SEMINARIO DE MUSICA

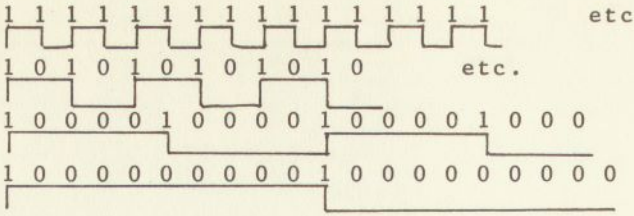
Participantes: Gonzalo Arnaiz, Fernando Arribas, Florentino Briones, Violeta Demonte, Julio Montero, Luis de Pablo, Eduardo Polonio, Víctor Sánchez de Zavala, Horacio Vaggiones.

EL ORDENADOR BIEN TEMPERADO

Por Eduardo Polonio

Aquí voy a tratar sobre la afinación musical del ordenador. Pero antes explicaré un poco de qué manera se produce la síntesis del sonido en el mismo. Los bits o unidades de información son almacenados con una gran densidad sobre una cinta magnética, similar a las de uso normal en los magnetofones, de una de las unidades de memoria del ordenador. Estas unidades de información se mueven a nivel de dos posibilidades: a) un cambio del sentido de magnetización en la cinta y b) ningún cambio, es decir continuación del mismo sentido. Esto en sistema binario se representa por un uno y un cero respectivamente.

La gran densidad de grabación de bits en la cinta, 556 por pulgada, hace suponer, como así es, que una distribución de cambios y no cambios de magnetización, esto es de unos y ceros, hecha con una cierta periodicidad generaría una onda cuadrada. Suponiendo que un uno es una subida si se estaba abajo o una bajada si se estaba arriba y que un cero es continuar en el mismo lugar, podemos codificar así una onda cuadrada:



Una sucesión de unos (11111111...) leida a una velocidad de 7,5 pulgadas por segundo nos dará una frecuencia de 556 · · 7,5 = 4.170 ciclos por segundo.

A medida que vayamos espaciando los unos, haciendo seguir a cada uno una cantidad constante de ceros, el número de cambios por segundo será menor y la frecuencia por tanto disminuirá.

Vamos a llamar semi-período al número de bits que incluye el uno seguido de sus correspondientes ceros hasta la aparición de un nuevo uno.

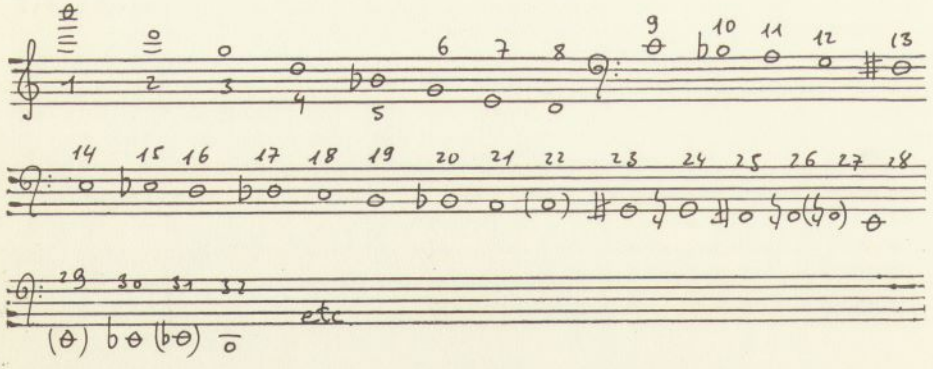
Período 1 : 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

Período 2 : 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0

Período 5 : 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0

Período 11: 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Al aumentar el período disminuye la frecuencia. Así a un período doble corresponde una frecuencia de la mitad. Si programamos una serie creciente de períodos a partir de uno obtendremos las siguientes frecuencias:



Si observamos atentamente vemos que se trata de la sucesión de los armónicos naturales pero "invertida":

(1) + , una coma más alto
++ , dos comas más alto
- , una coma más bajo
-- , dos comas más bajo
1/4↓ , un cuarto de tono bajo
1/4↑ , un cuarto de tono alto

