Bartolomé Ramos de Pareja, Francisco de Salinas, y Gioseffo Zarlino entre otros. El uso de trastes en los instrumentos de cuerda y el teclado empleado en la construcción de órganos de iglesia y en los clavecines y clavicordios impulsan la necesidad de crear un **modelo con doce sonidos** válido para tocar en todas las tonalidades.

Como vimos en el capítulo anterior, al no existir coincidencia matemática entre la serie de quintas y la de octavas, la **espiral de quintas naturales** genera una serie infinita de notas.



Las siete primeras notas de la espiral dan lugar a la escala diatónica. Entre el duodécimo sonido y el primero de la serie se genera un intervalo de quinta desafinada conocido como "**quinta del lobo**" por el sonido estridente como el aullido de un lobo que provoca. Por esa razón, los primeros doce sonidos del modelo pitagórico no son válidos para transportar a cualquier tonalidad sin la necesidad de realizar modificaciones en la afinación.

El **temperamento igual** surge con la idea de corregir este desajuste bajando ligeramente la afinación de las quintas para obtener un modelo circular. Las primeras aproximaciones se atribuyen en Europa a Ramos de Pareja a finales del s. XV o principios del XVI. También a Giacomo Gorzanis en la segunda mitad del XVI. Es común entre los laudistas del XVI la composición a partir de cada una de las doce notas de la escala cromática, aunque solía ser necesario hacer algunas modificaciones en la afinación. Esta práctica está presente en Vincenzo Galilei o en los laudistas Francesco Spinacino y John Wilson entre otros.

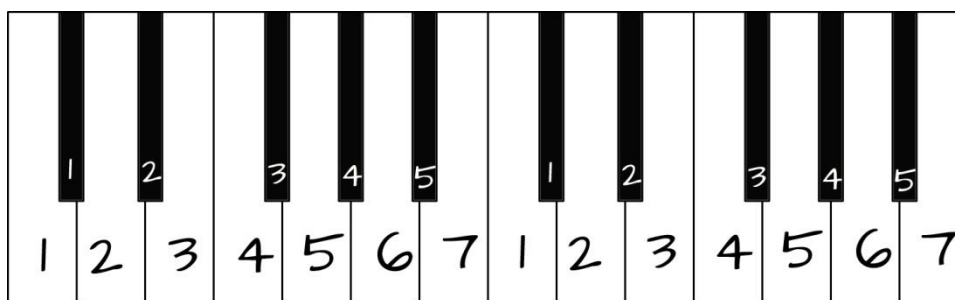
Sin embargo, esta preocupación no es exclusiva de la cultura occidental. Aparece también de manera paralela en China. De hecho, parece quedar demostrado que el sistema diseñado y publicado en 1584 por el músico y matemático Zhu Zaiyu es el más preciso de su tiempo anticipándose en más de un siglo al cálculo del físico flamenco Simon Stevin.

En la primera mitad del s. XVIII J.S.Bach compone “El clave bien temperado”. Esta obra consta de dos volúmenes, cada uno de ellos contiene 24 grupos de preludio y fuga en todas las tonalidades mayores y menores. Existe cierta polémica acerca del temperamento original utilizado por Bach, pues eran numerosos los temperamentos mesotónicos circulares empleados en la época. Bach no deja anotaciones claras acerca del temperamento empleado en esta ni en sus otras obras.

El temperamento igual se obtiene al dividir el intervalo de octava en **doce semitonos proporcionalmente iguales entre sí**. Este modelo permite reproducir secuencias de intervalos con idéntico resultado melódico tomando como punto de partida cualquiera de las doce notas.

A pesar de contar con numerosos detractores por las desventajas que presenta con respecto a otros sistemas de afinación, termina por imponerse en la música occidental a finales del s.XVIII y principios del XIX. Desde entonces los pianos y muchos otros instrumentos se suelen afinar empleando el temperamento igual.

Las **doce notas en el teclado** se distribuyen secuencialmente en siete teclas blancas y cinco negras a lo largo de las diferentes octavas del instrumento.

