

# **Kobología: Virtualización del sintetizador analógico RSF Kobol mediante muestreo**

**Castelo Carvajal, Gustavo**

**Curs 2021-22**

**Director: Frederic Font i Perfecto Herrera**

**GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES  
AUDIOVISUALS**



# **Kobología: Virtualización del sintetizador analógico RSF Kobol mediante muestreo**

TREBALL FI DE GRAU DE  
**Gustavo Castelo Carvajal**

Directores: Perfecto Herrera y Frederic Font

Grau en Enginyeria en Sistemes  
Audiovisuais

Curs 2021-2022



Universitat  
Pompeu Fabra  
*Barcelona*

Escola  
d'Enginyeria



## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradecer a Perfecto Herrera y Frederic Font tutores de este trabajo su ayuda y predisposición desde el primer momento del proyecto, también agradecerles que con su pasión hacia los sintetizadores hayan motivado mis ganas de investigar y aprender más sobre este campo. También dar las gracias a mi familia y amigos por su paciencia y apoyo durante estos meses.



## **Resumen**

El RSF Kobol es un sintetizador analógico monofónico de los años 80 diseñado por la empresa francesa RSF (Ruben y Serge Fernandez), del cual se estima que tras su salida al mercado en 1978 se fabricaron menos de 200 unidades, debido a esto este TFG se propone con la intención de preservar el característico sonido de este sintetizador mediante su virtualización. Este trabajo documenta tanto el análisis previo del sintetizador como el proceso de generación de un banco de muestras grabadas a partir del sintetizador real, así el posterior procesamiento de esos sonidos y finalmente la construcción del instrumento digital utilizando Kontakt como herramienta principal. El trabajo no solo se centra en la imitación del Kobol original sino también en los componentes artísticos y creativos que tiene la creación de instrumentos musicales digitales. Finalmente se ha creado un instrumento virtual completamente funcional que consigue replicar algunas de las características del Kobol, aunque falla en la imitación del cambio continuo entre formas de ondas de este.

## **Abstract**

The RSF Kobol is a monophonic analog synthesizer from the 80s designed by the French company RSF (Ruben and Serge Fernandez), of which it is estimated that after its release in 1978 less than 200 units were manufactured, due to this, this TFG is proposed with the intention of preserving the characteristic sound of this synthesizer through its virtualization. This work documents both the previous analysis of the synthesizer and the process of generating a bank of samples recorded from the real synthesizer, as well as the subsequent processing of these sounds and finally the construction of the digital instrument using Kontakt as the main tool. The work not only focuses on the imitation of the original Kobol but also on the artistic and creative components that the creation of digital musical instruments has. Finally, a fully functional virtual instrument has been created that manages to replicate some of the characteristics of the Kobol, although it fails to imitate its waveshaping.

## **Resum**

El RSF Kobol és un sintetitzador analògic monofònic dels anys 80 dissenyat per l'empresa francesa RSF (Ruben i Serge Fernández), del qual s'estima que després de la seva sortida al mercat el 1978 es van fabricar menys de 200 unitats, a causa d'això aquest TFG es proposa amb la intenció de preservar el so característic d'aquest sintetitzador mitjançant la seva virtualització. Aquest treball documenta tant l'anàlisi prèvia del sintetitzador com el procés de generació d'un banc de mostres gravades a partir del sintetitzador real, així com el processament posterior d'aquests sons i finalment la construcció de l'instrument digital utilitzant Kontakt com a eina principal. El treball no se centra només en la imitació del Kobol original sinó també en els components artístics i creatius que té la creació d'instruments musicals digitals. Finalment s'ha creat un instrument virtual completament funcional que aconsegueix replicar algunes de les característiques del kobo, tot i que falla en la imitació del canvi continu entre formes d'ones





## Resumen Extendido

El RSF Kobol es un sintetizador analógico monofónico de los años 80 diseñado por la empresa francesa RSF (Ruben y Serge Fernandez), del cual se estima que tras su salida al mercado en 1978 se fabricaron menos de 200 unidades. Debido a su rareza, este TFG se propone con la intención de preservar el característico sonido del sintetizador mediante su virtualización. Este trabajo documenta tanto el análisis previo como el proceso de generación de un banco de muestras grabadas a partir del sintetizador real, así como la creación de un instrumento digital utilizando Kontakt como herramienta principal

Primero se analizaron las diferentes posibilidades de virtualización del Kobol y se llegó a la conclusión de centrar los esfuerzos en replicar los cambios continuos en la forma de onda del oscilador tan característicos de este sintetizador, ya que lo normal en los sintetizadores de esa época era tener saltos discretos entre las diferentes formas de onda (p. ej.: triangular, cuadrada, diente de sierra...)

También se tomó la decisión de utilizar Kontakt como software de sampling ya que es el más utilizado en *DAW* (digital audio workstations) por su gran disponibilidad de librerías y también porque permite un alto grado de manipulación de las muestras gracias a su *KSP* (Kontakt Script Processor).

Se creó una configuración para la grabación de las muestras utilizando una tarjeta de sonido digital y un conversor de MIDI a CV para así aprovechar las entradas de control por voltaje de las que dispone el sintetizador y usar un programa en Python que acelerara el proceso de generación de muestras. El ordenador envía una señal MIDI al conversor que la separa en tres señales de control por voltaje que controlan la frecuencia, la forma de onda y el gate del sintetizador. A la vez, el programa inicia la grabación de la muestra a través de la tarjeta de sonido que recibe la salida del oscilador del Kobol. De esta manera se puede grabar un gran número de muestras en un tiempo reducido.

Luego se utilizaron dos herramientas de la suite de Native Instruments para ensamblar el instrumento virtual: Kontakt como “sampler”, el software encargado de reproducir las muestras y Creator Tools para manipular dichas muestras y estructurarlas para su posterior reproducción así como conexión de los programas de Lua con el instrumento de Kontakt. Primero se escribió un programa en Lua que se ejecuta en la herramienta Creator Tools y detecta la frecuencia de cada muestra (estas frecuencias detectadas fueron luego comprobadas utilizando la librería de Python Essential). Una vez se dispone de la frecuencia fundamental de cada muestra se asigna su respectiva nota MIDI más cercana además de indicar cuánto debe afinarse la muestra en Kontakt. Finalmente se utilizan las etiquetas del nombre del archivo para asignar su valor de forma de onda en el instrumento de Kontakt.

Una vez las muestras están cargadas en Kontakt es el momento de elegir cómo se reproducirán, el sintetizador virtual seguirá siendo monofónico por lo que solo se puede reproducir una nota a la vez. Para ahorrar recursos no se tienen muestras para todas las posibles notas MIDI por lo que para las diferentes notas se reproduce una versión remuestreada de las muestras existentes más cercanas. Debido a la simplicidad de las muestras los resultados con este método son extraordinariamente similares al sonido real del Kobol.

Para mantener esa sensación de continuidad en el cambio de forma de ondas se hace un fundido cruzado entre las muestras con diferente forma de onda para así ir obteniendo pasos intermedios entre las muestras discretas obteniendo un muy buen resultado utilizando solo 25 diferentes formas de onda en las muestras. Todas estas manipulaciones en la reproducción de las muestras se llevan a cabo mediante un lenguaje propio de Kontakt llamado Kontakt Script.

Finalmente se dispone de un instrumento virtual con una similitud al Kobol original considerable, aunque con gran margen de mejora en la emulación del cambio de formas de onda. Más allá de la similitud con el sintetizador análogo el instrumento virtual creado tiene valor por sí solo como herramienta musical ya que partiendo de unas pocas muestras grabadas en el Kobol se ha conseguido un instrumento que se puede utilizar para crear cierta variedad de sonidos y música con mucha facilidad.





# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>16</b>
1.1 Sintetizadores y virtualización	16
1.2 Motivación y objetivos	17
<b>2. CONTEXTO</b>	<b>18</b>
2.1 Sintetizadores analógicos	18
2.2 RSF Kobol	19
a) Historia	19
b) Especificaciones	20
c) Estado del arte	21
2.3 Síntesis y Muestreo por software	22
a) Síntesis	22
b) Muestreo	23
2.4 Kontakt	23
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>26</b>
3.1 Grabación de las muestras	26
3.2 Procesado de las muestras originales	29
a) Creación de los bucles	29
3.3 Creación instrumento Kontakt	32
a) Tecnologías Utilizadas	32
b) Estructuración de las muestras	33
c) Fundido cruzado entre grupos	36
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>38</b>
4.1 Problemas afrontados	38
a) Disparidad frecuencial en las muestras	38
b) Diferencia de fase entre bucles	40
4.2 Evaluación de resultados	40
a) Bucles	40
b) Frecuencias	42
c) Cambio de forma de onda	43
d) Consumo de recursos	47
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>48</b>
5.1 Conclusiones personales	48
5.2 Mejoras y trabajo futuro	48
<b>Bibliografía</b>	<b>50</b>
<b>Anexo I: Código y recursos</b>	<b>54</b>
<b>Anexo II: MFCC y similitud coseno</b>	<b>56</b>



## **Lista de figuras**

- Figura 1: Diagrama de bloques sintetizador simple
- Figura 2: RSF Kobol con teclado
- Figura 3: Selector de Forma de Onda del Kobol
- Figura 4: Frontal del RSF Kobol versión de rack
- Figura 5: Interfaz Gráfica de PolyKB de XILS Lab
- Figura 6: Interfaz gráfica de Retro Machines MK2
- Figura 7: Diagrama de la configuración de la grabación.
- Figura 8: Cableado del RSF Kobol en el momento de la grabación
- Figura 9: Esquema de la creación de bucles
- Figura 10: Bucle en el editor de Kontakt
- Figura 11: Diagrama de Entrada/Salida de Kontakt
- Figura 12: Diagrama del funcionamiento del script en LUA
- Figura 13: Editor de zonas en Kontakt
- Figura 14: Editor de Grupos en Kontakt, zonas de 3 grupos diferentes
- Figura 15: Editor de modulación de volumen en Kontakt, curva del grupo 3.
- Figura 16: Esquema del fundido cruzado entre grupos
- Figura 17: Gráfico de la frecuencia detectada/esperada de las muestras  
(escala logarítmica)
- Figura 18: Gráfico cambios de Bucle
- Figura 19: Gráfico evaluación similitud bucles
- Figura 20: Gráfico evaluación similitud barrido frecuencias
- Figura 21: Gráfico evaluación similitud barrido forma de onda
- Figura 22: Comparación formas de onda
- Figura 23: Comparación del espectrograma de los barridos de forma de onda.
- Figura 24: Consumo de recursos del instrumento de Kontakt





# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Sintetizadores y virtualización

El RSF Kobol es un sintetizador analógico de los años 70, década en la que estaba en auge la utilización de sintetizadores para la creación musical y se comenzaron a emplear de forma masiva en distintos géneros musicales. Los sintetizadores analógicos son instrumentos electrónicos que generan señales de audio a partir de circuitos internos que combinan de diferentes maneras ondas generadas por osciladores para producir así sonidos diferentes que varían desde sonidos puramente artificiales a otros que replican instrumentos tales como baterías o guitarras. Una frase que resume el gran valor simbólico y artístico, así como la personalidad de los sintetizadores analógicos se puede encontrar en la introducción del libro “Analog synthesizers: understanding, performing, buying” de Mark Jenkins:

*“¿Cómo solemos describir los instrumentos musicales modernos de alta tecnología? Términos como "digital", "muestreado" o "virtual" son comunes, aunque revelan muy poco acerca de cómo suena realmente el instrumento. Pero cuando escuchamos la palabra 'analógico', tenemos una idea instantánea del tipo de ruido que se puede esperar: una cierta sensación de poder, sencillez y riqueza que se remonta a los primeros días de la música electrónica.”* (Jenkins, 2019, 13)

Con el paso de los años la popularidad de los sintetizadores analógicos ha ido disminuyendo, pero sus característicos sonidos siguen presentes en gran parte de las producciones musicales actuales. Esto se debe a que, aunque los sintetizadores analógicos actualmente son en su mayoría costosos y hasta cierto punto aparatosos, los avances en computación permiten que cualquier persona pueda utilizar los sonidos que estos generan en sus ordenadores personales. Sigue habiendo gran número de nostálgicos que prefieren utilizar sintetizadores analógicos, incluso se siguen fabricando modelos nuevos todo el tiempo, pero la democratización de los sintetizadores que provee la virtualización de estos es notable. Ahora cualquier persona puede utilizar un instrumento virtual que replique su sintetizador favorito desde la comodidad de un ordenador portátil, pero para que esto ocurra, tienen que existir “luthiers digitales” que se ocupen de convertir estos instrumentos analógicos en virtuales. (Jordà, 2005)

A la hora de replicar un instrumento mediante software nos encontramos con dos posibles caminos muy bien diferenciados: la síntesis y el muestreo. El primero consiste en generar digitalmente una señal que replique la generada por el instrumento real, mientras que el segundo consiste en grabar todas las posibles variaciones del sonido del instrumento real para posteriormente reproducirlas.

## 1.2 Motivación y objetivos

Debido a su antigüedad y a la incertidumbre sobre el número de ejemplares funcionales que existen, se ha decidido digitalizar ciertas funciones del RSF Kobol en un ejercicio de preservación sonora. En capítulos posteriores se explicará como una de las características diferenciales del Kobol con respecto a otros sintetizadores analógicos es la posibilidad de variar la forma de onda de los osciladores de manera continua, ya que los sintetizadores de la época solían disponer de 3 o 4 posibles formas de onda, pero el cambio entre ellas era discreto. En el Kobol, en cambio, se dispone de un rango continuo de formas de ondas que se entremezclan y dan lugar a sonidos muy particulares. Por esto mismo se ha decidido centrar la digitalización del sintetizador en esta característica.

