

# INSTRUMENTO MUSICAL VIRTUAL DE TEMPERADO DINÁMICO IMVTD

Versión 1.0

**Documento descriptivo de programa con  
fines de Registro de Software ante la  
Dirección Nacional de Derechos de Autor**

Por: Oscar Alejandro Cardoso Guzmán  
soundgraphic@gmail.com

## Contenido

---

1.	INTRODUCCIÓN .....	4
2.	CONTEXTUALIZACIÓN.....	4
3.	PROPÓSITO .....	5
4.	FUNCIONALIDADES.....	5
5.	DIAGRAMA DE CONCEPTO DEL SISTEMA .....	6
6.	DIAGRAMA DE BLOQUES IMVTD.....	7
7.	DETECCIÓN DE PATRONES DE INTERPRETACIÓN MUSICAL .....	9
8.	MODIFICACIÓN DEL TEMPERADO MUSICAL .....	10
9.	SÍNTESIS DE AUDIO.....	13
10.	INTERFAZ DE USUARIO.....	15
11.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	16
12.	REFERENCIAS.....	17

## Lista de Tablas

---

Tabla 1. Ejemplos de Temperado .....	4
Tabla 2. Sub-estructuras en diagrama de bloques IMVTD.....	8

## Lista de Ilustraciones

---

Ilustración 1. Diagrama de Concepto del sistema .....	6
Ilustración 2. Diagrama de bloques IMVTD .....	7
Ilustración 3. Diagrama de bloques Detección de patrones de interpretación.....	9
Ilustración 4. Ejemplo valores tonales en triada de Do Mayor.....	9
Ilustración 5. Valor del tono base en triada de Do Mayor.....	9
Ilustración 6. Ejemplo detección intervalo de tercera menor .....	10
Ilustración 7. Ejemplo detección triada Mayor.....	10
Ilustración 8. Ejemplo detección acorde menor .....	10
Ilustración 9. Ejemplo de datos Note Pitch y Gate .....	10
Ilustración 10. Ejemplo valor de la octava musical.....	11
Ilustración 11. Frecuencia del tono de referencia “Do <sub>5</sub> ” .....	11
Ilustración 12. Pitch correspondiente a “Mi <sub>5</sub> ” antes y después del procesamiento.....	11
Ilustración 13. Ejemplo de operadores de frecuencia para cálculo del temperado pitagórico.....	12
Ilustración 14. Ejemplo de tres escalas en la base de datos.....	12
Ilustración 15. Ejemplo de Gate enviado hacia el sintetizador interno.....	12
Ilustración 16. Ejemplo de un tetracordio temperado aristogénico.....	12
Ilustración 17. Diagrama de bloques Sintetizador de audio IMVTD.....	13
Ilustración 18. Oscilador tipo sinusoidal con Note Pitch “Mi <sub>5</sub> ” .....	13
Ilustración 19. Salida de la envolvente acústica .....	14
Ilustración 20. Salida sinusoidal hacia el módulo de suma.....	14
Ilustración 21. Interfaz de usuario IMVTD .....	15
Ilustración 22. Especificaciones para las pruebas funcionales .....	16

## 1. INTRODUCCIÓN

El software *Instrumento Musical Virtual de Temperado Dinámico (IMVTD)*, surge como producto de investigación en el marco del desarrollo de la Maestría en Artes Digitales de su autor, candidato a Magister Oscar Alejandro Cardoso Guzmán.

**IMVTD** fue desarrollado en lenguaje de flujo de datos, también llamado lenguaje de programación gráfico, en la plataforma *Reaktor - Native Instruments* [1], la cual permite emplearlo en interfaces compatibles con las tecnologías *VST, AU y AAX* en sistemas operativos Mac OS y Windows.

**IMVTD** puede recibir datos *MIDI* provenientes de instrumentos musicales digitales, controladores o secuenciadores, modificando la forma de temperado de sus notas musicales, permitiendo reproducirlas posteriormente en sintetizadores compatibles con el protocolo *MIDI* [2].

## 2. CONTEXTUALIZACIÓN

El temperado es la distancia o proporción entre notas para formar una escala musical [3]. Temperados diferentes pueden producir para el mismo intervalo musical diferentes sensaciones auditivas, las cuales estarán relacionadas con el grado de consonancia, disonancia o batimiento entre los tonos de dicho intervalo.

