

La transformación continua de la forma de onda por medio del potencial combinatorio de sus intervalos de tiempo.

International Society of Musical Acoustics
México 2004, UNAM.

Julio Estrada (IIEs, ENM)
Víctor Adán (ENM)

MúSIIC-Win 3.2 (MÚSICA, SISTEMA INTERACTIVO DE INVESTIGACIÓN - CREACIÓN, versión Windows) permite investigar el potencial combinatorio de materiales musicales de orden discontinuo: intervalos de altura y de duración que pueden ser expresados bajo la forma de melodías, armonías o ritmos. El módulo "forma de onda" de MúSIIC-Win es un proyecto de reciente desarrollo (UNAM-IIE-ENM / SNI 2001-2002) y contempla la generación a futuro de formas de onda constituidas por sus componentes de frecuencia y de amplitud, idea teórica propuesta por Estrada y desarrollada por Adán en el programa MúSIIC-Win, versión 3.2. Actualmente, el módulo "forma de onda" genera pulsos a intervalos de tiempo definidos con números enteros para simplificar la combinatoria entre intervalos que sirven para segmentar la forma de onda. Esta última es tratada aquí como una "identidad de intervalos" de tiempo expresada bajo la forma de una serie de números enteros ordenados del menor al mayor. Por ejemplo: dada una identidad de intervalos, el conjunto de los mismos es permutado de acuerdo a un método que los ordena de acuerdo a sus relaciones de mínima distancia, "d1", lo cual genera un "*permutaedro*" que representa el potencial combinatorio de cada identidad de intervalos. El método de exploración de identidades de intervalos en la forma de onda se aproxima a ésta a nivel molecular dentro de un continuo hecho de mínimas transiciones entre permutaciones. Este método constituye un nuevo modelo de transformación combinatoria continua de la forma de onda, asunto de interés en acústica. Un aspecto adicional de interés de dicha metodología es el enlace que establece entre lo melódico, lo armónico, lo rítmico y lo tímbrico, universos cuya conexión estructural es a su vez un tema novedoso para la teoría musical.

MUSIIC-Win 3.2 (MUSIC, INTERACTIVE SYSTEM FOR THE RESEARCH - COMPOSITION, Windows version) allows the research of the combinatory potential of musical materials of a discontinuous order, as pitch or duration intervals expressed as melodies, harmonies and rhythms. The development of "waveform" module in MUSIIC-Win has been recently started (UNAM-IIE-ENM / SNI 2001-2002) and looks for the future generation of waveforms constituted by their components of frequency and amplitude, a theoretical idea proposed by Estrada and developed by Adán in MúSIIC-Win, version 3.2. Presently, the waveform module generates pulses at time intervals defined with integer numbers; this, in order to simplify the combinatory between intervals useful to segment the waveform. The waveform itself is treated here as a time "intervallic identity" expressed as a series of integer numbers ordered from smaller to bigger. For instance, the ensemble of intervals of a given intervallic identity is permutated according a method which follows an order based on the minimal distance, "d1", between each permutation, an order which generates a "*permutahedron*" which represents the combinatory potential of each intervallic identity. The exploration method of intervallic identities in the waveform allows to reach this at a molecular level within a continuum made of minimal transitions between permutations. This method constitutes a new model of continuous combinatory transformation of the waveform, a matter of interest in acoustics. An additional aspect of interest of the MUSIIC-Win's methodology is the link it establishes between the melodic, the harmonic, the rhythmical and the timbre, universes whose structural connection is itself an interesting topic for music theory in general.

Introducción

MúSIIC, Música: Sistema Interactivo de Investigación y Composición, está sustentado en la *Teoría d1* de Julio Estrada sobre el potencial combinatorio de los intervalos de las escalas. (ESTRADA 1994) La denominación *Teoría d1* refiere al carácter continuo que mantienen todas las operaciones, basadas en transformaciones a mínima distancia, *d1*, y cuya referencia matemática es la representación de la combinatoria de diferentes cardinalidades por medio de la teoría de grafos. En términos generales, la *Teoría d1* invita a la libre exploración de las escalas sin imponer categorías de sistemas de composición o de estética musical. El interés de esta nueva investigación es, entre

otros, el de proyectar en el ámbito de la crono-acústica¹ la estrecha relación teórica entre el ritmo y el sonido.