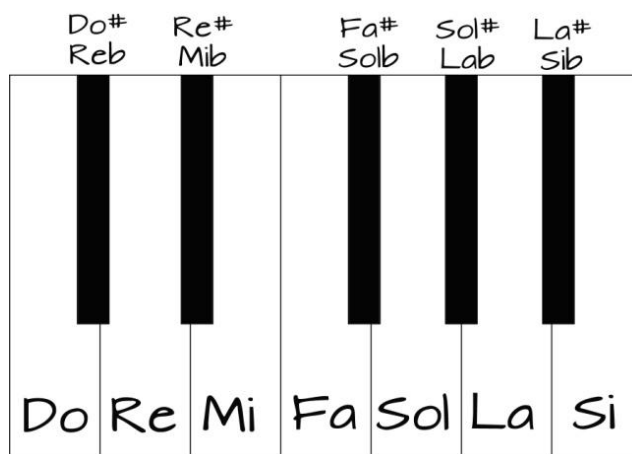


Las teclas blancas generan las **siete notas de la escala diatónica**:

1=Do, 2=Re, 3=Mí, 4=Fa, 5=Sol, 6=La, 7=Si.



Para denominar a las teclas negras del teclado se parte de una tecla blanca colindante. Si desde la tecla blanca subimos para llegar a la tecla negra utilizamos el término sostenido (#). Si desde la tecla blanca descendemos utilizamos el término bemol (b).



Cuándo utilizamos sostenido o bemol para nombrar una tecla negra depende de la función interválica que desempeña la nota en un determinado contexto armónico. Se utiliza el término "**SONIDOS ENARMÓNICOS**" para las notas con diferente nombre que referencian a un mismo sonido. En el sistema temperado los sonidos enarmónicos coinciden en la misma frecuencia, pero en otros sistemas de afinación pueden representar frecuencias diferentes muy próximas entre sí.

La nomenclatura anglosajona establece una letra del abecedario para cada nota de la escala diatónica. La letra **A** corresponde a la nota "La", y avanzando por orden alfabético hasta la **G** ascendemos por la escala hasta alcanzar la nota "Sol".