	Igual-Temperado	Pitagórico	Aristogénico
Do	1	1	1
Re	$(\sqrt[12]{2})^2$	9/8	9/8
Mi	$(\sqrt[12]{2})^4$	81/64	5/4
Fa	$(\sqrt[12]{2})^5$	4/3	4/3
Sol	$(\sqrt[12]{2})^7$	3/2	3/2
La	$(\sqrt[12]{2})^9$	27/16	27/16
Si	$(\sqrt[12]{2})^{11}$	243/128	15/8

Tabla 1. Ejemplos de Temperado

El concepto de intervalo en la música se refiere a la relación entre las frecuencias de dos tonos. Puede ser expresado como el cociente de dichas frecuencias, en donde la de mayor valor corresponderá al numerador y la de menor valor al denominador. Como ejemplo, el intervalo entre las notas  $La_4$  (440 Hz.) y  $La_5$  (880 Hz.) se expresaría de la siguiente forma:

$$Intervalo = \frac{f_s}{f_i} = \frac{880 \text{ Hz}}{440 \text{ Hz}} = \frac{2}{1} = 2$$

Cuando varios tonos se ejecuten de manera simultánea, se conformará un acorde, que podrá ser valorado subjetivamente como consonante o disonante en función de la sensación auditiva que se experimente. Dicha sensación dependerá de la relación entre los intervalos del acorde y de su nivel de batimiento.

Es importante aclarar que en la música existe una gran cantidad de descriptores conceptuales que se utilizan para caracterizar las sensaciones generadas en el ser humano a partir del estímulo sonoro. En la armonía, por ejemplo, que se encarga de estudiar todo lo relacionado con los sonidos que se producen de manera simultánea, existen los conceptos de consonancia y disonancia, relacionados con la sensación de agrado o rechazo por parte del oído respecto a dos o más tonos interpretados al unísono.

Convencionalmente, los intervalos considerados como consonantes son: tercera menor, tercera mayor, cuarta justa, quinta justa, sexta menor, sexta mayor y octava justa. Mientras que los considerados disonantes son: segunda menor, segunda mayor, quinta disminuida y séptima menor. Sin embargo, la valoración subjetiva de la consonancia o disonancia de un intervalo puede cambiar dependiendo de su contexto espaciotemporal y del sujeto de prueba.

El batimiento es un fenómeno acústico que se presenta entre dos señales, idealmente tonos puros, cuando sus frecuencias tienen valores diferentes. Consiste en un proceso de modulación producido por la suma de señales, donde la amplitud de la señal resultante varía de manera periódica, disminuyendo de velocidad a medida que la diferencia entre las frecuencias de base se reduce, o aumentando de velocidad en el caso contrario. La detección de batimientos es la técnica más empleada para afinación de instrumentos musicales.

### 3. PROPÓSITO

---

**IMVTD** fue desarrollado por su autor con la intención de permitir al usuario explorar modelos de afinación diferentes a los estandarizados, superando las formas convencionales de temperamento en proporciones iguales e invariantes en el tiempo, a partir de una herramienta que le brinda la posibilidad de elegir diferentes tipos de temperado y experimentar las variaciones acústicas que estos producen.

### 4. FUNCIONALIDADES

---

**IMVTD** es un software para procesamiento de datos musicales que, implementando el protocolo *MIDI*, realiza las siguientes funciones:

1. **Detección de patrones de interpretación musical:** bloque de sub-funciones que permiten el reconocimiento de intervalos y acordes interpretados a través de un controlador musical compatible con *MIDI*. Se incluyen las siguientes posibilidades de detección:
  - a. Intervalos musicales: segunda menor y mayor, tercera menor y mayor, cuarta justa, quinta disminuida y justa, sexta menor y mayor, séptima menor y mayor, octava justa.
  - b. Triadas musicales: mayor, menor, disminuida.
  - c. Acordes musicales: Maj 7, dominante, menor, semi-disminuido 7, disminuido 7.
2. **Modificación del temperado de las notas musicales:** se emplea una base de datos a partir de la cual es posible leer y escribir las proporciones entre los tonos de diferentes temperados musicales. El usuario puede elegir entre dos modos de operación:
  - a. Temperado manual: habilita un menú de selección a través del cual es posible explorar diferentes tipos de temperado (p. ej. Pitagórico, Aristogénico, Igual, etc.)
  - b. Temperado dinámico: el software modificará automáticamente el temperado dependiendo de los patrones de interpretación ejecutados por el usuario a través del controlador musical.
3. **Síntesis de audio:** bloque de sub-funciones que permiten convertir la información *MIDI* en una señal de audio. El usuario puede elegir entre dos modos de operación:

- a. Sintetizador Interno: habilita un sintetizador con cuatro formas de onda conmutables (sinusoidal, triangular, cuadrada y sierra) y controles de envolvente acústica (ataque, decaimiento, sostenimiento y relajación).
- b. Sintetizador Externo: habilita la salida de datos desde **IMVTD** hacia cualquier sintetizador externo compatible con el protocolo *MIDI*.