La *Teoría dl* es un útil auxiliar en búsquedas de diverso orden en varios campos:

- Creación musical (ESTRADA m1979, 1999)
- Análisis (ESTRADA 1987)
- Teoría de la composición (ESTRADA 1994)
- Musicología analítica (*Ibidem*)
- Pedagogía musical (LACREMUS-ENM 2002)
- Crono-acústica (MúSIIC-Win 3.2, en desarrollo, 2002)

La *Teoría dl* estudia las escalas musicales como parte de un doble continuo:

- El continuo físico de las frecuencias que une al ritmo (baja frecuencia) con el sonido, como observaron las investigaciones pioneras de Henry D. Cowell (COWELL 1930, 1969).
- El continuo matemático de las escalas producto de divisiones temperadas de la octava - como planteara desde el siglo XVI Gerhardus Mercator al dividirla entre 53 partes (JOHNSTON 1974).

Uno y otro antecedentes sirven de punto de partida a la *Teoría dl* para organizar las escalas de duración y de altura a partir de un mismo método, consistente en la generación del potencial combinatorio de cualquier acumulación de intervalos dentro de los límites de un ámbito predefinido; por ejemplo, el del compás en el caso de las duraciones, o el de la octava en el caso de las alturas. A ambos casos se agrega un nuevo desarrollo de dicha teoría dentro de MúSIIC-Win 3.2, programa que permite la exploración de la micro-estructura de la forma de onda, donde el equivalente a las nociones de compás o de octava es el *ciclo*, estructura finita producto de la suma de todos los intervalos iguales en que pueda dividirse. Se entiende por *forma de onda* una serie de relaciones rítmicas producto de cambios de presión a pequeños intervalos de tiempo. El caso presente se restringe a los intervalos de tiempo y, en razón de su desarrollo, no aborda la transformación en paralelo de intervalos de amplitud de la forma de onda.

Potencial combinatorio de la forma de onda

La aplicación de la *Teoría dl* a la forma de onda divide inicialmente al ciclo en una serie de intervalos de igual dimensión, con lo cual la forma de onda es tratada de forma similar a la de una escala temperada. El número n de intervalos en que se divide el ciclo es arbitrario y determina la dimensión de la escala, E .² Así, una escala de dimensión $E9$ estará constituida por 9 intervalos iguales, cuya secuencia ordenada forma la *identidad de la escala*. Toda escala está constituida por un conjunto total de varias identidades, siendo cada identidad, Id , el producto de una agrupación de intervalos ordenados del menor al mayor, de acuerdo a los distintos niveles de densidad de intervalos que pueda comprenderse; es decir, desde la suma de todos los intervalos en un solo intervalo -*intervalo del ciclo de la escala*-, hasta la partición sucesiva de dicho intervalo entre 2, 3,

¹ Se entiende por *crono-acústica* al continuo de frecuencia que va de la percepción del ritmo (baja frecuencia) a la percepción del sonido. (ESTRADA 1994)

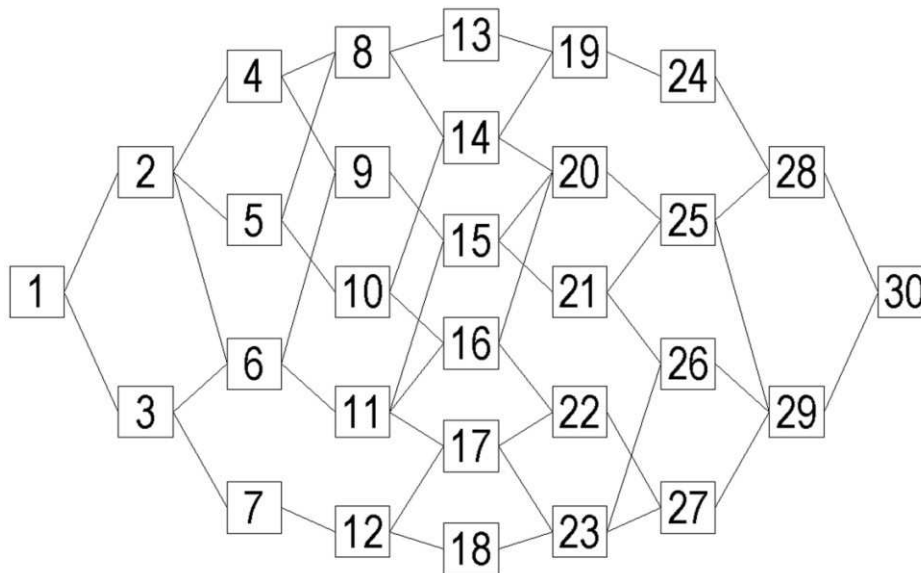
² El número de escalas que permite abordar la *Teoría dl* es finito y tiende a depender de las posibilidades prácticas de manejar la información dentro del programa MúSIIC-Win que, en el caso actual, MúSIIC-Win 3.2, permite generar escalas de entre 3 y 24 términos.