Este proyecto se centra en el segundo camino explicado en la introducción, el muestreo, y el objetivo final es obtener una representación fiel del sonido del RSF Kobol, empezando desde la familiarización con el instrumento, pasando por la grabación de las muestras y finalmente construyendo un instrumento virtual y comparándolo con el Kobol original. Más allá de la imitación del Kobol original, también resulta interesante la propia creación desde cero de un instrumento virtual con cierta complejidad a partir de unas pocas grabaciones y que este se pueda utilizar para la creación musical.

## 2. CONTEXTO

### 2.1 Sintetizadores analógicos

Más allá de la introducción general a los sintetizadores analógicos del primer capítulo, también es necesario explicar algunos conceptos importantes sobre los sintetizadores analógicos que se utilizarán a lo largo de todo el trabajo. La explicación del funcionamiento de los circuitos internos de un sintetizador queda fuera del ámbito de este trabajo, pero sí que es interesante hacer una escueta definición de diversos componentes y conceptos que comparten los sintetizadores analógicos.

**VCO:** Voltage Controlled Oscillator u oscilador controlado por voltaje, es el componente que se ocupa de generar una señal periódica que puede tener forma de onda y frecuencia variables. Es la fuente original de la señal que se manipulará por los siguientes componentes del sintetizador.

**VCA:** Voltage Controlled Amplifier o amplificador controlado por voltaje, se ocupa de incrementar o disminuir el voltaje de una señal, es decir, controla el “volumen” del sonido.

**VCF:** Voltage Controlled Filter o filtro controlado por voltaje, este elemento se ocupa de discriminar frecuencias de la señal modificando así el espectro del sonido resultante.

**LFO:** Low Frequency Oscillator u oscilador de baja frecuencia, de la misma manera que el VCO genera señales periódicas pero de frecuencias muy inferiores, permite modular de manera cíclica diferentes parámetros controlados por voltaje del sintetizador, como la frecuencia y forma de onda en el VCO o la frecuencia de corte y la resonancia en el VCF.

**CV:** Control Voltage o Control por voltaje, es el método por el cual se controlan los parámetros del sintetizador analógico, como se puede ver en las definiciones previas tanto VCA, VCF como VCO son controlados por voltaje, esto quiere decir que una variación en el voltaje entrante a estos componentes cambiará su comportamiento. Por lo tanto se utilizan señales de control por voltaje para modificar la salida de los diferentes componentes, estas señales pueden ser internas en el sintetizador (controladas por un potenciómetro) o externas a través de cables que transmiten la señal de control. También se utiliza el concepto CV/gate como el método por el cual se “toca” una nota en un sintetizador, la señal gate indica si la nota se está tocando o no y la señal CV indica que nota tocar (frecuencia fundamental).

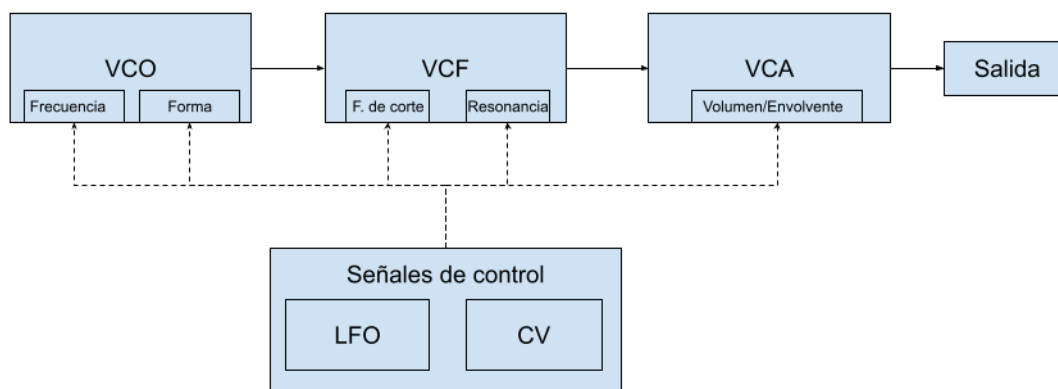


Figura 1: Diagrama de bloques sintetizador simple

## 2.2 RSF Kobol

### a) Historia

El *RSF Kobol*<sup>1</sup> es un sintetizador analógico diseñado por la empresa francesa RSF(Ruben and Serge Fernandez), parte de la primera generación de sintetizadores portables que podían ser de uso doméstico, salió a la venta en 1978 y se estima que se fabricaron menos de 200 unidades (Olivier, 2008). Es un sintetizador monofónico que existe en versión con teclado y versión de rack llamada Kobol Expander (que es de la que se dispone en la UPF). Llamado por algunos el ‘Minimoog Francés’ en comparación con el famoso sintetizador americano, ha sido utilizado por diversos artistas de renombre como por ejemplo Depeche Mode o Hans Zimmer.



Figura 2: RSF Kobol con teclado

<sup>1</sup> <http://rsf-synth-official.com/cadre.html>

## b) Especificaciones

El Kobol es descrito como sintetizador monofónico, es decir, que por su salida solo puede sonar una nota/frecuencia fundamental a la vez (realmente el Kobol dispone de dos osciladores que pueden tener frecuencias fundamentales diferentes, pero funcionan siempre relacionados entre ellos para formar un solo sonido por lo que se le considera monofónico).

Dispone de dos osciladores controlados por voltajes(VCO) sincronizables cada uno con sus respectivos controles de frecuencia, forma de onda y volumen que se suman antes de pasar por el filtro pasabajos. Cada uno de estos osciladores puede tener diferentes formas de onda: triangular, sierra cuadrada y pulso, pero aparece una característica diferencial con el resto de sintetizadores, ya que el cambio entre estas formas de ondas no es discreto, sino continuo a través de formas de onda intermedias. También existe la posibilidad de modular el ancho de pulso a través del generador de envolvente.

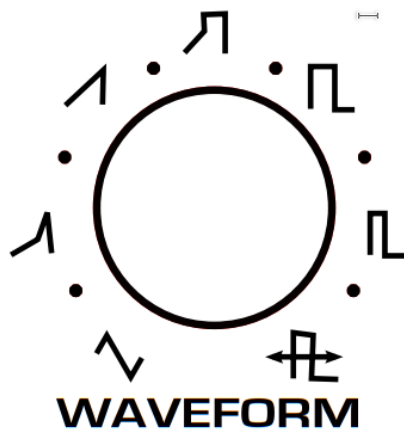


Figura 3: Selector de Forma de Onda del Kobol

Otra de las razones por las que destacó y destaca el Kobol es por la personalidad de su filtro, un filtro pasabajos de 4 polos controlado por voltaje basado en el chip *SSM-2040*<sup>2</sup>. El sintetizador dispone también de dos generadores de envolvente ADS (Attack, Decay, Sustain) cada uno de ellos con dos fases VCF y VCA. Otro aspecto a comentar es el oscilador de frecuencias bajas (LFO) que dispone de dos posibles formas de ondas (triangular o cuadrada). Además, dispone de dos módulos independientes, uno de ellos un generador de ruido y el otro un procesador de voltaje.

Una característica curiosa y que da un gran valor didáctico al Kobol es que el recorrido de las señales dentro del sintetizador es fácilmente comprensible, ya que tiene

---

<sup>2</sup> Chip fabricado por la empresa estadounidense *Solid State Microtechnology for Music*

serigrafiado una suerte de diagrama de bloques en su parte frontal que permite observar las conexiones entre todos los componentes.



Figura 4: Frontal del RSF Kobol versión de rack

Además de todo esto, existe una ampliación para el formato de rack del Kobol llamada Kobol Expander II (también presente en el estudio de *Phonos*<sup>3</sup> en la UPF) que añade diversas funcionalidades extras, como amplificadores, LFO, generador de envolvente, generador de ruido...

### c) Estado del arte

A día de hoy no existen virtualizaciones del RSF Kobol disponibles, pero a partir de la iniciativa del tutor de este TFG, Perfecto Herrera, otros alumnos de la Universidad Pompeu Fabra han llevado a cabo paralelamente trabajos más centrados en la electrónica, en los que han caracterizado técnicamente el comportamiento de diversos componentes para en un futuro llevar a cabo el modelado físico de estos.

Existen, eso sí, virtualizaciones con características similares, la más destacable el VST PolyKB de XILS Lab<sup>4</sup> que replica otro sintetizador de RSF, el *PolyKobol*, un sintetizador polifónico con teclado basado en los mismos osciladores y filtro que el Kobol.

<sup>3</sup> <https://www.upf.edu/es/web/phonos>

<sup>4</sup> <https://www.xils-lab.com/products/polykb-iii-&-ii-p-159.html>

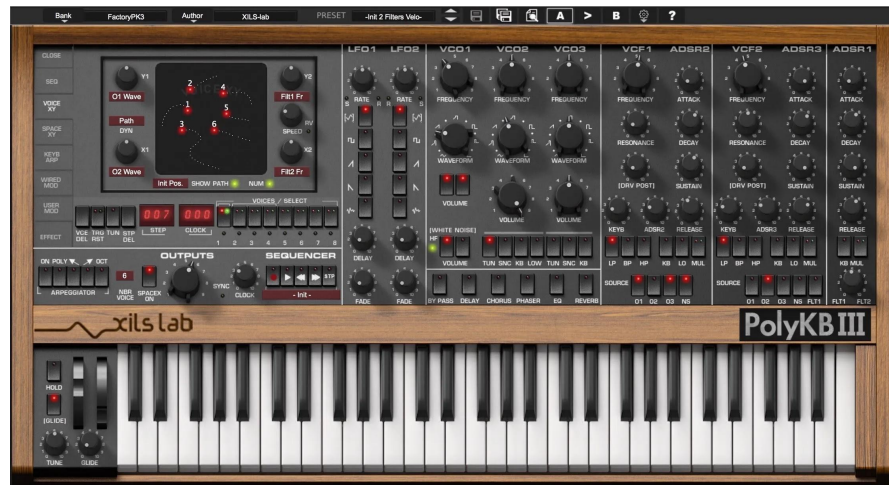


Figura 5: Interfaz Gráfica de PolyKB de XILS Lab

Por otro lado existe un clon analógico del oscilador del Kobol fabricado por una empresa de Barcelona llamada *La 67*<sup>5</sup>. También la empresa alemana *Behringer*<sup>6</sup> ha anunciado un clon físico completo del RSF Kobol que aún no ha salido a la luz.

## 2.3 Síntesis y Muestreo por software

### a) Síntesis

La síntesis, tal y como indica la propia palabra (“conjunto de elementos que componen un todo”), es el proceso a partir del cual se genera una nueva señal compleja a partir de la suma de señales simples como sinusoides. Podríamos dividir de manera simplista los sonidos que produce un sintetizador (ya sea digital o analógico) en dos: sintéticos o imitativos aunque estas categorías quedan pequeñas para sonidos más complejos o que contienen características de ambas (Russ, 2009, 6). Los sintéticos son sonidos que cualquier persona identificaría rápidamente con un sintetizador, sonidos que se considerarían “artificiales” que son muy utilizados por ejemplo en la música electrónica. Los imitativos son sonidos que intentan replicar otros ya sean instrumentos musicales (p. ej. Baterías, guitarras, pianos...) o cualquier otro sonido del mundo en general (p. ej. Pájaros, el mar, bocinas de coche...). El proceso de síntesis digital realmente se basa en dos bloques principales, el primero serían los parámetros iniciales que son los que definen el modelo (instrumento, sonido...) y el otro sería el motor de síntesis que interpreta estos parámetros y los utiliza para realizar los cálculos que dan lugar a la señal final de salida. Así como el propio Kobol que se intenta replicar en este proyecto es un sintetizador que tiene sus parámetros iniciales (p.ej.: Frecuencia, forma de onda, filtro...) y su motor de síntesis interno que serían todos los elementos que generan el sonido. Como ejemplo, para virtualizar el Kobol se podría haber tomado este camino y haber modelado sus diferentes componentes (p.ej.: Oscilador, filtro, LFO...)

<sup>5</sup> <https://www.lasesentaysiete.com/wfm-oscillator>

<sup>6</sup> <https://www.behringer.com/>

para posteriormente sintetizar los sonidos a partir de estos modelos. En cualquier caso, una explicación más profunda de la síntesis queda fuera del ámbito de este trabajo ya que se centra en virtualizar el Kobol utilizando la técnica de muestreo como se describe a continuación

## b) Muestreo

El sampling o muestreo es el proceso de grabar diferentes sonidos de un instrumento real para posteriormente reproducirlos. Este método ha sido el predominante hasta los últimos años ya que es menos costoso computacionalmente que sintetizar cada vez que se quiere reproducir un sonido, pero presenta la desventaja de que es altamente costoso a nivel de almacenamiento, ya que en general para tener un instrumento virtual realista se necesitan muchas muestras distintas. Se necesitan muestras de las diversas notas, pero también de esas mismas notas tocadas de diferente forma y cualquier posible variación que dé vida y realismo al instrumento final. El sampling moderno no se basa solo en la grabación y reproducción de muestras, sino que conlleva todo un procesamiento de las muestras para optimizar el instrumento y mejorar la calidad. A día de hoy se podría decir que si el proceso de grabación ha sido óptimo, en lo que respecta a replicar instrumentos la vía del sampling da resultados más realistas que la síntesis, aunque gracias a los avances en computación cada día estos dos caminos se acercan más.