## 5. DIAGRAMA DE CONCEPTO DEL SISTEMA

---

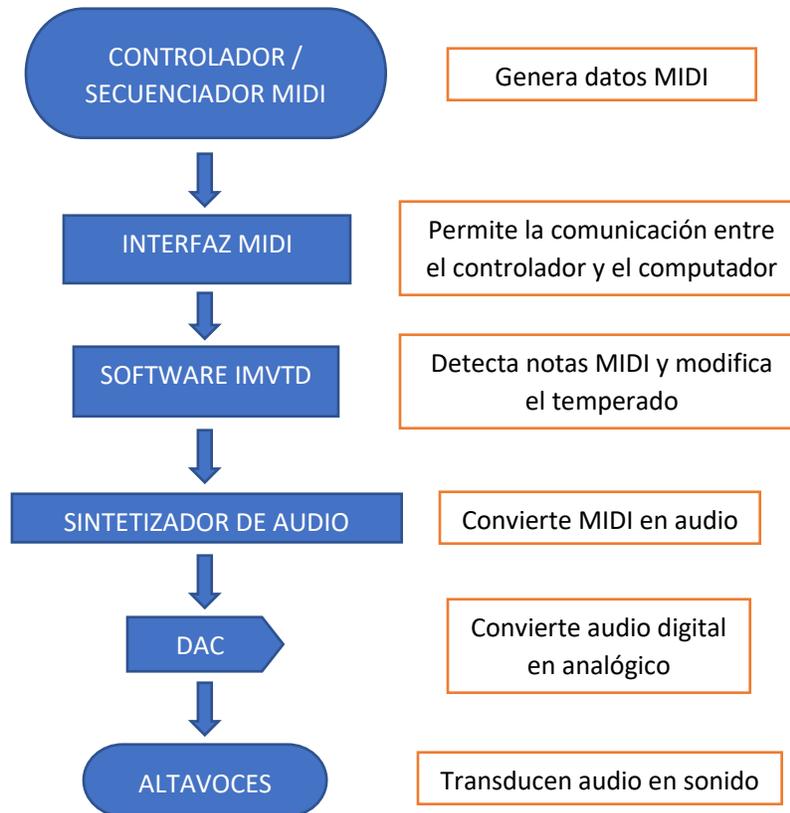


Ilustración 1. Diagrama de Concepto del sistema

## 6. DIAGRAMA DE BLOQUES IMVTD

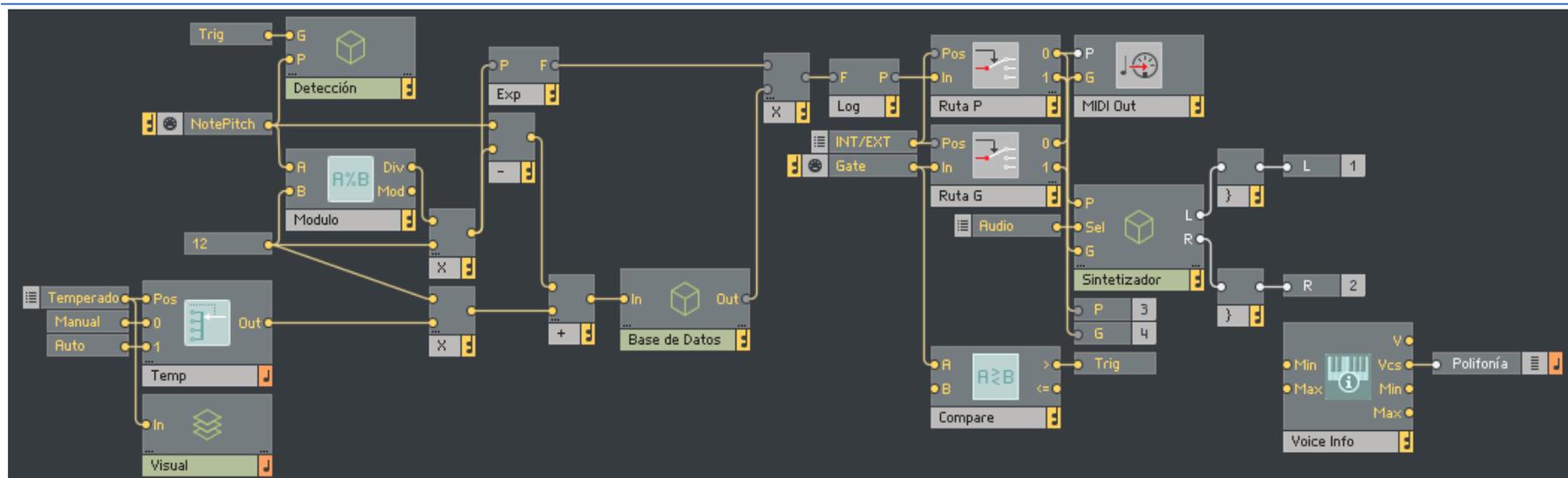


Ilustración 2. Diagrama de bloques IMVTD

Entradas	Operadores Matemáticos	Estructuras Complementarias	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Note Pitch:</b> Recibe la información de tonalidad (nota) <i>MIDI</i>. Se representa mediante una escala numérica en un rango de 0 a 127.</li> <li>• <b>Gate:</b> Recibe la información de velocidad de pulsación <i>MIDI</i> (intensidad de la nota). Se representa mediante una escala numérica en un rango de 0 a 1.</li> <li>• <b>Trig:</b> Módulo de entrada para detección de mensajes tipo <i>Note On MIDI</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>(+):</b> Operador para suma.</li> <li>• <b>(-):</b> Operador para resta.</li> <li>• <b>(X):</b> Operador para multiplicación</li> <li>• <b>Modulo:</b> Operador para calcular el módulo de la división. Posee dos puertos de salida. <i>Div:</i> entrega el resultado entero de la división. <i>Mod:</i> entrega el residuo de la división.</li> <li>• <b>Exp (F):</b> Convierte el dato de <i>Note Pitch</i> a frecuencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Detección:</b> Macro que contiene los módulos para la detección de intervalos, triadas y acordes musicales.</li> <li>• <b>Visual:</b> Macro que permite realizar modificaciones en el panel de usuario (p. Ej. deshabilita el menú de selección de temperados en el modo de operación "Temperado Dinámico").</li> <li>• <b>Base de Datos:</b> Macro que contiene una tabla bidimensional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>MIDI Out:</b> Módulo que permite llevar los datos <i>MIDI</i> de Note Pitch y Gate a un sintetizador externo luego de haber sido procesados por el IMVTD.</li> <li>• <b>Voice Info / Polifonía:</b> Módulo informativo que permite visualizar en el panel de usuario la cantidad de voces (polifonía) disponibles en IMVTD.</li> </ul>