n intervalos y alcanzar así la identidad de la escala. Un ejemplo: la escala E9 estará integrada por el siguiente conjunto total de identidades:

	6 (1,1,7)		13 (1,1,1,6)						
		7 (1,2,6)		19 (1,1,1,1,5)					
	2 (1,8)		14 (1,1,2,5)		20 (1,1,1,2,4)		24 (1,1,1,1,1,4)		
		8 (1,3,5)							
	3 (2,7)		15 (1,1,3,4)				27 (1,1,1,1,1,1,3)		
1 (9)		9 (1,4,4)		21 (1,1,1,3,3)		25 (1,1,1,1,2,3)		29 (1,1,1,1,1,1,1,2)	30 (1,1,1,1,1,1,1,1)
	4 (3,6)		16 (1,2,2,4)					28 (1,1,1,1,1,2,2)	
		10 (2,2,5)		22 (1,1,2,2,3)					
	5 (4,5)		17 (1,2,3,3)		26 (1,1,1,2,2,2)				
		11 (2,3,4)		23 (1,2,2,2,2)					
			18 (2,2,2,3)						
	12 (3,3,3)								

EJEMPLO I. CONJUNTO DE IDENTIDADES DE LA ESCALA E9. Las identidades, numeradas de la 1 a la 30, aparecen ordenadas en columnas de acuerdo a su densidad de intervalos; éstos aparecen expresados entre paréntesis.

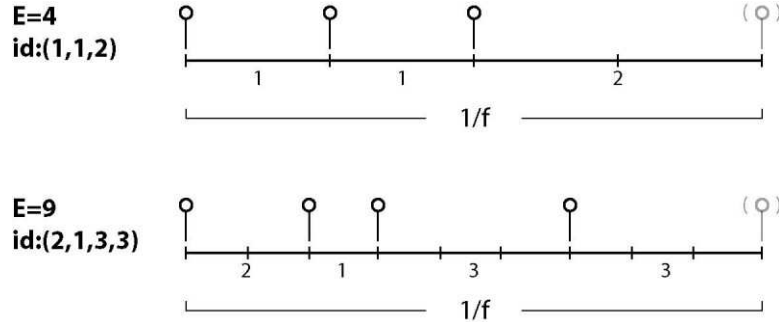
El *potencial combinatorio de una escala* está constituido por el conjunto total de sus identidades. A su vez, el *potencial combinatorio de una identidad* es el resultado de la permutación ordenada de los intervalos que contenga. Por ejemplo, en la misma escala E9, la *Id22* (1,1,2,2,3) genera la siguiente combinatoria, expresada en un *permutaedro*, red de relaciones de mínima distancia *dl* entre las permutaciones generadas por la identidad:



EJEMPLO II. RED DE RELACIONES DE MÍNIMA DISTANCIA *dl* DE LA *Id22* (1,1,2,2,3) DE LA ESCALA E9. La figura contiene un total de 30 nodos: cada nodo contiene una distinta permutación de los intervalos contenidos por la identidad y se encuentra a su vez relacionado con otros nodos por medio de enlaces a mínima distancia *dl*.

La manera de generar las formas de onda en MúSIIC-Win 3.2 es la siguiente:

- 1- Se parte de un intervalo arbitrario de tiempo, que es el periodo de la forma de onda ($1/f$).
- 2- $1/f$ se divide entre segmentos iguales para generar la escala deseada.
- 3- Se selecciona, ya sea una identidad o una de sus posibles permutaciones, distribuyendo sus intervalos como puntos de referencia en una recta temporal. Ejemplos:

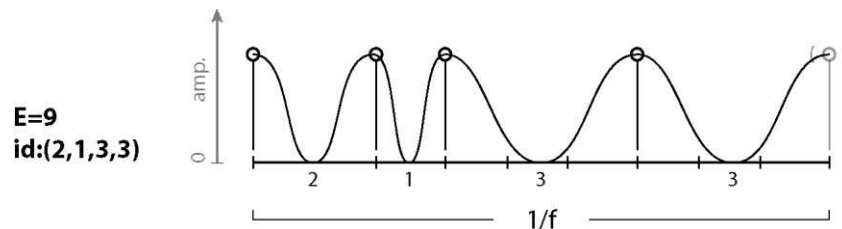


EJEMPLO III. REPRESENTACIÓN DE LOS INTERVALOS DE LA IDENTIDAD COMO PUNTOS TEMPORALES: identidad $Id4$ (1,1,2), escala E4 y permutación de la identidad $Id17$ (1,2,3,3).

Lo relevante de esta aplicación es la forma de distribuir la información en el tiempo dentro de un ciclo, así como los desplazamientos que al interior de éste genera el orden que siguen las permutaciones.