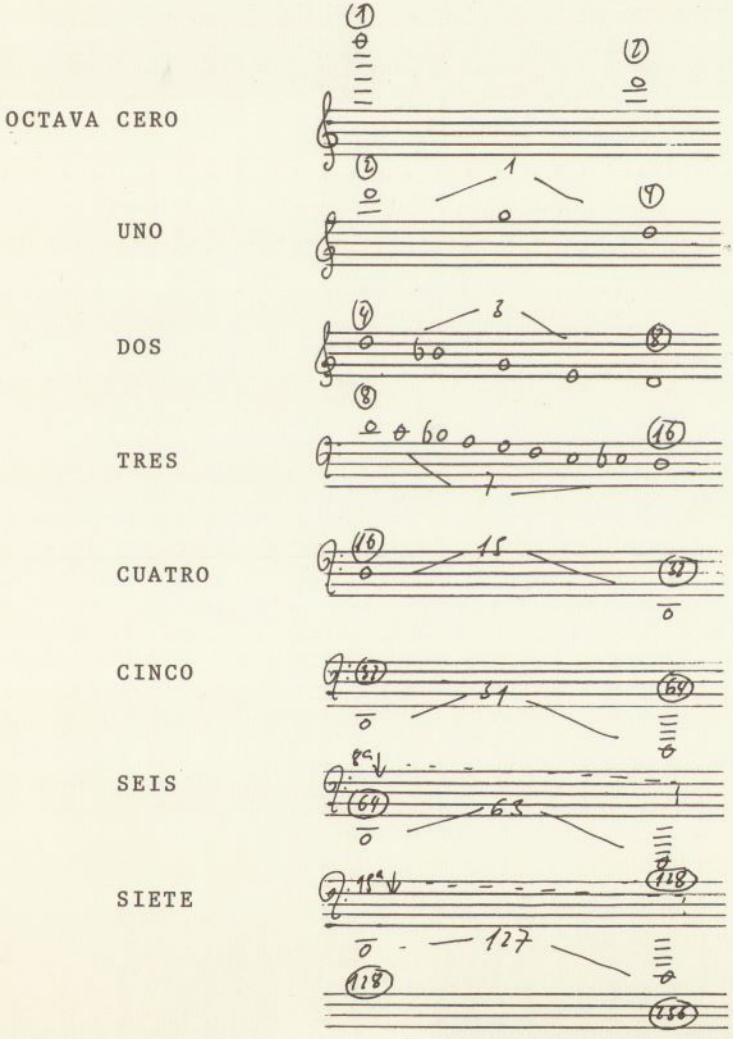
Compárese la simetría interválica de ambas series hasta el armónico 11:

Una serie de este tipo no se encuentra en la naturaleza, salvo si tuviéramos en cuenta la teoría de los armónicos inferiores, y podemos decir que es propia al procedimiento utilizado aquí. Ciertas relaciones simples, como la octava, la quita o la cuarta, son similares a las de la escala natural, pero el resto, debido a la simetría del sistema, no tiene nada que ver con aquélla.

Como en la serie natural de armónicos, pero siempre a la inversa, a medida que vamos descendiendo hacia el grave va aumentando el número de sonidos contenidos en una octava (en la serie natural esto se produce, como corresponde, hacia el agudo).

Al suponer la duplicación del período la división por 2 de la frecuencia, esto es bajar una octava la nota, los períodos 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, etc. corresponderán a una serie descendente de octavas, en la cual cada período nuevo de la serie representa una frecuencia octava grave del anterior:

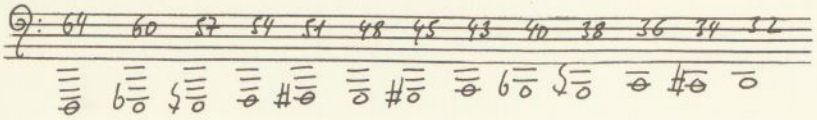
Así pues mientras la octava cero no cuenta con ningún sonido intermedio y la octava uno con un sonido (el período 3), la octava seis tiene 63 y la siete 127:



De esto se desprende que cuanto más descendamos hacia lo grave más extenso es el muestrario de sonidos y más fácil por tanto elegir frecuencias que guarden relaciones cercanas a las de escala natural. Por ejemplo la relación 64/45 (cuarta aumentada) imposible de obtener, si no es por aproximación, en otras octavas, es fácilmente obtenible en la octava seis (del 64 al 128).