Entradas	Operadores Matemáticos	Estructuras Complementarias	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>INT/EXT:</b> Lista de valores que representan el Id. para habilitar el sintetizador interno o externo.</li> <li>• <b>Temperado:</b> Lista de valores que representan el Id. para elegir entre los modos de temperado manual o dinámico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Log (P):</b> Convierte el dato de frecuencia a <i>Note Pitch</i>.</li> </ul>	<p>de eventos. Permite leer y escribir datos desde un archivo *.txt. Almacena las proporciones entre los intervalos de las notas musicales de cada uno de los temperados.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sintetizador:</b> Macro que contiene osciladores para la generación de formas de onda básicas: sinusoidal, triangular, cuadrada, sierra. Permite generar audio para utilizar el IMVTD sin la necesidad de un sintetizador externo.</li> <li>• <b>Temp:</b> Lleva uno de los valores numéricos de sus entradas a su salida dependiendo del valor numérico que reciba en su entrada "Pos".</li> <li>• <b>Ruta P y Ruta G:</b> Llevan la señal de entrada a alguna de sus salidas dependiendo del valor numérico que reciba en su entrada "Pos".</li> <li>• <b>Compare:</b> Módulo con salida booleana para detectar mensajes de tipo <i>Note On MIDI</i> a partir de la entrada Gate.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>({}):</b> Módulo que permite la comunicación de señales polifónicas con la interfaz de audio del sistema.</li> <li>• <b>L &amp; R:</b> representan las salidas de audio izquierda (L) y derecha (R) del computador.</li> </ul>