Método crono-acústico

Al aplicar la *Teoría dl* a la generación de vibraciones por medios digitales, la presente investigación recurre a un método sencillo consistente en una interpolación curva entre los puntos de mayor amplitud, definidos por los intervalos de tiempo de cada identidad -o de una permutación cualquiera de los intervalos de ésta- y el punto de reposo, nivel de amplitud 0.



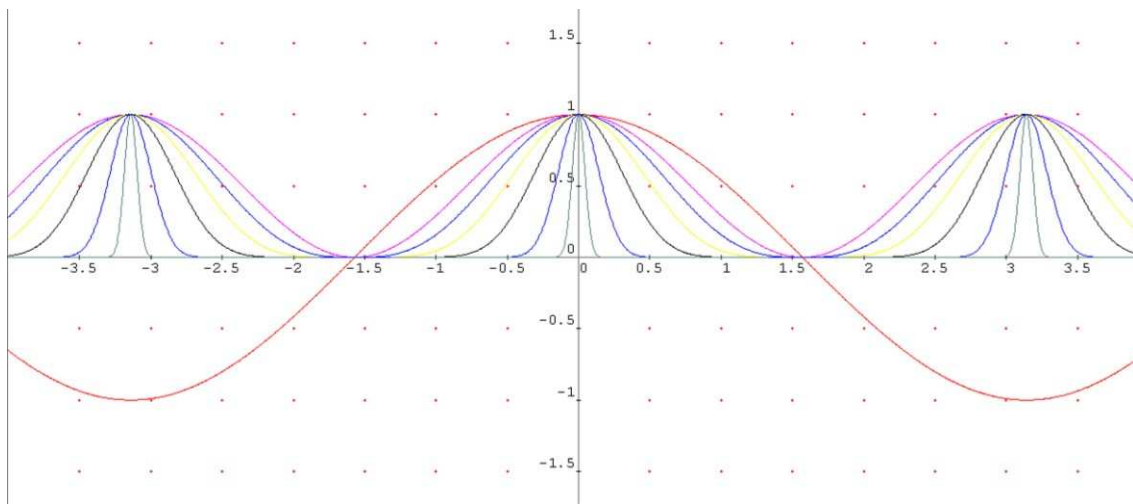
EJEMPLO IV. PERMUTACIÓN DE UNA SERIE DE INTERVALOS DE TIEMPO EN UNA OSCILACIÓN CON AMPLITUD CONSTANTE. Los intervalos corresponden a la identidad $Id17$ (1,2,3,3).

Dicha interpolación está definida como

$$\text{amplitud} = |(\cos(\pi / i \cdot t))|^m \quad \text{para } 1 < m < \infty$$

donde t es el tiempo, i es un intervalo cualquiera de la identidad y m es la variable que define la curvatura de la forma de onda, variable que en MÚSIIC-Win 3.2 es definida por el usuario.

La fórmula arriba expresada tiene como objetivo el procurar que los cambios al interior de la forma de onda puedan ocurrir de manera imperceptible, de modo que cada una de las permutaciones a distancia di de los intervalos contenidos por una identidad tienda a crear, en el largo plazo, la sensación auditiva de una transformación continua de la forma de onda. Ello no obstante, la variable m permite obtener transiciones cuya variación en la pendiente de la curva pueda ser percibida por el oído bajo la sensación de mayor o menor continuidad. Entendiendo que $m=2$ representa la oscilación de una senoide, la pendiente de las curvas en general se vuelve más pronunciada conforme $m \rightarrow \infty$ hasta llegar al punto en el que se tienen pulsos con pendientes perfectamente verticales. La gráfica siguiente ilustra una serie de curvas con valores diferentes en m .



EJEMPLO V. REPRESENTACIÓN DE DISTINTAS PENDIENTES DE CURVAS PRODUCTO DE LA MODIFICACIÓN DE LA VARIABLE m . En la medida en que la variable m tiende al infinito la pendiente de la curva se hace más pronunciada.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Rafael Pérez Pascual sus observaciones sobre la variable m , que permitió una representación auditiva más flexible.

Bibliografía

- COWELL, Henry D., *New Musical Resources*, New York, 1930, reedición de 1969.
- ESTRADA, Julio, *Théorie de la composition : discontinuum - continuum*, Université de Strasbourg, Francia, 1994, 932 pp., tesis doctoral.
- JOHNSTON, Ben, en *Dictionary of Contemporary Music*, John Vinton, Editor, New York, 1974, "Microtones", pp. 483-4.
- LACREMUS, Laboratorio de Creación Musical, titular J. Estrada, Proyecto PAPIME 1997-2000, Escuela Nacional de Música, UNAM, México 2002, 24 pp.