## 2.4 Kontakt

*Kontakt*<sup>7</sup> es un sampler digital disponible en formato de plugin VST (Virtual Studio Technology) o como programa standalone, propiedad de *Native Instruments*. Es probablemente el software de sampling más utilizado en DAW (digital audio workstations) por su gran disponibilidad de librerías de sonidos. Por ello es el formato que se ha decidido utilizar para la reproducción de las muestras de sonido grabadas del RSF Kobol.

En Kontakt ya existen digitalizaciones de sintetizadores analógicos, una de las librerías más destacables sería *Retro Machines MK2*<sup>8</sup>, una librería relativamente ligera de 4GB, y dispone por ejemplo de un muestreo de distintos sonidos del sintetizador de los *70 Minimoog*, hasta cierto punto, parecido a nuestro objetivo de digitalizar el Kobol. Gracias a la libertad para ver el funcionamiento interno de las librerías que brinda Kontakt se ha podido utilizar este sintetizador como primer contacto con los entresijos de un sampler digital basado en sintetizadores analógicos.

---

<sup>7</sup><https://www.native-instruments.com/en/products/komplete/samplers/kontakt-6/>

<sup>8</sup> <https://www.native-instruments.com/en/products/komplete/synths/retro-machines-mk2/>





Figura 6: Interfaz gráfica de Retro Machines MK2



### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Grabación de las muestras

Llegados a este punto, comienza el proceso de generación de muestras de sonido para el instrumento digital, es decir, la grabación del Kobol original. Para este cometido se ha necesitado de diversos equipos electrónicos y se ha establecido un flujo de trabajo que se detalla a continuación.

Primeramente los elementos utilizados en esta configuración han sido los siguientes:

- RSF Kobol: el propio sintetizador en versión de rack “expander”
- *Roland SBX-1*<sup>9</sup>: Una caja de sincronización que también funciona como conversor de MIDI a voltaje y ha servido como intérprete entre el ordenador y el sintetizador.
- *U-Phoria UM2*<sup>10</sup>: Tarjeta de sonido de la marca *Behringer* utilizada para convertir el sonido analógico del Kobol a muestras digitales.
- Ordenador Portátil
- Diversos cables Jack para patching

Modificando un programa en Python (se puede encontrar en el anexo I: [Código y recursos](#)) existente escrito por uno de los tutores de este TFG, Frederic Font, se ha obtenido un programa que permite automatizar las grabaciones de tal manera que tras elegir las notas y las formas de ondas que se quieren grabar el programa comienza a mandar señales MIDI a través de la Roland SBX-1 que convierte estas señales MIDI a voltaje y las pasa por cable Jack al sintetizador, de ahí la salida del sintetizador vuelve al ordenador pasando por una tarjeta de sonido que convierte la señal analógica a digital y se graba cada muestra de sonido. A continuación se explica este proceso detalladamente.

---

<sup>9</sup> <https://www.roland.com/global/products/sbx-1/>

<sup>10</sup> <https://www.behringer.com/product.html?modelCode=P0AVV>

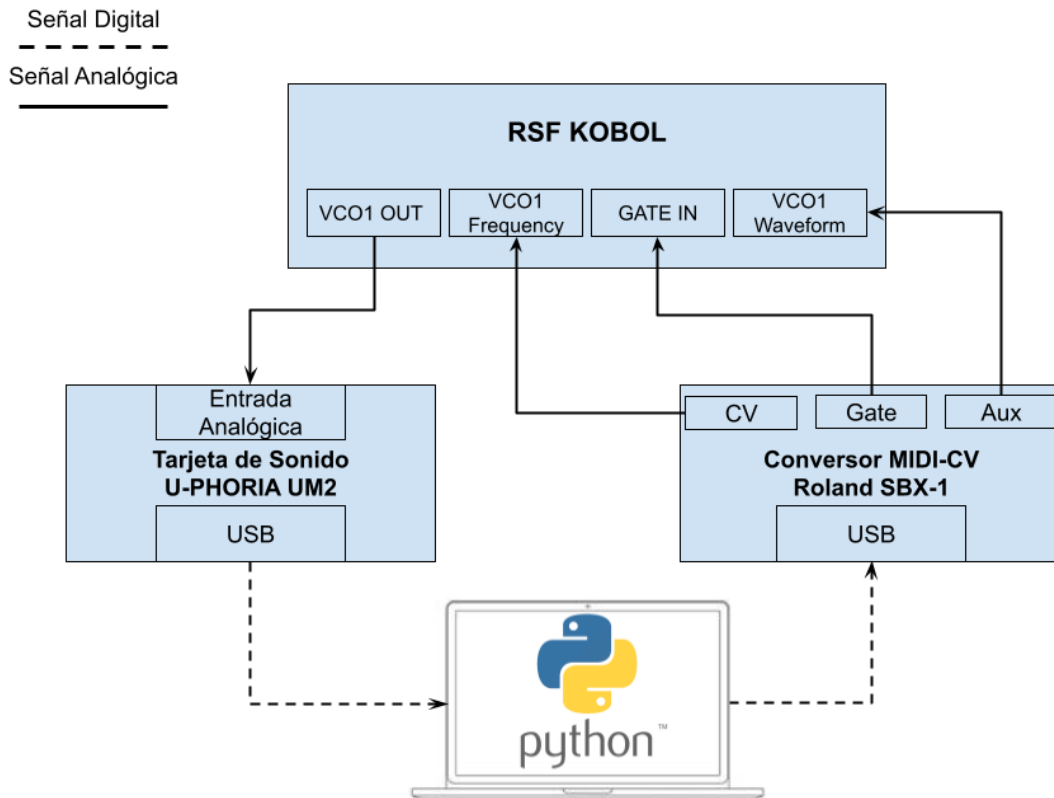


Figura 7: Diagrama de la configuración de la grabación.

El programa en Python es el centro de operaciones que se ocupa tanto de grabar como de enviar órdenes al Kobol, la primera parte se lleva a cabo utilizando las librerías *pydub*<sup>11</sup> y *pyaudio*<sup>12</sup> que comienza la escucha y grabación a través de la tarjeta de sonido tras medio segundo de grabación en silencio se envía un mensaje MIDI utilizando la librería *mido* hacia el conversor y por ende al sintetizador que devuelve el sonido que graba *pydub* durante un segundo y renombra siguiendo un formato predefinido con el nombre, la nota MIDI y la forma de onda de esa señal que se ha grabado. Este proceso sigue en bucle y se repite un total de 312 veces (26 formas de onda por nota, 3 notas por octava y 4 octavas). La elección del número de muestras tomadas se debe a un intento de equilibrar el tamaño y consumo de memoria del instrumento virtual con la obtención de una variedad suficiente de muestras que permita replicar el Kobol de forma fiel. Teniendo en cuenta la simplicidad de las muestras, con unas pocas notas se puede generar octavas completas en el instrumento gracias al remuestreo. En cambio, al no ser tan clara la conversión entre diferentes formas de onda, en este caso se decide tomar más muestras por cada valor de forma de onda del Kobol. Inicialmente no se pensaba que fueran a ser necesarias, ya que se pretendía generar el barrido entre formas de ondas a partir de las grabaciones de las ondas “primitivas” (Sierra, pulso, triangular y

<sup>11</sup> <https://github.com/jiaaro/pydub>

<sup>12</sup> <https://people.csail.mit.edu/hubert/pyaudio/>

cuadrada) pero finalmente fue necesario utilizarlas todas por razones que se explicarán en los siguientes capítulos.

El protocolo MIDI permite enviar información en 16 canales sobre diferentes atributos de un instrumento, pero analógicamente se necesita una señal (un cable) para cada cosa. Se utilizan tres señales de control por voltaje al sintetizador, ya que lo que se quiere capturar es el cambio en formas de onda del oscilador, estas tres señales de control que se envían son:

- CV: Esta señal corresponde a la nota o frecuencia que se quiere obtener, corresponde al número de la nota MIDI y en el conversor se convierte en voltaje a cuestión de 1 voltio por cada octava u 83 mv por semitono. Esta señal de control entra al RSF Kobol por la entrada de control de frecuencia del primer oscilador (VCO1 freq)
- Gate: Esta señal es la que indica si una nota/frecuencia está sonando o no, corresponde al MIDI NOTE ON/OFF y en el conversor se convierte en voltaje de tal manera que se envía continuamente un voltaje y se deja de enviar cuando suena una nota (esto se debe a que en el RSF Kobol que hemos utilizado siempre está activo el Gate).
- Forma de onda: Esta señal corresponde a la forma de onda del oscilador, en el Kobol este cambio es continuo y va de forma triangular a pulsos. En este caso se ha decidido que la forma de onda corresponda en MIDI al Canal 3 de Control Change y el conversor lo convierta a voltaje de tal manera que pase al Kobol por la entrada de control de forma de onda (VCO1 WAVEFORM)

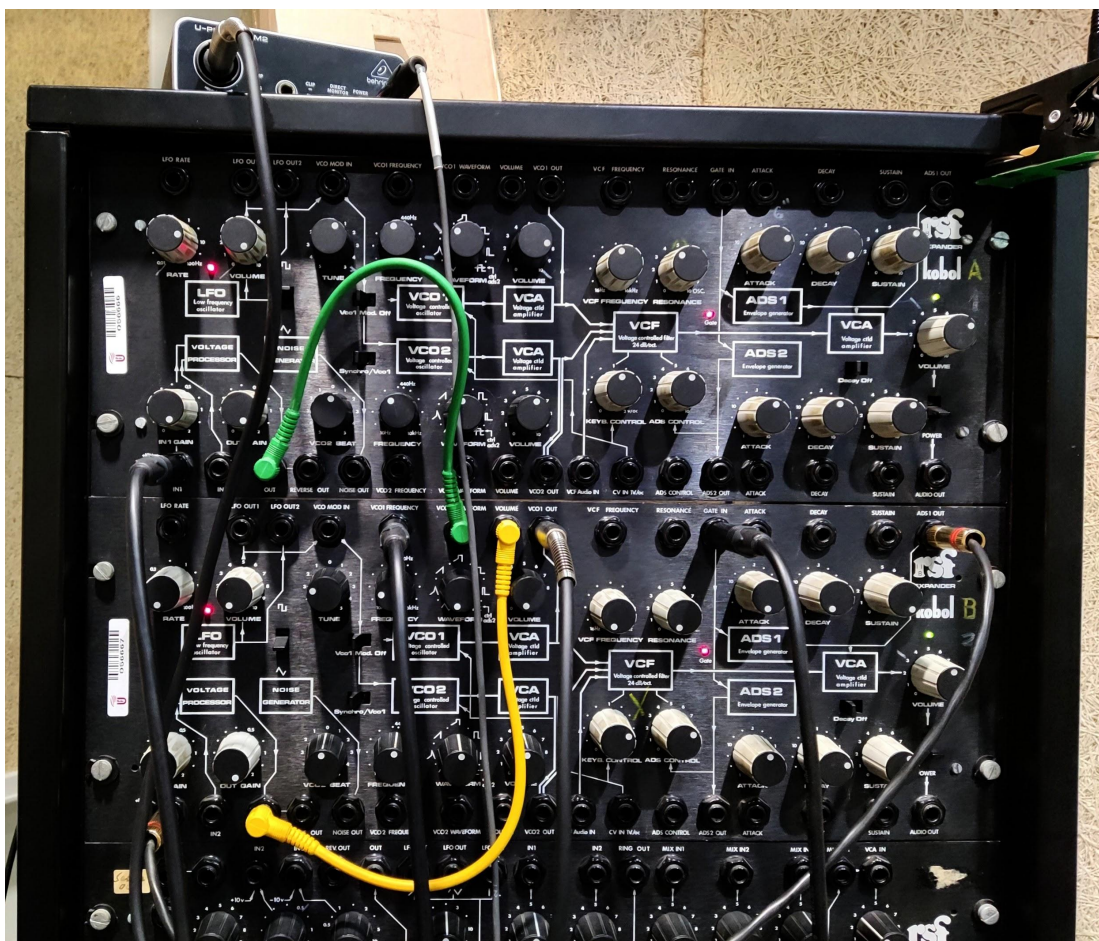


Figura 8: Cableado del RSF Kobol en el momento de la grabación

Al terminar la grabación y escuchar y visualizar las muestras tomadas destaca la presencia entre ellas de ondas extrañas y complejas, que no se parecen a las formas de onda que generan los sintetizadores comunes sino que son híbridos entre distintas formas de onda clásicas. Este particular modelado de las formas de onda del Kobol se tratará en capítulos posteriores, pero se pueden observar ejemplos en las figuras 16 y 22.

## 3.2 Procesado de las muestras originales

### a) Creación de los bucles

El paso siguiente, una vez se dispuso de todas las muestras de sonido, fue prepararlas para su utilización en Kontakt.

Se disponía de muestras de 2 segundos de duración, teniendo en cuenta la simplicidad de las formas de onda y su frecuencia, se podía reducir mucho la duración de las muestras, obteniendo así un mejor rendimiento de memoria del instrumento sin perder calidad en el sonido, incluso se podrían haber creado muestras que duraran

solamente un periodo de la señal. También debido a que el inicio y final de las grabaciones tenían etapas transitorias debidas a la envolvente del Kobol así como a la activación de la grabación y en este trabajo solo se quiere modelar el oscilador, se decidió recortar principio y final y quedarse con aproximadamente medio segundo de audio de la mitad de la señal grabada (aproximadamente debido a que dependiendo de los puntos de bucle que se explicarán posteriormente la duración aumentaba o disminuía un poco).