Tabla 2. Sub-estructuras en diagrama de bloques IMVTD

## 7. DETECCIÓN DE PATRONES DE INTERPRETACIÓN MUSICAL

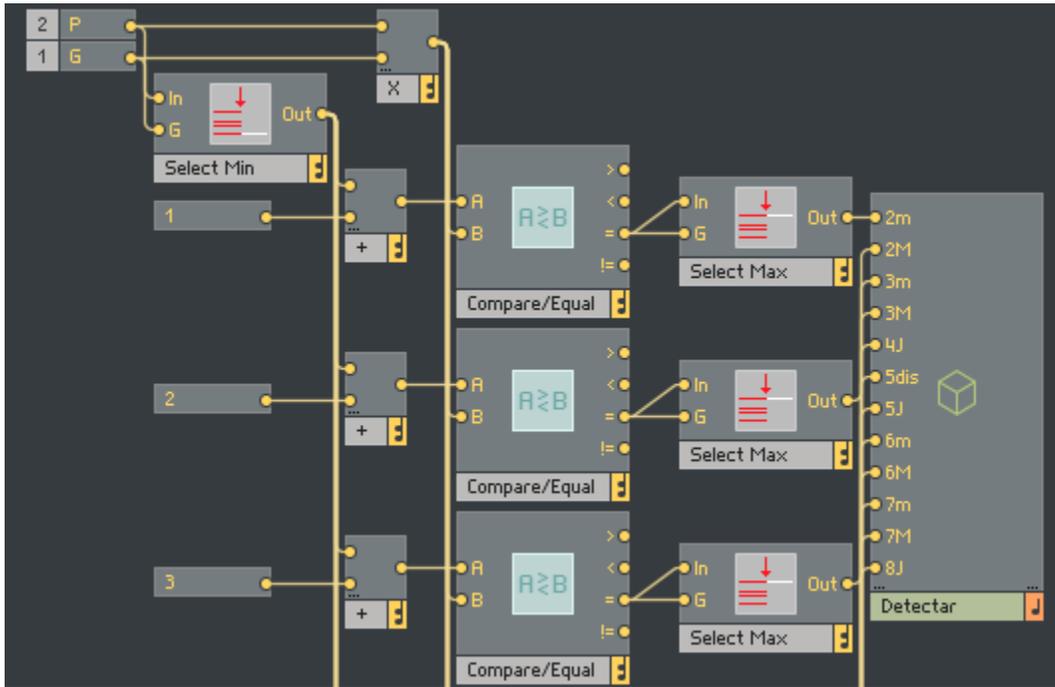


Ilustración 3. Diagrama de bloques Detección de patrones de interpretación

El macro “Detección” recibe datos de tipo *Note Pitch* y *Gate* desde la estructura principal de **IMVTD**. El módulo “Select Min” se encarga de calcular el valor más bajo entre las tonalidades recibidas cuando éstas corresponden a intervalos o acordes, detectando el valor del tono base (tónica) en cada caso.

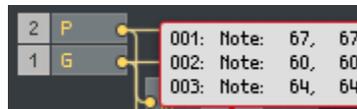


Ilustración 4. Ejemplo valores tonales en triada de Do Mayor

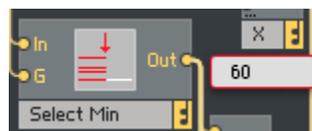


Ilustración 5. Valor del tono base en triada de Do Mayor

A través de sumadores y comparadores, se establece el intervalo que se forma entre el tono base y las demás tonalidades que se recibieron de manera simultánea. Como ejemplo, el valor del tono base + 1 semitono equivaldrá a un intervalo de segunda menor (2m), el tono base + 2 semitonos equivaldrá a una segunda Mayor (2M), el tono base + 3 semitonos equivaldrá a una tercera menor (3m), etc., hasta llegar a un intervalo de octava justa (+ 12 semitonos). Dado que **IMVTD** es polifónico, se emplea el módulo

“Select Max” para identificar si cualquiera de las voces a la salida del comparador cumplió (o no) con la condición del intervalo respectivo.

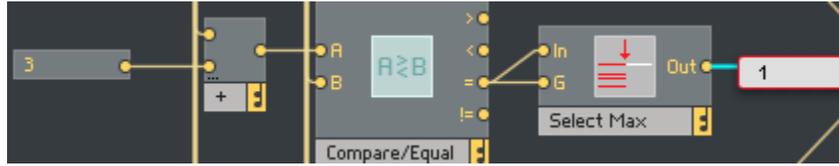


Ilustración 6. Ejemplo detección intervalo de tercera menor

**IMVTD** detectará triadas y/o acordes si se cumplen las condiciones de los intervalos que las/los componen. Como ejemplo, la triada Mayor se detectará cuando se ejecuten tres tonos de manera simultánea y la relación de los dos tonos superiores con respecto al tono base corresponda a un intervalo de tercera Mayor y a un intervalo de quinta justa.

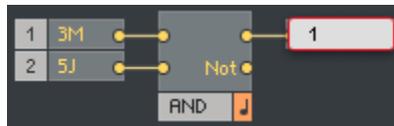


Ilustración 7. Ejemplo detección triada Mayor

Como ejemplo adicional, un acorde menor se detectará cuando se ejecuten 3 o más tonos simultáneos conformando un intervalo de tercera menor y uno de séptima mayor o uno de séptima menor, siempre y cuando no exista ni una tercera mayor ni una quinta disminuida.

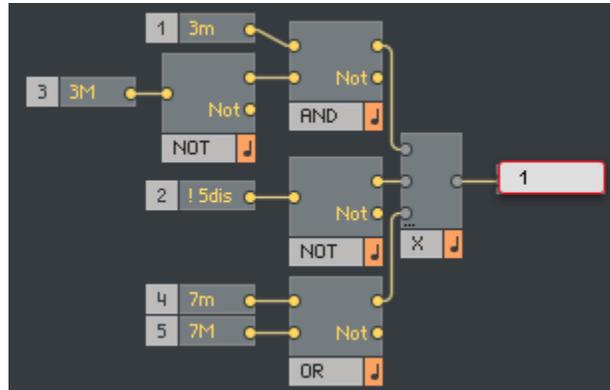


Ilustración 8. Ejemplo detección acorde menor

## 8. MODIFICACIÓN DEL TEMPERADO MUSICAL

**IMVTD** recibe datos de tipo *Note Pitch* y *Gate* a través de cualquier instrumento musical, controlador o secuenciador (compatible con protocolo *MIDI*) que se encuentre conectado al computador.



Ilustración 9. Ejemplo de datos *Note Pitch* y *Gate*

El valor de *Note Pitch* es dividido entre los 12 semitonos de la escala cromática musical para definir el valor de la octava en la cual se está interpretando la nota.