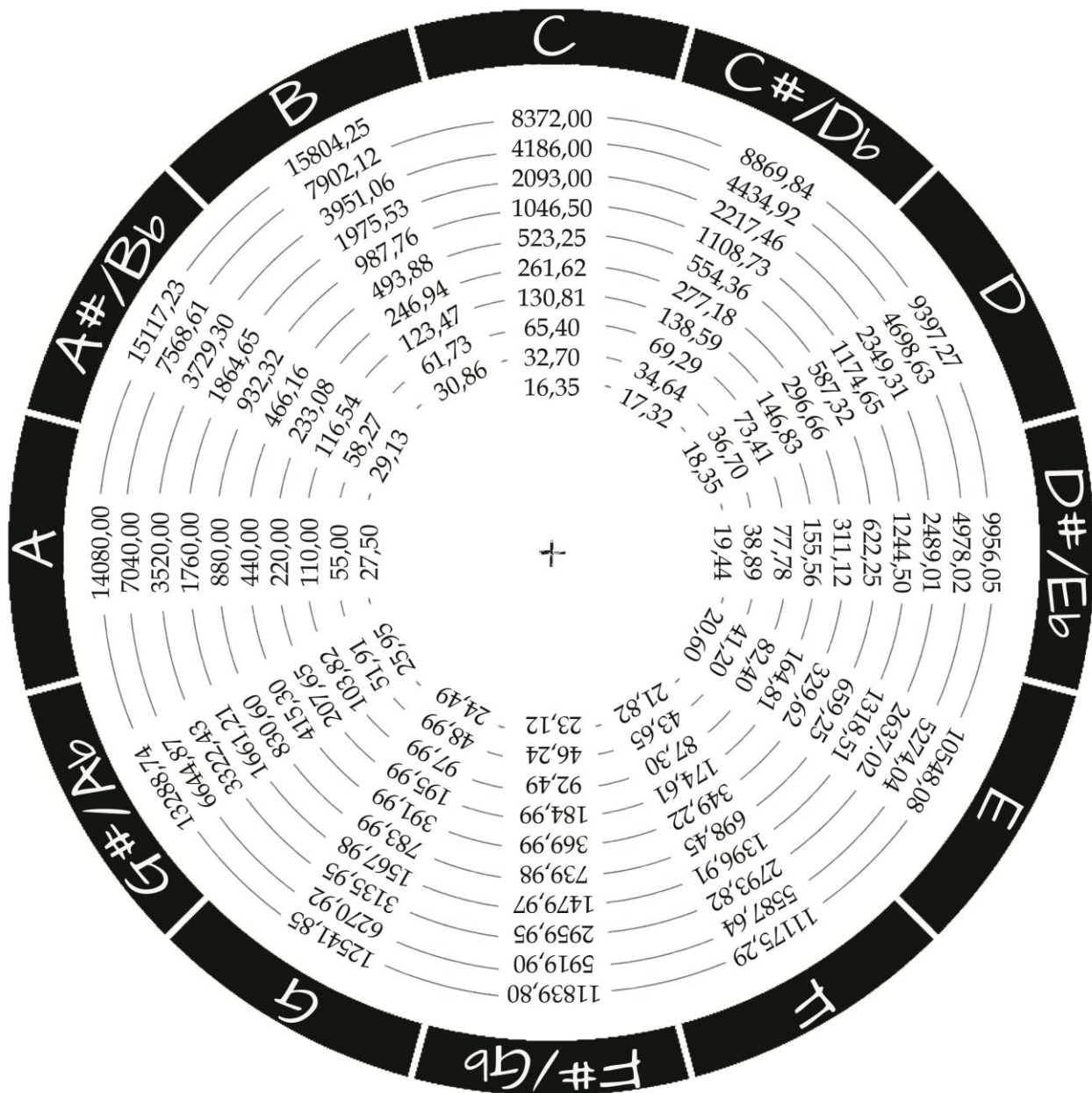
A=La B=Si C=Do D=Re E=Mi F=Fa G=Sol ¹

Para referirnos a las notas con sostenidos y bemoles escribimos primero la letra correspondiente a la nota y a continuación la alteración:

A# Bb C# Db D# Eb F# Gb G# Ab

Las teclas negras del piano son más pequeñas que las blancas, pero esto no implica una menor importancia. Las doce notas son proporcionalmente iguales entre sí y se repiten secuencialmente a lo largo de sus diferentes octavas en un círculo donde cualquiera de las notas puede ser elegida como punto de referencia con respecto a las demás. Las notas se ordenan por su altura. A medida que ascendemos cada nota suena más aguda que la anterior porque aumenta en número de Hertzios (*vibraciones por segundo*).

¹ También conocido como cifrado inglés y americano (por ser el empleado en Estados Unidos como consecuencia de su raíz anglosajona.) En la Grecia alejandrina ya se cifraban las notas musicales con las letras del alfabeto. El monje benedictino Pablo el Diácono compone en el s. VIII el Himno a San Juan Bautista (popularizado posteriormente por Guido d'Arezzo) donde utiliza el nombre latino de las notas musicales en la sílaba inicial de cada verso a excepción de la primera ("Ut, re, mi, fa, sol, la, si"). Meninski en el s. XVII y Alexandre de Laborde en el XVIII sugieren en sus escritos el posible origen árabe de la nomenclatura musical en el solfeo europeo. Los escritos de Al-mamún y Al-mausili en el siglo IX utilizan un sistema de notación musical basado en las letras del alfabeto árabe denominado Durr-i-Mufassal (Perlas separadas). Las notas en este sistema son nombradas de la siguiente manera: "min, fa, sad, lam, sin, dal, ra".



El gráfico representa las frecuencias en Hertzios de las doce notas a lo largo de sus sucesivas octavas. Se aprecia que en realidad nuestro modelo circular es más bien una espiral. Desde cualquier nota, girando en el sentido de las agujas del reloj, la frecuencia va aumentando progresivamente. Al cerrar el círculo completo, llegamos a la nota de origen y la frecuencia es justo el doble que cuando empezamos.

La relación matemática entre los Hertzios de una nota y los de la siguiente es siempre la misma. Surge al dividir el intervalo de octava en doce semitonos proporcionalmente iguales entre sí.