El siguiente paso es establecer los puntos en los que comenzará y terminará la reproducción del bucle, para así poder reproducir las muestras de sonido durante la duración deseada, estos puntos, llamados “loop points” o puntos de bucle, deben definirse de manera que la transición entre el final y el principio del bucle sea imperceptible, para esto también se aplica un fundido cruzado en los extremos de la muestra de sonido que aportan suavidad al cambio, pero aun así lo más importante es la elección de los puntos de bucle.

Para elegir estos puntos se creó un programa en Python, que analiza todas las muestras de sonido de medio segundo y detecta los puntos de bucle óptimos. Esto se hace de tal manera que se escoge un audio, se buscan todos los cruces por cero de la señal y se almacenan en una matriz, se establece el primer cruce como inicio del bucle y entonces comienza un proceso iterativo para encontrar el final óptimo. Esto se hace estableciendo una ventana de análisis centrada en el punto de cruce que se compara con una ventana de análisis centrada en el inicio del bucle, se obtiene la diferencia absoluta entre ambas ventanas y se almacena como punto de final de bucle óptimo, si esta diferencia es menor que cierto umbral preestablecido (se utilizó 0.5) se termina el análisis y se eligen ambos puntos como puntos de bucle, si no es menor que el umbral la búsqueda de un mejor cruce por cero continúa. Finalmente, se cortan todos los audios para que su inicio y final coincidan con los puntos de bucle.

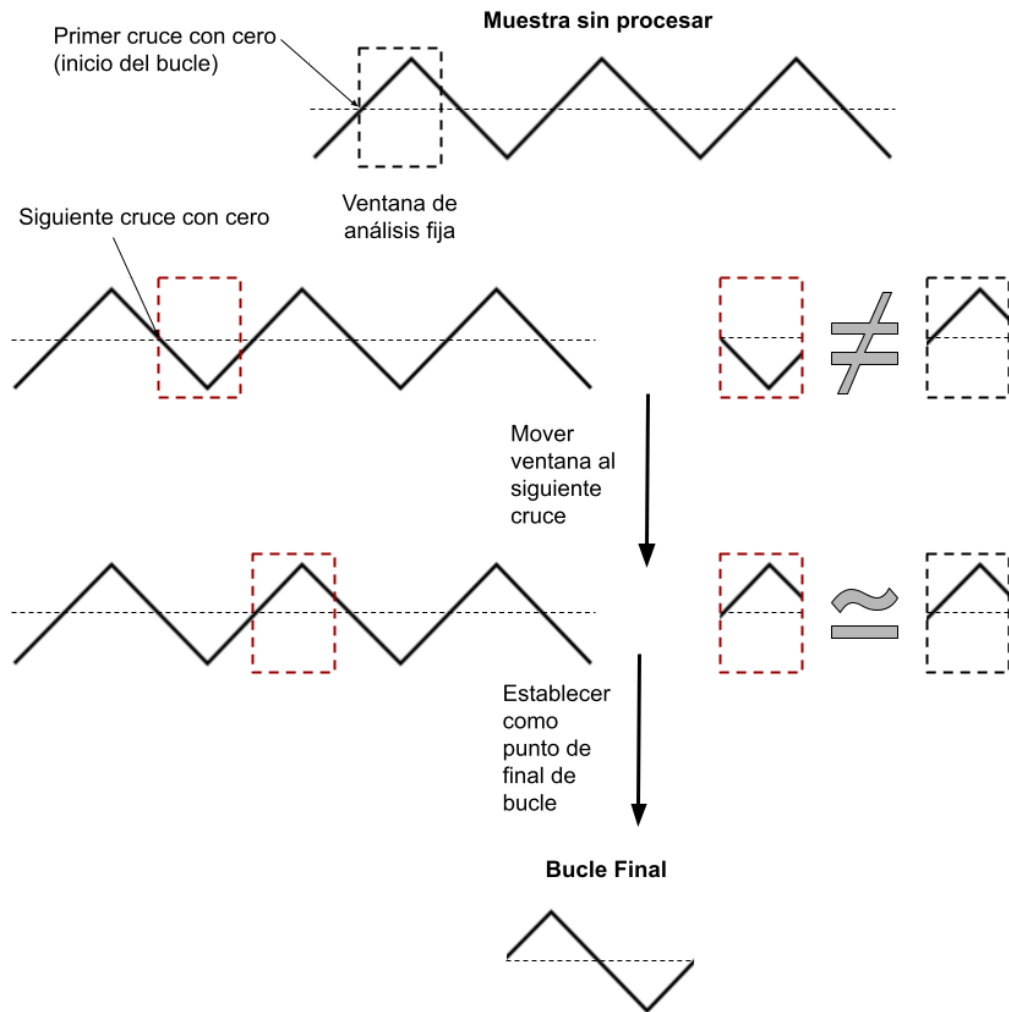


Figura 9: Esquema de la creación de bucles

Este algoritmo para obtener los puntos de bucle, aunque simple, es más que suficiente para los objetivos de este trabajo, aunque no sería posible utilizarlo para señales con formas de onda más complejas, ya que hace muchas suposiciones sobre la señal de entrada.





Figura 10: Bucle en el editor de Kontakt

### 3.3 Creación instrumento Kontakt

Una vez se dispone de todas las muestras grabadas es el momento de ensamblar la librería de Kontakt, para esto se han utilizado diferentes herramientas tanto externas como de la suite de Native Instruments:

#### a) Tecnologías Utilizadas

##### *Python*

Se ha utilizado *Python*<sup>13</sup> para analizar las muestras y obtener información sobre su frecuencia, así como para poder visualizarlas. También se ha utilizado para la búsqueda automática de los puntos de inicio y final de los bucles para la reproducción de las muestras.

##### *Creator tools*

Creator Tools es un conjunto de herramientas que facilitan la creación de instrumentos de Kontakt, permite generar proyectos que contienen las diferentes partes de un instrumento (p. ej.: interfaz gráfica, muestras de sonido...). Creator Tools se conecta con una instancia de Kontakt y permite observar el registro de errores de un instrumento, cambiar su interfaz gráfica y la parte más destacable de cara a este proyecto contiene su propio intérprete de Lua<sup>14</sup> para organizar la estructura de un instrumento Kontakt, lo cual permite crear programas que automaticen la carga de muestras al instrumento. (Zwar & Pappa, 2020)

<sup>13</sup> <https://www.python.org/>

<sup>14</sup> Lenguaje de programación de alto nivel: <https://www.lua.org/>

## **KSP**

El Kontakt Script Processor (KSP) es una herramienta que proporciona Kontakt para aumentar considerablemente la personalización de las librerías, ya que permite a través de programas en un lenguaje propio (Kontakt Script Language) modificar el flujo de la señal de audio y la reproducción de las muestras de sonido (Jeroma & Hanley, 2021). KSP es una parte intrínseca de la arquitectura de Kontakt de tal manera que el proceso desde que se presiona una nota hasta que se escucha un sonido sería así:

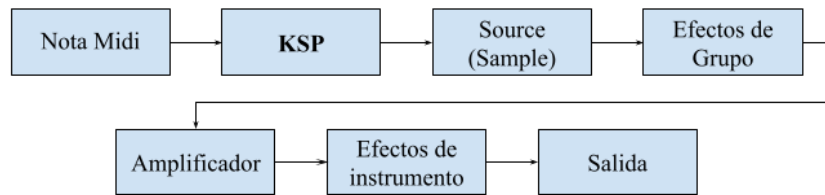


Figura 11: Diagrama de Entrada/Salida de Kontakt

### b) Estructuración de las muestras

El siguiente paso en la construcción del instrumento es la estructuración de las muestras ya procesadas para su utilización en la librería de Kontakt, para esto se utilizó la herramienta Creator Tools que fue creada específicamente para cumplir esta función tal y como se explica en el apartado [3.3.a](#).

La estructura de un instrumento de Kontakt sigue el siguiente esquema:

- Instrumento
  - Nombre
  - Grupos
    - Nombre
    - Volumen
    - Pan
    - Afinación
    - Zonas
      - Archivo
      - Volumen
      - Pan
      - Afinación
      - Nota raíz
      - Rango de Notas
        - Mínimo
        - Máximo
      - Rango de velocidad
        - Mínimo

- Máximo
- Inicio Muestra
- Final Muestra
- Bucles
  - Modo
  - Inicio
  - Duración
  - Fundido
  - Afinación

Un grupo o capa es un conjunto de zonas o muestras de sonido agrupadas para su manipulación en conjunto, en este proyecto se dispone de 26 grupos diferentes, uno para cada valor de forma de onda que se ha grabado.

A su vez estos grupos contienen múltiples zonas, una zona abarca cierto número de notas MIDI que activarán dicha zona al ser pulsadas. Cada zona se refiere a una sola muestra original, que será la que se posicione en la nota raíz y que será afinada en las otras notas MIDI que compongan la zona. En este proyecto se dispone de 4 zonas por grupo (aunque se grabaron más muestras, al final se decidió utilizar un menor número de ellas para consumir menos memoria de la máquina), una zona por cada muestra que se utilizará, y cada zona abarca una octava completa. A su vez, las zonas tienen ciertos valores asignados que corresponden al inicio y final de los bucles que se reproducirán a partir del archivo de la muestra, tal y como se explica en el apartado [4.2.a](#).

El modo de edición de Kontakt permite introducir manualmente todas las zonas y grupos para construir un instrumento, pero al tratarse este de un instrumento más complejo es necesario utilizar Creator Tools para definir la estructura. La generación de la estructura en Creator Tools se hace a partir de un programa escrito en Lua (se puede encontrar en el Anexo: [Código y recursos](#)) en el que se define como deben ser organizadas las muestras de sonido, el proceso que se siguió para escribir el programa es el siguiente.

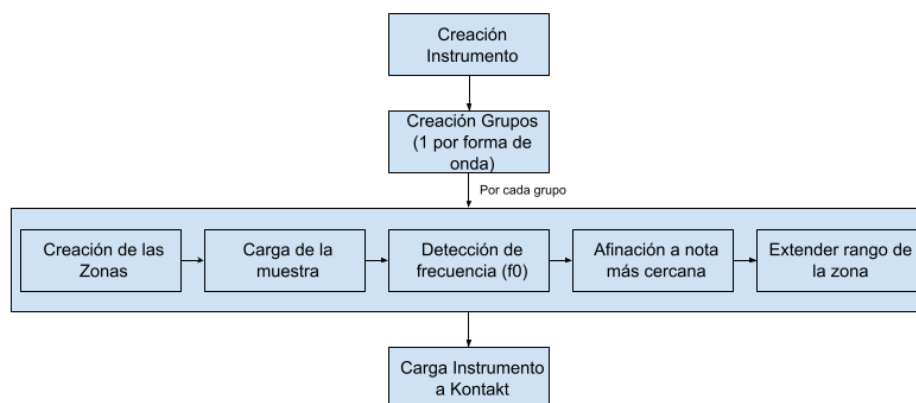


Figura 12: Diagrama del funcionamiento del script en LUA

El primer paso para generar la estructura es crear el instrumento y los 26 grupos que representan las diferentes formas de ondas que han sido grabadas, posteriormente se cargan todas las muestras previamente procesadas y comienza el proceso de creación de zonas.

Se van recorriendo los grupos uno a uno y se crean 4 zonas vacías para cada grupo (una por octava). En cada una de estas zonas, se carga la muestra correspondiente y primeramente se detecta su frecuencia fundamental utilizando una función de la librería de Creator Tools esto se hace porque aunque las muestras están etiquetadas por frecuencia existe cierta inconsistencia frecuencial entre muestras, esto se explica en el apartado [4.1.a](#). Una vez se obtiene la frecuencia fundamental, se calcula la nota MIDI más cercana y se almacena la diferencia en la estructura como valor de afinación de la zona (valor que luego Kontakt interpretará para afinar la zona y que coincida con la frecuencia de la nota MIDI).

Ahora se establecen los puntos de inicio y final del bucle así como el modo, gracias al preprocesamiento llevado a cabo en el apartado [3.2.a](#), los puntos de inicio y final de los bucles son el propio inicio y final de la muestra, y el modo de bucle es continuo, ya que se quiere poder reproducir la muestra de sonido durante todo el tiempo que haga falta.

El siguiente paso es asignar el rango de notas de la zona, es decir, todas las notas MIDI que van a reproducir la misma muestra pero reafinada. Las muestras están separadas por una octava, por tanto, hay que rellenar este espacio entre muestras, así que en Lua se calcula la distancia entre las muestras y se establece el rango de la zona consecuentemente.

Ahora solamente queda ejecutar el programa en Creator Tools y sincronizar con Kontakt para cargar la estructura al instrumento, llegados a este punto, ya se pueden reproducir las muestras tocando notas MIDI, pero todos los grupos suenan a la vez.