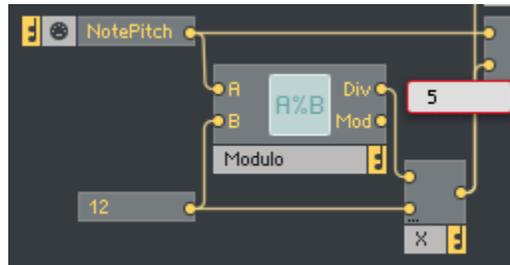


Ilustración 10. Ejemplo valor de la octava musical

El valor de la primera tonalidad de la octava (Do) se expresa como frecuencia y se utiliza como referencia para calcular las nuevas frecuencias de las notas correspondientes a dicha octava dependiendo del tipo de temperado seleccionado por el usuario.



Ilustración 11. Frecuencia del tono de referencia "Do<sub>5</sub>"

Al multiplicar el valor del temperado correspondiente a cada nota por el valor de la frecuencia de referencia de la octava, se obtiene el nuevo valor de frecuencia para dicha nota. Ese valor de frecuencia se expresa nuevamente como un *Note Pitch* y se remite al sintetizador con el cual el usuario elija generar la señal de audio (sintetizador interno o externo).



Ilustración 12. *Pitch* correspondiente a "Mi<sub>5</sub>" antes y después del procesamiento

Las "distancias" entre las notas de la escala musical para cada tipo de temperado se encuentran almacenadas en una base de datos que puede ser alimentada de manera manual o a través de un archivo de texto (\*.txt). Estas escalas se escriben en secuencias de 12 valores, uno por fila.

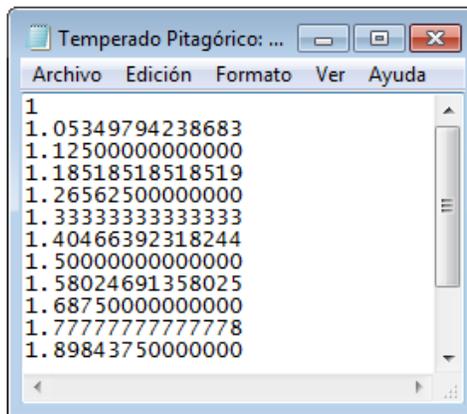


Ilustración 13. Ejemplo de operadores de frecuencia para cálculo del temperado pitagórico

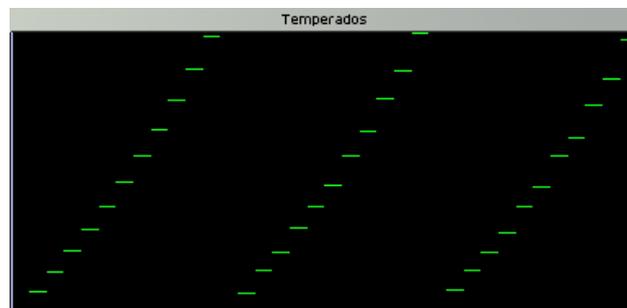


Ilustración 14. Ejemplo de tres escalas en la base de datos

El valor de *Gate* no se modifica en **IMVTD**, sin embargo, se genera una ruta específica para este dato en función del tipo de sintetizador a través del cual el usuario desee generar audio.

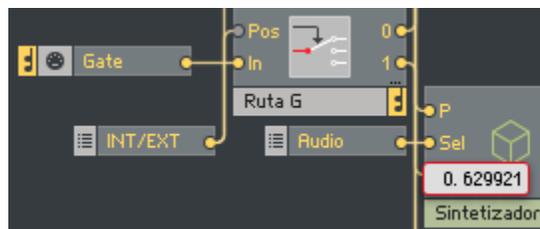


Ilustración 15. Ejemplo de *Gate* enviado hacia el sintetizador interno

**IMVTD** es un software con capacidad de polifonía musical. El procesamiento de los datos correspondientes a cada "voz" se realiza en paralelo, lo cual permite al usuario interpretar triadas, acordes y temperar secuencias musicales polifónicas.

001:	Note:	64,	327.029
002:	Note:	67,	392.435
003:	Note:	72,	523.247
004:	Note:	60,	261.623