Esto significa que para obtener una escala medianamente afinada nos tenemos que mover en las octavas cinco, seis, siete, esto es, en los límites de lo inaudible.

En la octava cinco, por ejemplo, tenemos una afinación aceptable utilizando los siguientes períodos:



Aun utilizando el procedimiento del doble uno inicial:

Período 7: 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 etc.

Período 4: 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 etc.

que hace subir todos los sonidos una octava, esta tesitura es muy grave y limita las posibilidades.

Una manera de aliviar este inconveniente sería aumentar la velocidad de lectura de la cinta. Si en lugar de leerla a 7,5 pulgadas por segundo lo hacemos a 75, que es la velocidad de la propia unidad de cinta donde se graba el sonido, todas las relaciones quedan multiplicadas por 10. En lugar de leer 4170 bits por segundo podremos leer 41.700 con lo cual la tesitura queda considerablemente ampliada y hasta se puede intentar una afinación muy cercana a la temperada.

El número de bits por período para obtener el "la" del diapasón nos vendrá dado por

$$\text{Período}_{(la)} = \frac{41.700}{440} = 94 \quad \text{(aproximadamente)}$$

Para calcular la escala cromática temperada basta multiplicar una frecuencia x por $\sqrt[12]{2} = 1{,}05946$ obteniendo así la frecuencia de la nota situada un semitono más arriba. Así si

"la" = 440

"si bemol" = $440 \cdot 1{,}05946$

"si" = $440 \cdot (1{,}05946)^2$

"do" = $440 \cdot (1{,}05946)^3$ etc.

El período de "si bemol" será:

$$\text{Período}_{(\text{si bemol})} = \frac{41700}{440 \cdot 1{,}05946}$$

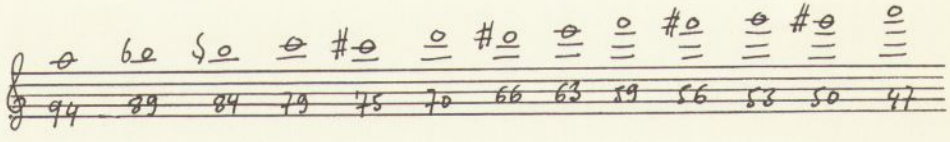
como $\frac{41700}{440} = 94$

$$\text{Período}_{(\text{si bemol})} = 94 \cdot \frac{1}{1{,}05946}$$

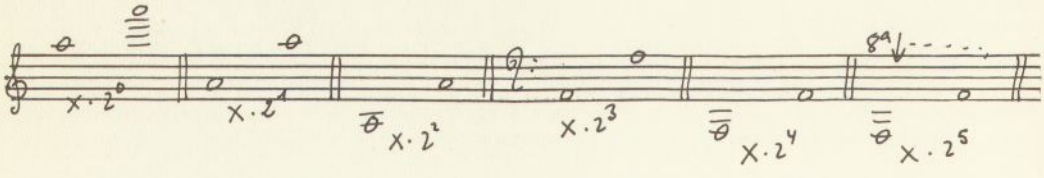
$$\text{Período}_{(\text{si})} = 94 \cdot \frac{1}{(1{,}05946)^2}$$

etc.

De esta manera, y con el doble uno, obtenemos la siguiente escala con períodos situados entre 94 y 47:



Para obtener las octavas más graves basta multiplicar por 2, 4, 8, 16, etc. cada período, esto es por 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, etc.



Estas son, por ahora, las limitaciones que en cuanto a afinación vienen dadas por la velocidad de la unidad de cinta. Aun siendo rápidas, las salidas de orden mecánico son lentas en comparación con la velocidad de cálculo del ordenador. Es posible que, en un futuro próximo, la señal pueda ser extraida directamente del acumulador, lo que permitiría obtener todas las frecuencias posibles y cualquier tipo de afinación y de temperamento.