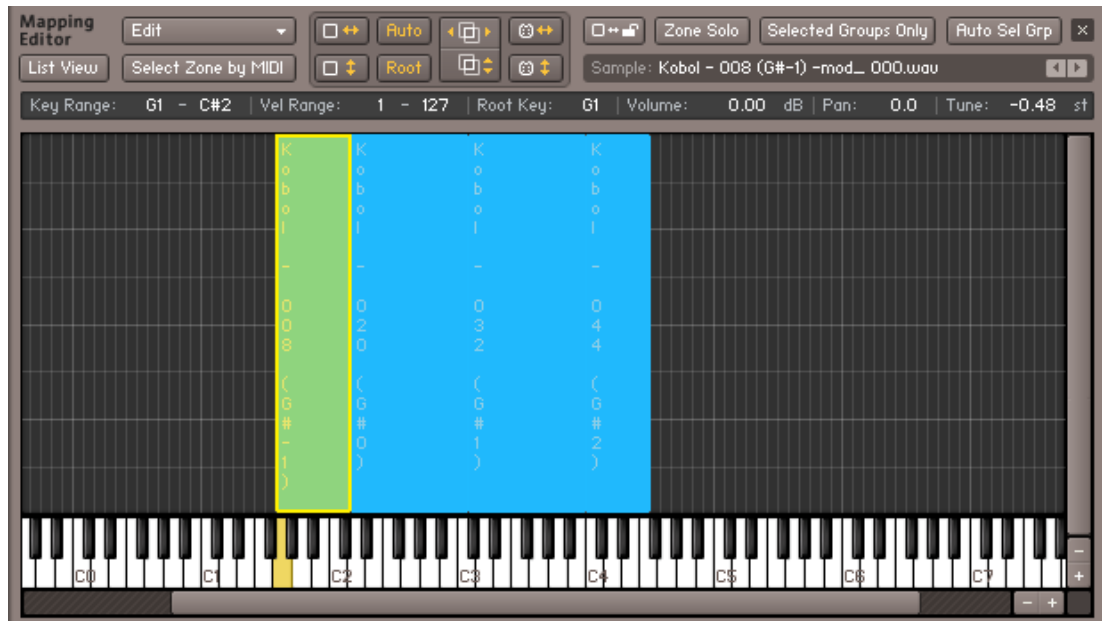


Figura 13: Editor de zonas en Kontakt

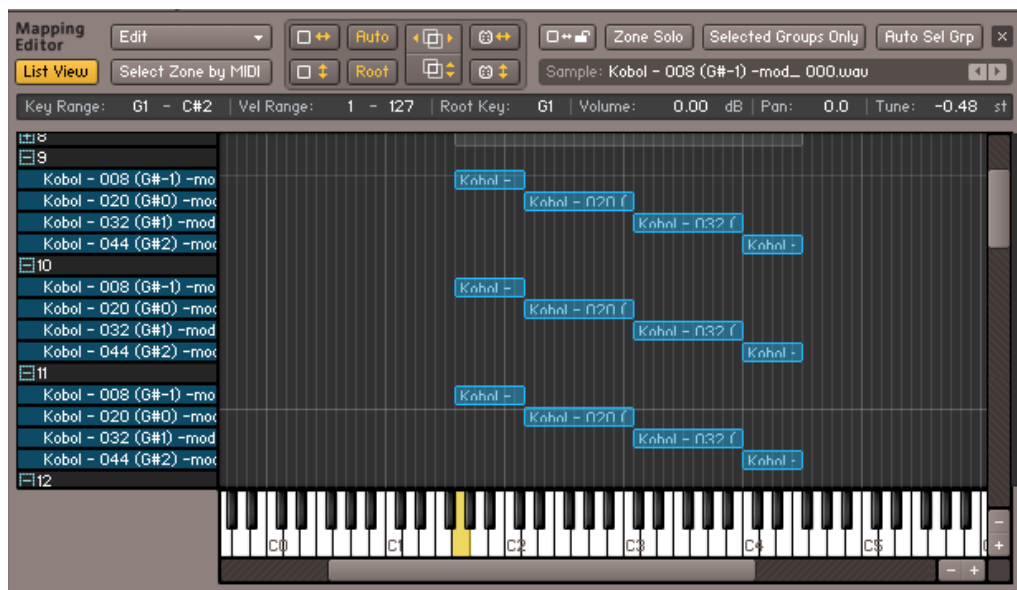


Figura 14: Editor de Grupos en Kontakt, zonas de 3 grupos diferentes

### c) Fundido cruzado entre grupos

Ya que lo que se quiere conseguir es replicar la capacidad del Kobol de hacer un barrido continuo sobre las diferentes formas de ondas, hay que indicar a Kontakt cómo se deben reproducir los distintos grupos que contienen las muestras de diferente forma de onda. Para esto se ha decidido utilizar el modulador de volumen que provee Kontakt

en el editor de instrumentos y que permite crear una tabla de modulación personalizada para cada grupo. De tal manera que utilizando los 127 valores del MIDI CC (Control Change) 1 se puede hacer un barrido completo por todos los grupos definiendo curvas de modulación cruzadas entre ellos. De esta manera, todos los grupos se reproducen a la vez, pero la modulación de volumen se ocupa de que conforme cambie el valor de MIDI CC 1 el volumen de un grupo baje y el de otro suba de manera proporcional para que ambas ondas se sumen dando lugar a una onda interpolada entre ambas.



Figura 15: Editor de modulación de volumen en Kontakt, curva del grupo 3.

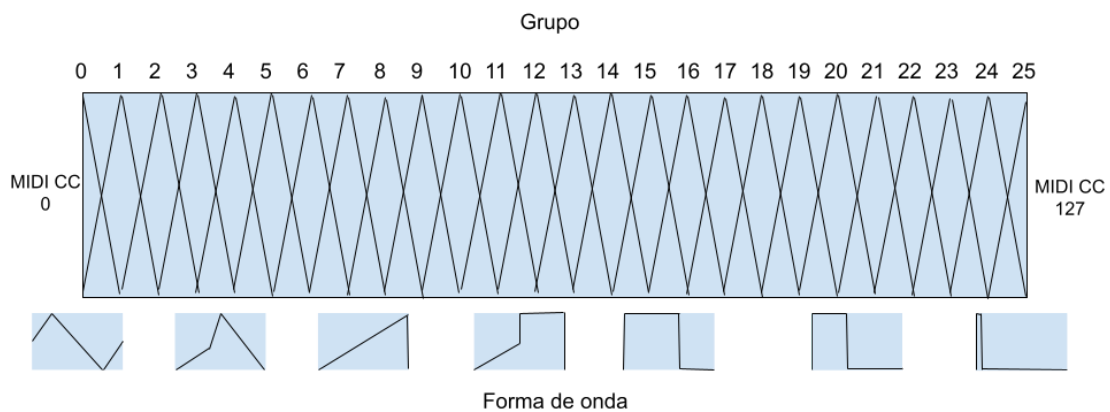


Figura 16: Esquema del fundido cruzado entre grupos

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Problemas afrontados

#### a) Disparidad frecuencial en las muestras

Una vez grabadas todas las muestras y tras ser todas escuchadas para analizarlas era claro que había algún tipo de problema, ya que las frecuencias grabadas no coincidían con las frecuencias esperadas para el voltaje que se había proporcionado al Kobol. Inicialmente se partió de 3 hipótesis que podían explicar esta diferencia de frecuencias:

- Un error en el voltaje que recibe el Kobol (espera 1V por octava)
- La presencia de una modulación lenta proveniente del LFO que generara cambios de frecuencia a largo plazo
- La posibilidad de que existieran variaciones debidas a fluctuaciones eléctricas en los componentes electrónicos del propio Kobol, muy comunes en los sintetizadores analógicos de esa época.

Tras comprobar que el conversor de MIDI a CV SBX-1 efectivamente proporcionaba 1 V por octava, que es precisamente lo que el RSF Kobol espera como entrada para controlar su frecuencia y teniendo en cuenta que la configuración de todos los componentes que participaban en la grabación era correcta y tras revisarla reiteradamente se decidió hacer un análisis exhaustivo de las frecuencias obtenidas.

Tal y como se explica antes se han grabado 3 notas por octava para 5 octavas, por lo que hay una separación de 4 semitonos entre muestra y muestra, para simplificar el análisis solo se han detectado las frecuencias de las muestras con forma de onda triangular, podemos observar en la figura 17 como la variación entre frecuencia esperada y frecuencia obtenida no sigue ningún tipo de relación lineal.

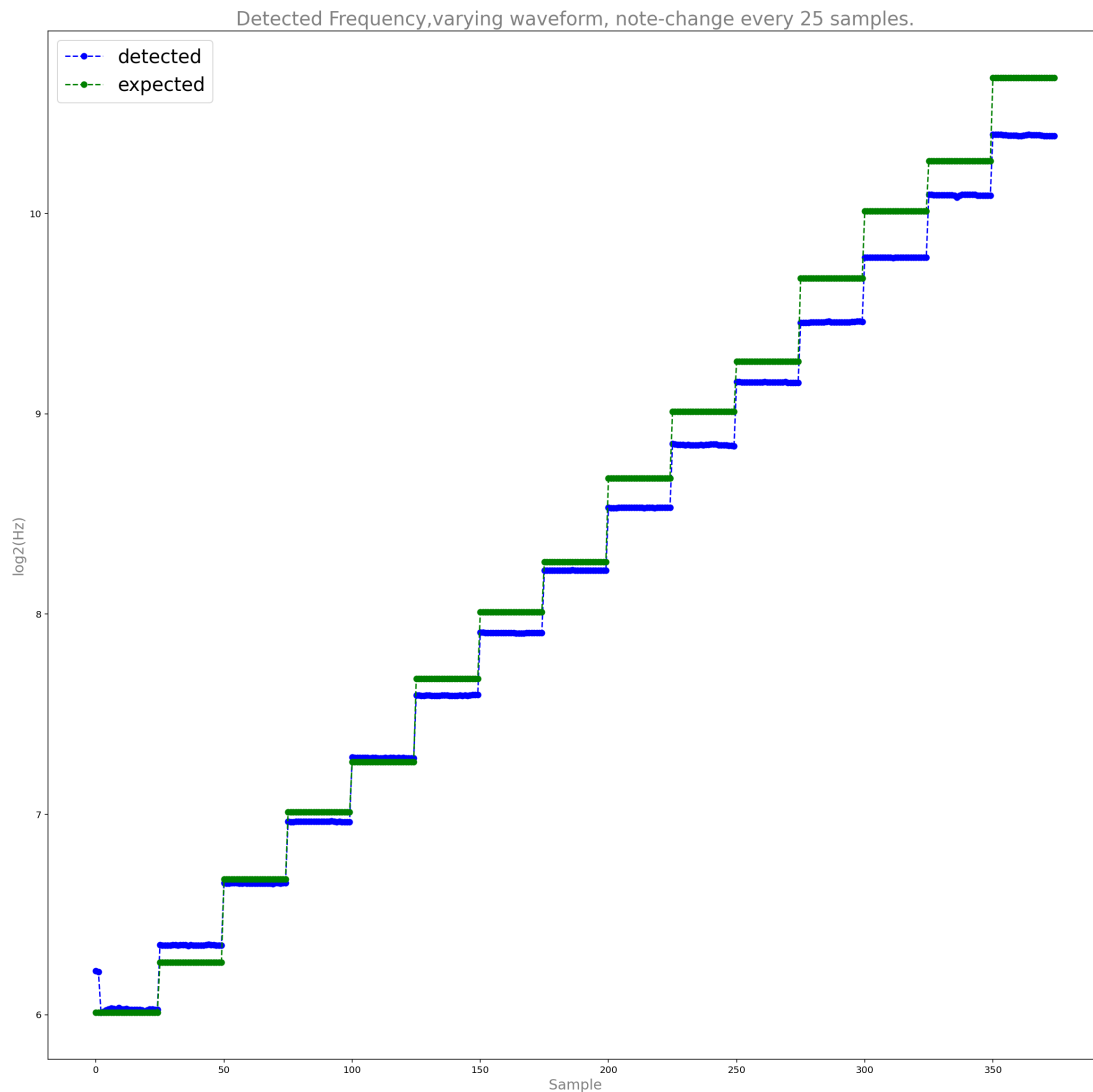


Figura 17: Gráfico de la frecuencia detectada/esperada de las muestras (escala logarítmica)

A partir de este gráfico podemos descartar la segunda hipótesis, ya que si la fluctuación en frecuencias se debiera a una modulación lenta inadvertida, las diferencias entre frecuencias detectadas y esperadas seguirían un patrón, además de que la frecuencia en una misma nota cambiaría también aunque fuera levemente, y se puede observar en el gráfico que la frecuencia para una misma nota MIDI se mantiene considerablemente estable, en cambio, el error entre la nota detectada y la esperada no sigue ningún tipo de patrón reconocible.

Tras este análisis se decide achacar la diferencia impredecible de frecuencias a fluctuaciones en el funcionamiento interno del propio sintetizador que quedan fuera del ámbito de este proyecto, por lo que se cierra el análisis y se decide utilizar esas mismas



muestras como fuente para el instrumento virtual, partiendo de que el conocimiento del que se dispone ahora sobre las frecuencias obtenidas se podrá utilizar para mapear correctamente cada nota a su frecuencia y a partir de ahí construir la librería de Kontakt.

## b) Diferencia de fase entre bucles

El enfoque inicial para la creación de los bucles explicado en el apartado [3.2.a](#) fue posteriormente mejorado, ya que aunque conseguía bucles con transición imperceptible, apareció el problema de que entre las diferentes muestras de sonido había una diferencia de fase de los bucles. Teniendo en cuenta que se tenía la intención de hacer un fundido cruzado entre muestras, lo ideal era que todos los bucles estuvieran en fase, por lo que al proceso de obtención de puntos de bucle se añadió un nuevo primer paso: comprobar que las muestras digitales posteriores al cruce por cero elegido como inicio del bucle fueran mayores que cero, es decir, que la señal fuera creciente después del cruce por cero, si la condición no se cumple se elige el siguiente cruce por cero como inicio del bucle. De esta forma se consigue que los bucles de las muestras con diferente forma de onda estén en fase, aunque este método es válido solo para formas de onda simples como las que se están utilizando en este trabajo ya que sería insuficiente para formas de onda más complejas.