Ilustración 16. Ejemplo de un tetracordio temperado aristogónico

## 9. SÍNTESIS DE AUDIO

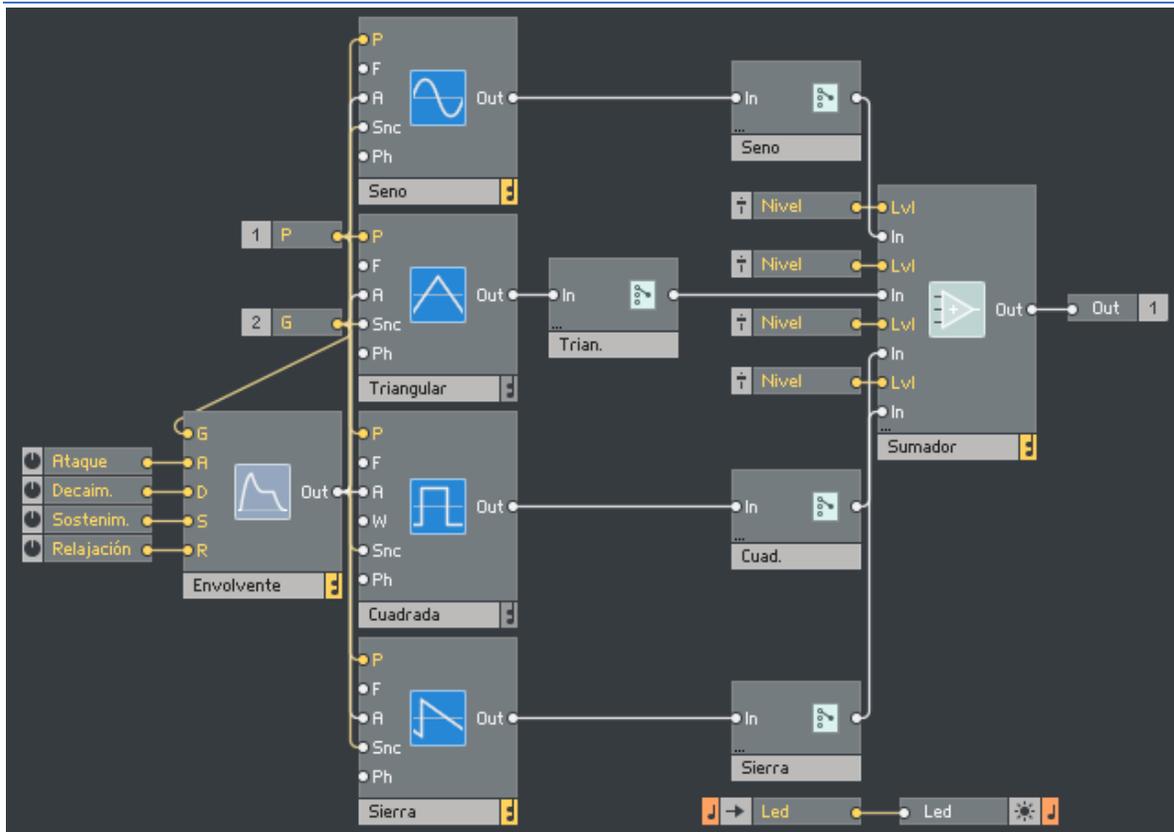


Ilustración 17. Diagrama de bloques Sintetizador de audio IMVTD

**IMVTD** posee un sintetizador interno básico a partir de osciladores que se encargan de producir formas de onda básicas (sinusoidal, triangular, cuadrada y diente de sierra).

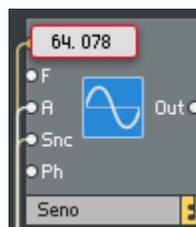


Ilustración 18. Oscilador tipo sinusoidal con *Note Pitch* "Mi<sub>5</sub>"

El sintetizador interno de **IMVTD** recibe los datos de *Note Pitch* y *Gate*. La frecuencia de los osciladores depende del *Note Pitch* que ya ha sido modificado. El dato *Gate* alimenta un módulo que genera una envolvente acústica a partir de valores de ataque, decaimiento, sostenimiento y relajación manipulables desde la interfaz de usuario. La envolvente acústica alimenta la entrada de amplitud de los cuatro osciladores.

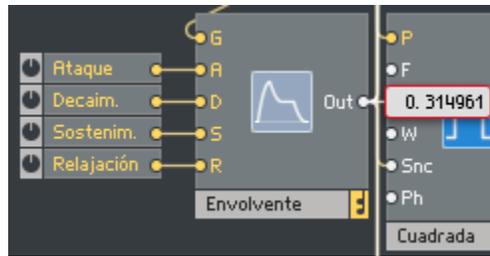


Ilustración 19. Salida de la envolvente acústica

La salida de los osciladores se envía a un sistema de interruptores que permite activarlos y desactivarlos de manera independiente. Posteriormente se suman las señales en un módulo que permite manipular el nivel de salida de cada oscilador y el audio resultante se lleva a los puertos de salida del computador.