Multiplicando una frecuencia por la **raíz duodécima de dos** obtenemos el valor de un semitono temperado. Por ejemplo, al multiplicar los 16,35 Hz de **C** por la raíz duodécima de dos obtenemos el valor de **C#**, es decir 17,32 Hz.

$$C \times \sqrt[12]{2} = C\#$$

Si repetimos la operación doce veces seguidas con cada resultado obtenido la última frecuencia será justo el doble con respecto a la frecuencia de la que partimos. La última frecuencia se corresponde con el intervalo de octava de la primera.

$$\begin{array}{cccc}
 \mathbf{C} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{C\#} & \mathbf{C\#} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{D} & \mathbf{D} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{D\#} & \mathbf{D\#} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{E} \\
 \mathbf{E} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{F} & \mathbf{F} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{F\#} & \mathbf{F\#} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{G} & \mathbf{G} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{G\#} \\
 \mathbf{G\#} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{A} & \mathbf{A} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{A\#} & \mathbf{A\#} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{B} & \mathbf{B} \times \sqrt[12]{2} = \mathbf{C'}
 \end{array}$$



En la ecuación, el radicando dos representa la proporción del intervalo de octava (*ya que este se obtiene al multiplicar por dos la frecuencia original*). El índice de la raíz (12) representa el número de notas en los que se desea dividir el intervalo de octava.

El oído humano es capaz de percibir sonidos comprendidos aproximadamente entre los 20 Hz y los 20.000 Hz. Para numerar las diferentes octavas existen fundamentalmente dos modelos en la actualidad. Nosotros utilizaremos el **índice acústico científico** (o *internacional*) que establece la nota "La⁴" en 440 Hz como frecuencia de referencia ².

Las frecuencias correspondientes al modelo temperado se ordenan como indicamos en el cuadro que adjuntamos en la página siguiente. Incluimos también dos cuadros más con la tesitura de los diferentes instrumentos musicales y los cantantes.

² En el índice de notación franco-belga, La³=440Hz. En los últimos siglos se han utilizado diferentes estándares de afinación, pero hasta el XVIII se utilizaban criterios con hasta tres tonos de diferencia. En el XIX y XX se tiende a subir la afinación para conseguir un sonido con más brillo ya que la tecnología permite a los cordófonos aguantar más tensión sin que revienten las cuerdas. Actualmente algunas orquestas afinan a 444 Hz. En conjuntos de música antigua afinar a 415 Hz es también frecuente.

TABLA DE FRECUENCIAS DEL TEMPERAMENTO IGUAL ³

Octava Nota	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C	16,35	32,79	65,40	130,80	261,62	523,25	1046,50	2093,00	4186,00	8372,00
C#/Db	17,32	34,64	69,29	138,59	277,18	554,36	1108,73	2217,46	4434,92	8869,84
D	18,35	36,70	73,41	146,83	293,66	587,32	1174,65	2349,31	4698,63	9397,27
D#/Eb	19,44	38,89	77,78	155,56	311,12	622,25	1244,50	2489,01	4978,02	9956,05
E	20,60	41,20	82,40	164,81	329,62	659,25	1318,51	2637,02	5274,04	10548,08
F	21,82	43,65	87,30	174,61	349,22	698,45	1396,91	2793,82	5587,64	11175,29
F#/Gb	23,12	46,24	92,49	184,99	369,99	739,98	1479,97	2959,95	5919,90	11839,80
G	24,49	48,99	97,99	195,99	391,99	783,99	1567,98	3135,95	6270,92	12541,85
G#/Ab	25,95	51,91	103,82	207,65	415,30	830,60	1661,21	3322,43	6644,87	13288,74
A	27,50	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00	7040,00	14080,00
A#/Bb	29,13	58,27	116,54	233,08	466,16	932,32	1864,65	3729,30	7568,61	15117,23
B	30,86	61,73	123,47	246,94	493,88	987,76	1975,53	3951,06	7902,12	15804,25

³ A4= 440 Hz

TESITURA DE LOS INSTRUMENTOS MUSICALES