## 4.2 Evaluación de resultados

Partiendo del instrumento final en Kontakt se han realizado diversas grabaciones en el Kobol original que luego se han repetido usando la librería de Kontakt. Se han utilizado estas grabaciones para hacer una evaluación tanto subjetiva como numérica de la calidad final del instrumento virtual, así como de su similitud con el instrumento analógico. Estas grabaciones se han subido a *Freesound*<sup>15</sup> (Una base de datos colaborativa de fragmentos de audio creada por el *MTG*<sup>16</sup>) en forma de dos paquetes, uno de ellos contiene las grabaciones utilizadas para la evaluación del instrumento que se utilizarán a lo largo de este capítulo y el otro contiene pequeños fragmentos con demostraciones de los diferentes sonidos que se pueden generar con el instrumento virtual. Tanto la librería como los links a las grabaciones se pueden encontrar en el anexo I: [Código y recursos](#)

### a) Bucles

Primeramente se quiere valorar la calidad de los bucles, para esto se ha hecho una grabación de 10 segundos de una nota en Kontakt para diferentes formas de onda. Escuchando las grabaciones, los cambios entre bucles son imperceptibles y la señal parece continua durante los 10 segundos sin los característicos “clicks” que sonarían si los bucles fueran incorrectos. Conociendo la duración de un bucle completo (1 segundo) se han buscado los puntos en los que termina el bucle y comienza de nuevo, para poder

---

<sup>15</sup> <https://freesound.org/>

<sup>16</sup> <https://www.upf.edu/web/mtg>

visualizar este cambio. Como se puede observar en la figura 18, la concatenación de formas de onda es perfecta.

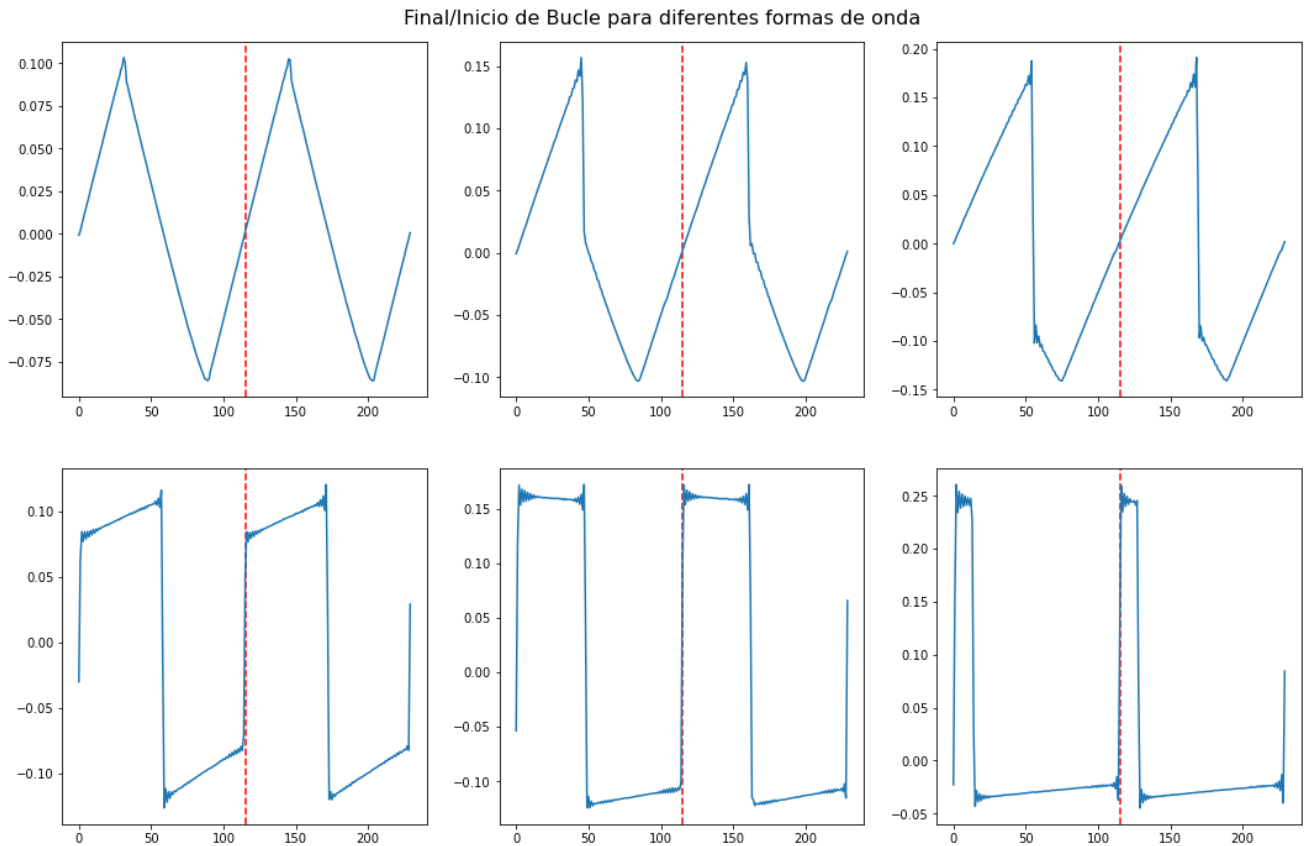


Figura 18: Gráfico cambios de Bucle

El siguiente paso es comparar la similitud con el instrumento original, dado que los cambios son imperceptibles, se espera una similitud muy alta. Haciendo una escucha de ambas grabaciones (Kobol y Kontakt) ambas son perceptualmente iguales. Para poder obtener una medida numérica de esta similitud (que se utilizará también en los resultados de apartados posteriores) se ha decidido utilizar la similitud coseno entre los coeficientes cepstrales en frecuencias de mel (a partir de ahora *MFCC*). Los MFCC son el estándar actual para la caracterización perceptual de audio (Jensen et al., 2006) principalmente utilizados para la representación del habla, pero que también pueden ser muy útiles para esta tarea. La similitud coseno es una medida de similitud entre secuencias ampliamente utilizada para la comparación de estas características. Más información sobre estos conceptos se puede encontrar en el anexo II: [\*MFCC y similitud coseno\*](#)

En la figura 19 se puede observar que la similitud entre la nota sostenida en el Kobol y en Kontakt se mantiene en prácticamente 1 a lo largo de los 10 segundos de audio. Una similitud coseno media de 0.97 que concuerda con el análisis subjetivo, los audios son prácticamente iguales y las pequeñas variaciones se deben probablemente a

otros factores como al proceso grabación del Kobol o la exportación del audio en Kontakt.

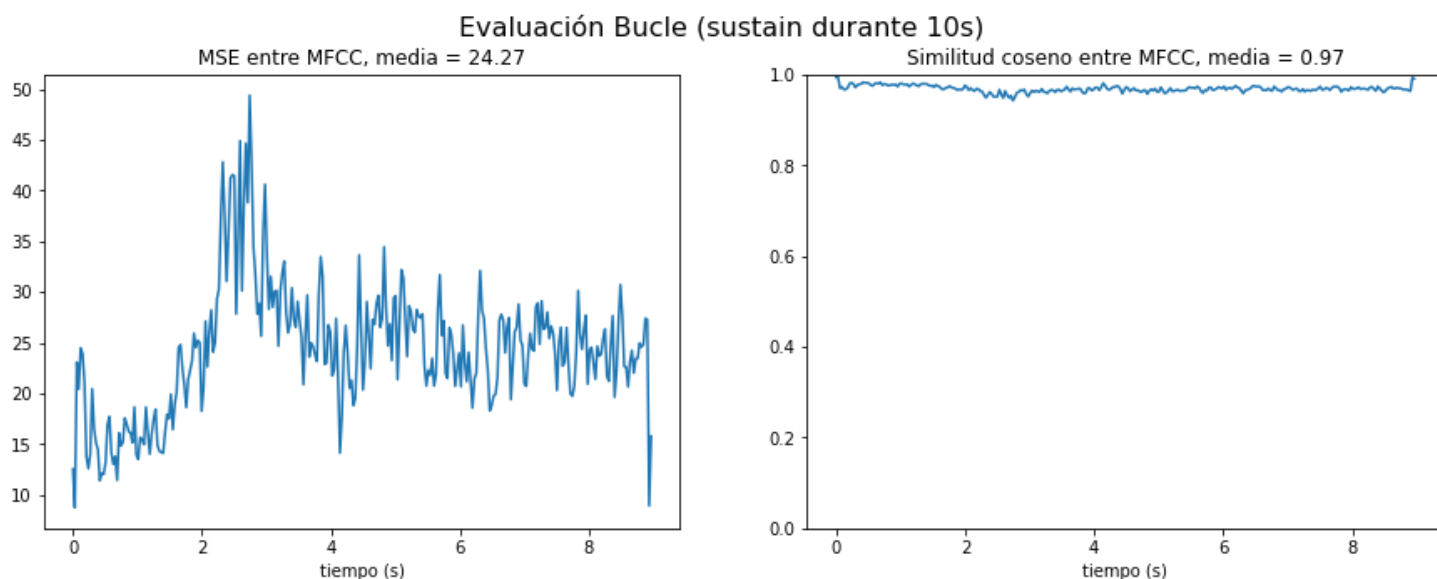


Figura 19: Gráfico evaluación similitud Bucle

## b) Frecuencias

A continuación se realizan grabaciones del Kobol de una octava completa con una duración de cada nota de un segundo, y se procede a hacer lo mismo con el instrumento de Kontakt. Escuchando las grabaciones los instrumentos son indistinguibles, pero exceptuando la primera nota se puede observar una diferencia en la frecuencia fundamental de ambas grabaciones, esta diferencia se debe a las inconsistencias frecuenciales del Kobol explicadas en el apartado [4.1.a](#). En cambio, el resampling que realiza Kontakt a la muestra (dado que la octava completa proviene de la misma muestra) es correcto, ya que al analizar la frecuencia fundamental de cada una de las notas coinciden con las esperadas para una octava completa.

Posteriormente se realiza el mismo análisis explicado en el apartado anterior para obtener una medición numérica de la similitud. Lo primero que se observan son picos que denotan diferencia entre los dos audios, estos picos corresponden a los cambios de nota y la diferencia se debe al ataque al tocar una nota. Lo siguiente que se observa es que la similitud media es de 0.88, teniendo en cuenta estas disparidades frecuenciales introducidas por el Kobol es razonable esta diferencia de 0.11 con la evaluación del audio de una sola nota sostenida, ya que como se puede observar en la figura 20, la primera nota correspondiente a CV=0 V sí que coincide con la frecuencia esperada, pero posteriormente la frecuencia fundamental comienza a variar inexplicablemente (se puede observar como durante el primer segundo, la similitud es aproximadamente 1). Por tanto, se puede afirmar que la similitud perceptual entre instrumento analógico y virtual sigue siendo buena y el valor más bajo de similitud

coseno se debe a la disparidad frecuencial introducida por el control por voltaje y a el ataque de las notas.

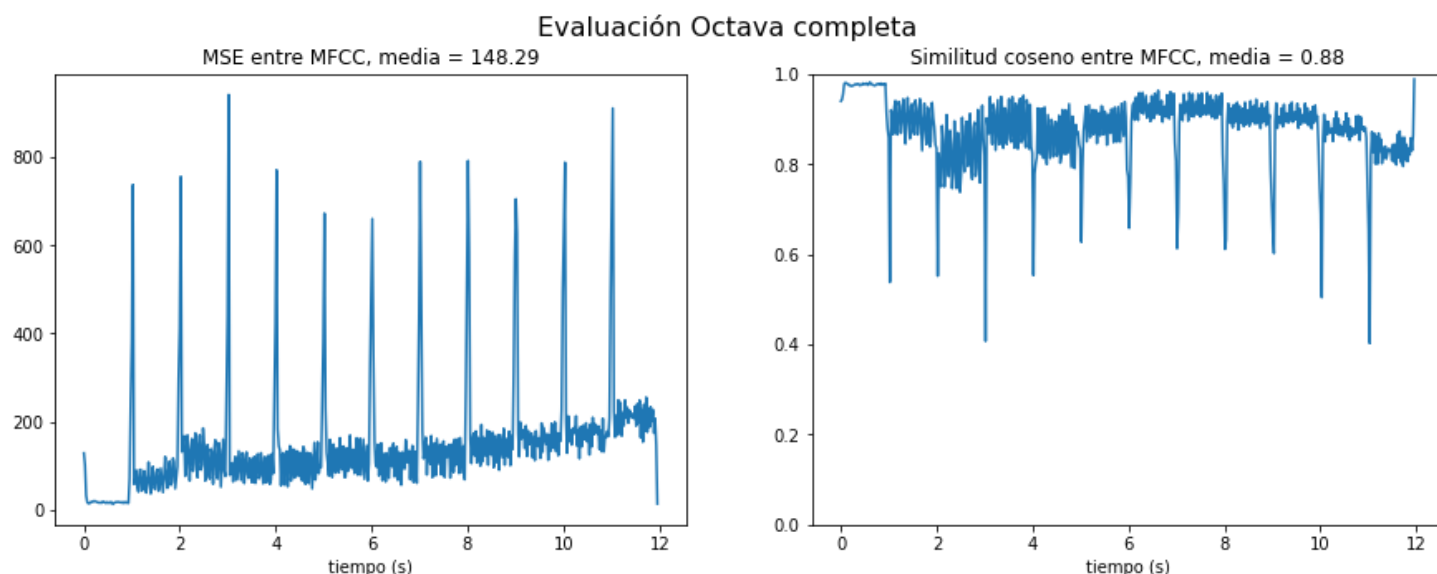


Figura 20: Gráfico evaluación similitud barrido frecuencias

### c) Cambio de forma de onda

Para finalizar el análisis de resultado se decide evaluar la similitud entre instrumentos al hacer un barrido sobre las diferentes formas de onda. Para esto primero se hace una grabación en el Kobol de un Do central y se hace un barrido progresivo sobre todas las formas de onda a través del control por voltaje. Se hace lo mismo en el instrumento de Kontakt. En este caso, al escuchar los audios, al contrario que en los apartados anteriores, sí que se pueden diferenciar claramente las dos grabaciones, en general son similares, pero esta similitud va variando y hay formas de onda que se escuchan completamente iguales, mientras que hay otras que difieren considerablemente.