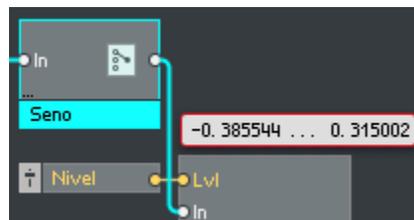


Ilustración 20. Salida sinusoidal hacia el módulo de suma

## 10. INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz de **IMVTD** posee un diseño simple que permite al usuario acceder de manera ágil a sus controles:

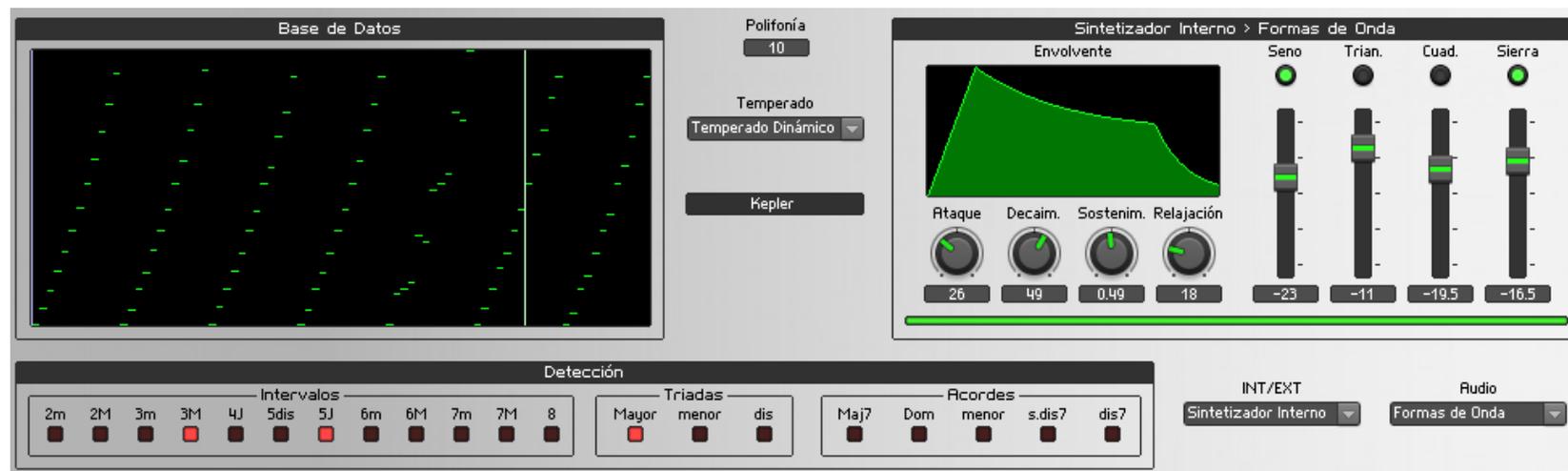


Ilustración 21. Interfaz de usuario IMVTD

Las distancias entre los intervalos de cada temperado pueden visualizarse en la sección “*Base de Datos*” (display negro a la izquierda). Las notas de la escala se representan como pequeñas líneas horizontales y se dispone una línea de reproducción vertical que permite observar la altura de la tonalidad que se está interpretando.

La sección “*Sintetizador Interno > Formas de Onda*” se habilita cuando el usuario decide implementar el sintetizador interno de **IMVTD** (menú de selección “INT/EXT”); permitiendo activar, desactivar y controlar el nivel de salida de los osciladores de manera independiente, así como los tiempos y el nivel de su envolvente acústica.

En la sección central de la interfaz, el usuario puede visualizar el máximo número de “voces” que el sintetizador reproducirá de manera simultánea (polifonía). A partir de menús desplegables es posible seleccionar el modo de temperado (Manual o Dinámico) y el tipo de temperado (en caso de modo de temperado manual).

En la sección inferior, se dispone un sistema de leds que se activarán cuando **IMVTD** detecte intervalos, triadas y/o acordes musicales.

## 11. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

**IMVTD** fue sometido a pruebas de funcionamiento y estabilidad, demostrando un óptimo desempeño en los siguientes entornos de trabajo:

Plataforma	Sistema Operativo	Versión SO	Tipo de Interfaz
Reaktor 6	Mac OS X	10.10	Stand-alone, VST, AU, AAX
		10.11	
		10.12	
	Windows	7	Stand-alone, VST, AAX
		8	
		11	
Reaktor 6 Player	Mac OS X	10.10	Stand-alone
		10.11	
		10.12	
	Windows	7	
		8	
		11	

**Ilustración 22. Especificaciones para las pruebas funcionales**

Las pruebas fueron realizadas en equipos de cómputo con procesadores de 64 bits, Intel Core 2 Duo. Para la interfaz *VST* se empleó el *DAW Cubase 8*. Para la interfaz *AAX* se empleó el *DAW Pro Tools HD 12*. Como controladores e interfaces *MIDI*, se emplearon teclados *M-Audio Axiom Pro 49*.

## 12. REFERENCIAS

---

- [1] Native Instruments. (2017). Reaktor 6. URL:  
<https://www.native-instruments.com/en/products/komplete/synths/reaktor-6/>
- [2] MIDI Manufacturers Association. (1996). The complete MIDI 1.0 detailed specification. Los Angeles, CA, *The MIDI Manufacturers Association*.
- [3] Haluska, J. (2003). *The mathematical theory of tone systems*. CRC Press.