Se procede a hacer el análisis de similitud perceptual explicado en el apartado [4.2.a](#) y se obtienen unos resultados bajos, acordes con el análisis auditivo. Se obtiene una similitud coseno media de 0.65, pero se puede observar como esta similitud varía mucho a lo largo de las grabaciones. A lo largo de toda la grabación se observan picos que llegan a valores de similitud muy cercanos a 1, esto se debe a los valores MIDI para los que el fundido cruzado no entra en juego y se reproducen las muestras de sonido puras, por lo tanto, muy similares al Kobol real como se puede ver en los anteriores apartados. En el resto de la grabación se está llevando a cabo en Kontakt el fundido cruzado explicado en el apartado [3.3.c](#) y se puede observar claramente en la gráfica de similitud que el funcionamiento del fundido cruzado para dar continuidad a los cambios en forma de onda no es óptimo. Una comparación entre las formas de onda del Kobol original y del instrumento de Kontakt se puede encontrar en el anexo I: [Código y recursos](#). En el vídeo se puede observar como durante gran parte de la grabación hay

una buena similitud entre formas de ondas, pero los pasos intermedios generados por Kontakt distan mucho de los de la grabación en el Kobol.

#### Evaluación barrido forma de onda

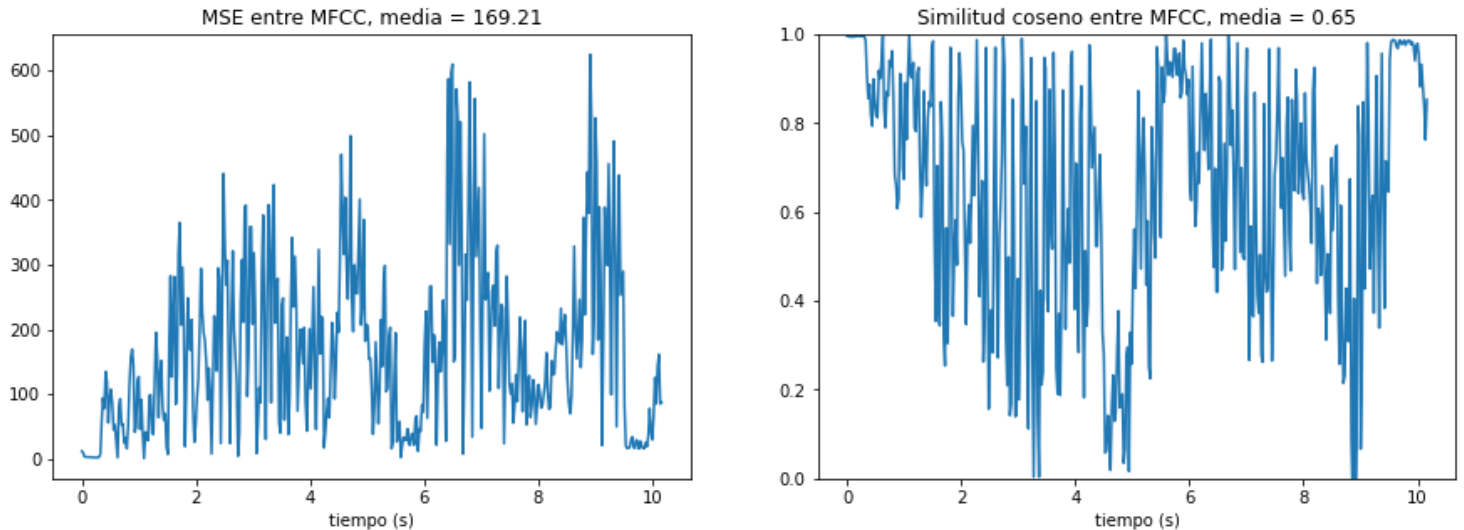


Figura 21: Gráfico evaluación similitud barrido forma de onda

Los resultados de la similitud son muy variados según avanza el barrido sobre las formas de onda y esto se debe a que en el Kobol original los pasos intermedios entre las formas de ondas no se llevan a cabo haciendo un fundido cruzado entre formas de ondas “primitivas” sino que todas las formas de onda se generan manipulando de diferente forma una onda de sierra tal y como se puede observar en el esquema del circuito<sup>17</sup>. Tras consultar uno de los supervisores de este trabajo con un experto sobre el circuito su conclusión fue la siguiente:

*“ Lo del oscilador del Kobol y cómo genera la forma de onda en realidad es un único oscilador que partiendo de su forma de onda de sierra genera un circuito de triangular variable y cuadrada variable. Es muy ingenioso, es un circuito que balancea ambas formas de onda a la vez que ellas mismas van cambiando en función del voltaje de entrada, la de sierra cambia a triangular y luego la triangular se mezcla con la cuadrada mientras que a su vez esa cuadrada va cambiando su ancho de pulso.”<sup>18</sup>*

Un análisis exhaustivo de este circuito de formado de onda y una caracterización más profunda del oscilador queda pendiente como trabajo futuro. También sería interesante la posibilidad de realizar las mismas grabaciones con otras unidades del Kobol para identificar posibles variaciones. En la figura 22 podemos observar diferentes formas de onda intermedias generadas por el Kobol así como las

<sup>17</sup><http://www.deliandiver.com/designs/kobol-wave-morpher-section/schematics/15>

<sup>18</sup>Toni Gutiérrez, fabricante de sintetizadores Antonus (comunicación personal con un supervisor)

generadas por Kontakt gracias al fundido cruzado, aunque la comparación completa se encuentra en el vídeo referenciado en el párrafo anterior.

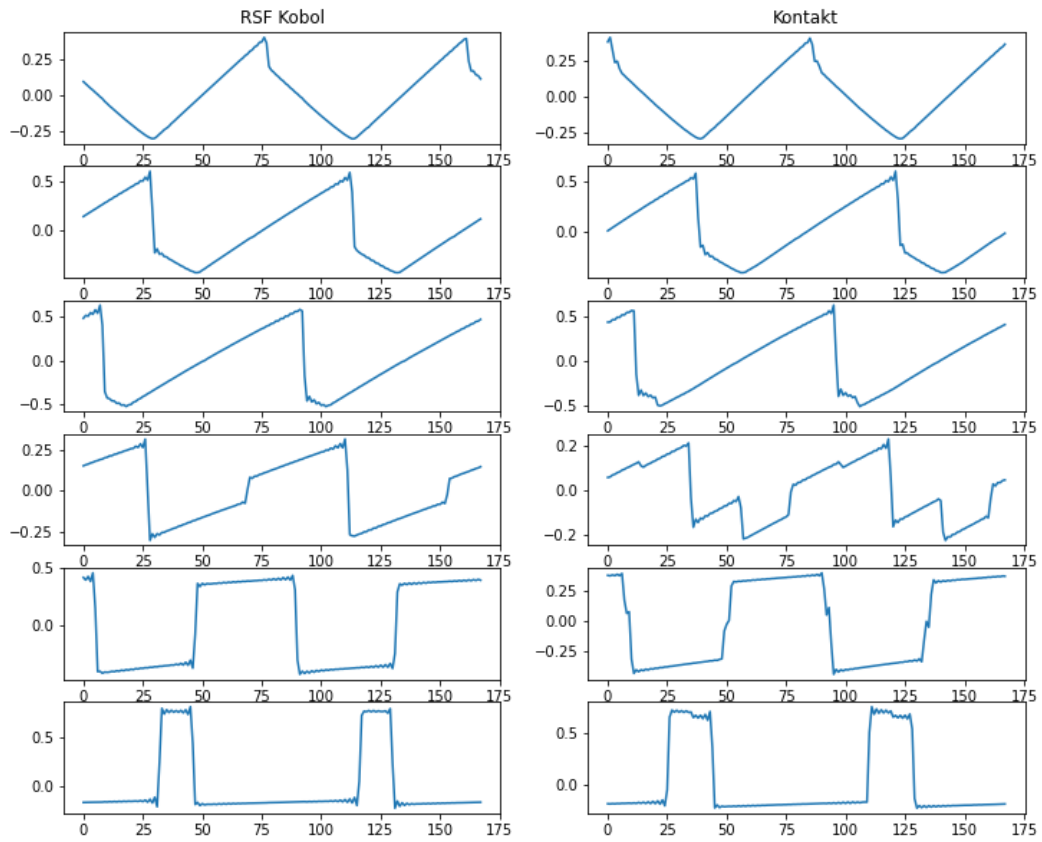


Figura 22: Comparación formas de onda



Para intentar analizar con más profundidad estas diferencias se ha comparado visualmente el espectrograma de ambos barridos sobre las formas de onda, esta comparación se puede observar en la figura 23.

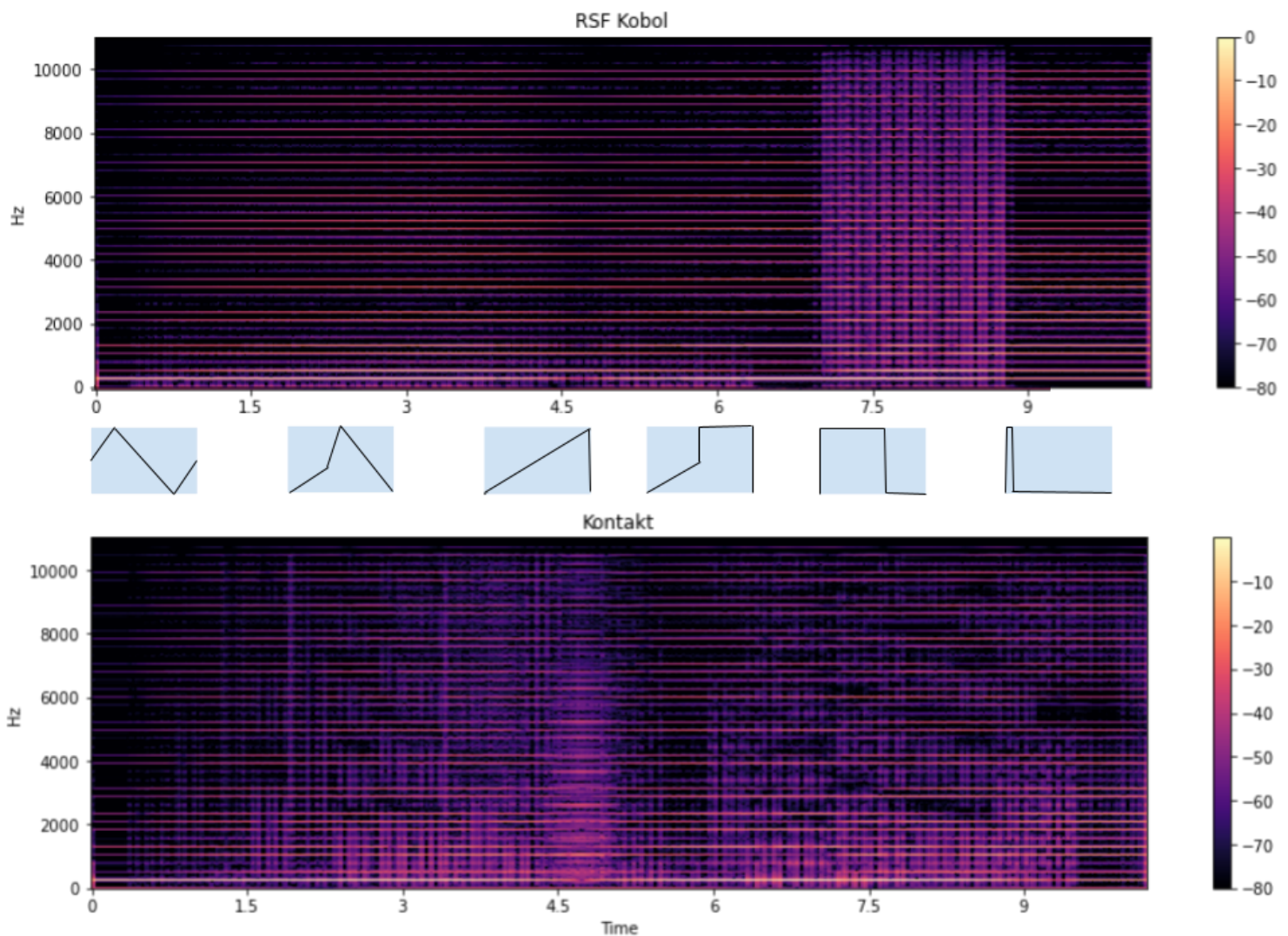


Figura 23: Comparación del espectrograma de los barridos de forma de onda.

En el gráfico se pueden observar claras diferencias entre ambos espectrogramas a simple vista. Durante el primer segundo los espectros son muy similares, hay poca presencia de armónicos y los que están presentes decaen en energía conforme su frecuencia es mayor, como se puede esperar de una onda triangular. Cuando la onda comienza a transformarse en diente de sierra, entre los segundos 1.5 y 3.5, en el Kobol comienzan a aparecer poco a poco nuevos armónicos ya que la pendiente de la caída de la onda va siendo cada vez mayor hasta convertirse completamente. Mientras tanto en la grabación de Kontakt aparecen muchos más armónicos a lo largo de todo el espectro de frecuencia, debido a que el fundido cruzado genera picos en la forma de onda. Entre la onda de diente de sierra y la cuadrada hay un periodo en el que la señal se convierte en una doble diente de sierra (entre los segundos 3.5 y 4.5) y seguidamente tiene lugar una

inversión de fase de una de estas formas de diente de sierra que es lo que provoca poco a poco la transformación a onda cuadrada. A partir de ahí, en el Kobol, los armónicos ya presentes aumentan su energía conforme la onda va convirtiéndose en cuadrada y por tanto la onda crece y decae con más pendiente cada vez, mientras tanto en la grabación de Kontakt siguen estando presentes muchos más armónicos distribuidos por todo el espectro, causados por la suma entre formas de onda. A partir del segundo 7 la onda cuadrada empieza su transformación a pulso, su ancho disminuye al mismo tiempo que poco a poco la onda deja de estar centrada en cero hasta ser estrictamente positiva, este proceso va añadiendo poco a poco armónicos que se pueden ver y escuchar muy claramente. En la grabación de Kontakt esta aparición de armónicos es caótica y aparecen y desaparecen de manera errática, esto se debe tanto a los picos que genera la suma de ondas cuadradas/pulsos de diferente amplitud así como a una pequeña diferencia de fase presente en algunos de los pulsos que se suman para generar las formas intermedias.

#### d) Consumo de recursos

Otro apartado importante a analizar es el consumo de recursos del instrumento virtual, ya que un consumo de recursos excesivo puede ralentizar el funcionamiento del instrumento virtual. En el caso de los samplers el aspecto más importante es la utilización de memoria, puesto que tienen que cargar todas las muestras de sonido a la memoria RAM. Como podemos ver en la figura 23, el consumo de memoria del instrumento es mínimo, así como su utilización de CPU, esto es razonable dado que las muestras son cortas y hay muy poco procesado durante la reproducción (solamente se modula el volumen de las muestras).

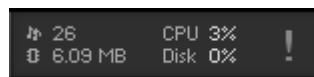


Figura 24: Consumo de recursos del instrumento de Kontakt



## **5. CONCLUSIONES**

### **5.1 Conclusiones personales**

Partiendo de los objetivos iniciales de este trabajo se podría decir que se ha completado gran parte de ellos con éxito, pero hay otra parte considerable para la que los resultados no han sido los esperados. Se ha conseguido obtener un banco de muestras de sonido del Kobol de buena calidad a pesar de las dificultades iniciales, también se ha conseguido que se puedan reproducir notas individuales en el instrumento virtual con una gran similitud con el Kobol original, pudiendo considerar como un éxito la grabación, el análisis y procesado de las muestras así como la creación de los bucles y parte de la construcción del instrumento de Kontakt. La otra parte del proyecto, centrada en poder emular el barrido continuo sobre las formas de onda del Kobol no ha tenido los resultados esperados, principalmente por un error inicial de concepto, ya que el fundido cruzado entre muestras de sonido no es la forma de correcta de emular este cambio, aunque sí ha servido para poder variar la forma de onda en el instrumento de una manera un poco más continua, aunque si se hacen barridos muy lentos se pueden notar los cambios.

Dejando de lado la evaluación de la similitud con el Kobol, un objetivo que sí se ha conseguido es la creación de un instrumento funcional partiendo de unas pocas muestras de sonido. Un instrumento virtual, de fácil uso y con una utilización de recursos mínima, que aún no siendo perfecto y teniendo cierta inestabilidad en su funcionamiento, permite generar diferentes sonidos y utilizarlos para la creación musical. Además, como punto positivo y diferenciador con el Kobol original, el instrumento creado es polifónico ya que al reproducirse las muestras desde Kontakt, permite que varias voces suenen al mismo tiempo.

Finalmente, valorar el aprendizaje obtenido a lo largo de este proyecto, que me ha permitido aplicar conocimientos de los que disponía (cómo el procesado y análisis de audio o la programación en Python) a áreas con las que no tenía familiaridad como son la creación de instrumentos y la manipulación de sintetizadores analógicos.

### **5.2 Mejoras y trabajo futuro**

El espacio para la mejora del instrumento actual es amplio, la mejora más importante sería caracterizar de una manera más exhaustiva el proceso de interpolación entre formas de onda que lleva a cabo el sintetizador, para poder aplicarlo en el instrumento virtual y tener una representación más fiel. Sería interesante también hacer un análisis espectral del cambio de formas de onda en el Kobol original por si esto pudiera aportar nueva información para mejorar el proceso de interpolación entre formas de onda. Otra opción si no fuera posible simular el formado de ondas del Kobol en Kontakt sería simplemente grabar más muestras para las diferentes formas de onda que genera el sintetizador. Por otro lado se podría reducir el tamaño de las muestras de

sonido, ya que al ser ondas relativamente simples se podría utilizar incluso un solo período para crear los bucles, reduciendo así la utilización de memoria. Otra mejora simple sería añadir una interfaz gráfica personalizada al instrumento aprovechando las facilidades que da Kontakt para esto. Como trabajo futuro sería interesante desde un punto de vista creativo y de preservación, grabar "presets" o configuraciones complejas diferentes con el sintetizador analógico y crear una librería simple que las reproduzca sin tener que modificar parámetros.

## Bibliografía

Bergersen, T. (2019, November 6). *How to Make Kontakt Instruments - An Overview*.

Orchestral Music School. Retrieved January 25, 2022, from

<https://orchestralmusicschool.com/how-to-make-kontakt-instruments-an-overview/484>

*Creating Kontakt Instruments for Beginners – ADSR*. (n.d.). ADSR Sounds. Retrieved

January 15, 2022, from

<https://www.adsrsounds.com/kontakt-tutorials/creating-kontakt-instruments-for-beginners/>

*How to Build Your Own Kontakt Instrument in 6 Steps*. (n.d.). Your Local Musician.

Retrieved January 15, 2022, from

<https://www.yourlocalmusician.com/how-to-build-your-own-kontakt-instrument/>

*How Waves' Modeling Captures Analog Magic in a Digital World | Waves*. (2019,

December 11). Waves Audio. Retrieved January 15, 2022, from

[https://www.waves.com/how-waves-modeling-captures-analog-magic?utm\\_source=wnletter&utm\\_medium=email&utm\\_content=analog-gear-unlock-btn&utm\\_campaign=weekend-content-analog-modeling-distortion-dec-14](https://www.waves.com/how-waves-modeling-captures-analog-magic?utm_source=wnletter&utm_medium=email&utm_content=analog-gear-unlock-btn&utm_campaign=weekend-content-analog-modeling-distortion-dec-14)

Jenkins, M. (2019). *Analog Synthesizers: Understanding, Performing, Buying from the Legacy of Moog to Software Synthesis*. Routledge.

Jensen, J., Christensen, M., Murthi, M., & Jensen, S. (2006). *Evaluation of MFCC estimation techniques for music similarity*.

Jeroma, N., & Hanley, A. (2021). *KSP Reference Manual*.

[https://www.native-instruments.com/fileadmin/ni\\_media/downloads/manuals/kontakt/KSP\\_Reference\\_Manual\\_English\\_28\\_01\\_21.pdf](https://www.native-instruments.com/fileadmin/ni_media/downloads/manuals/kontakt/KSP_Reference_Manual_English_28_01_21.pdf)

- Jordà, S. (2005). *Digital Lutherie Crafting musical computers for new musics' performance and improvisation*. <http://mtg.upf.edu/node/449>
- KSP Scripting (NI Kontakt) :: BASICS :: What's KSP – is it easy to learn?* | *YummyBeats Blog*. (2019, November 30). Blog. Retrieved January 30, 2022, from <https://blog.yummybeats.com/ksp-kontakt-scripting/ksp-scripting-ni-kontakt-basics-ksp-is-it-easy-to-learn/>
- Library Programming in Kontakt | NI Community Forum*. (2007, August 30). Native Instruments. Retrieved January 20, 2022, from <https://www.native-instruments.com/forum/threads/library-programming-in-kontakt.53737/>
- Olivier, G. (2008). *RSF Kobol Expander*. Vintage Synth Explorer. Retrieved May 1, 2022, from [https://www.vintagesynth.com/misc/rsf\\_kobol.php](https://www.vintagesynth.com/misc/rsf_kobol.php)
- Pitman, T. (2012, October 1). *Introduction To Scripting in Kontakt, Part 1*. Ask.Audio. Retrieved January 15, 2022, from <https://ask.audio/articles/introduction-to-scripting-in-kontakt-part-1>
- RSF Kobol*. (n.d.). Wikipedia. Retrieved January 5, 2022, from [https://en.wikipedia.org/wiki/RSF\\_Kobol](https://en.wikipedia.org/wiki/RSF_Kobol)
- RSF Kobol (1978)*. (n.d.). Polynominal. Retrieved January 5, 2022, from <https://www.polynominal.com/site/studio/gear/synth/Rsf-Kobol/Rsf-Kobol.html>
- Russ, M. (2009). *Sound Synthesis and Sampling*. Focal.
- Tagi, E. (2019, May 1). *Learning Synthesis: Waveshapers*. Perfect Circuit. Retrieved May 25, 2022, from <https://www.perfectcircuit.com/signal/learning-synthesis-waveshapers>

*XILS-lab lifts venerable vintage polysynth architecture-based VI to ...* (2019, May 20).

MusicPlayers.com. Retrieved January 8, 2022, from

<https://musicplayers.com/2019/05/xils-lab-lifts-venerable-vintage-polysynth-architecture-based-vi-to-heightened-v3-5-status/>

Zwar, H., & Pappa, E. (2020). *Creator Tools Manual*.

[https://www.native-instruments.com/fileadmin/ni\\_media/downloads/manuals/kontakt/KONTAKT\\_1\\_2\\_0\\_Creator\\_Tools\\_Manual\\_2020\\_03\\_24.pdf](https://www.native-instruments.com/fileadmin/ni_media/downloads/manuals/kontakt/KONTAKT_1_2_0_Creator_Tools_Manual_2020_03_24.pdf)



## Anexo I: Código y recursos

En este anexo se puede encontrar la librería final de Kontakt así como el código utilizado para la creación del instrumento y diversos recursos sonoros.

En el repositorio de Github “Kobología” <https://github.com/gcgus/Kobologia>:

- *Kobología/Kobología.zip*: Librería final de Kontakt, para utilizar descomprimir el archivo y abrir el archivo *Kobología.nki* desde Kontakt. Para cambiar la forma de onda utilizar el control MIDI CC#1 o la rueda de modulación de Kontakt.
- En la carpeta *Kobología/code/*:
  - *Kobología\_Bucles.yptb*: Script utilizado para la búsqueda de puntos de bucle.
  - *Kobología\_Evaluación.yptb*: Script utilizado para la evaluación de las grabaciones finales.
  - *Kobología\_Grabación.py*: Script utilizado para la grabación de las muestras de sonido (basado en script escrito por Frederic Font)
  - *Kobología\_creator\_tools.lua*: Script utilizado para la generación de la estructura del instrumento en Kontakt.

Recursos audiovisuales:

- En Freesound:
  - Grabaciones utilizadas para la evaluación del instrumento: <https://freesound.org/people/gcgux/packs/35326/>.
  - Fragmentos cortos con demostraciones del funcionamiento del instrumento virtual: <https://freesound.org/people/gcgux/packs/35375/>
- En Youtube:
  - Vídeo comparativo entre las formas de onda del instrumento virtual y el analógico: <https://www.youtube.com/watch?v=GE5PAX2DhZM>
  - Pequeña composición de 2 minutos utilizando exclusivamente sonidos generados por la librería: <https://www.youtube.com/watch?v=dhEByYA4qAQ>





## Anexo II: MFCC y similitud coseno

En el apartado [4.2](#) del trabajo se nombran los conceptos de coeficientes cepstrales en frecuencias de Mel (MFCC) y similitud coseno, y se utilizan para obtener una medida de similitud perceptual entre audios. Este anexo tiene la intención de introducir de manera breve ambos conceptos.

Cómo se explica en dicho apartado los MFCC son el estándar actual en cuanto a caracterización perceptual de audio y son ampliamente utilizados en campos como el reconocimiento de habla o el análisis de información musical (MIR). Estos coeficientes son una representación del espectro de una señal en cortos periodos de tiempo y se obtienen haciendo la transformada de coseno discreta del espectro en frecuencias de mel (calculado mediante la transformada de Fourier de tiempo corto), por lo tanto, se podría decir que son el espectro del espectro. La utilización de la escala de Mel se debe a que esta pretende replicar el sistema auditivo humano y la transformada de coseno discreta funciona como una suerte de compresión sobre este espectro que conserva solo las características que mejor representan el sonido.

La similitud coseno es una herramienta matemática muy simple que se utiliza para evaluar la similitud entre dos secuencias. Esta se calcula interpretando las dos secuencias de números como vectores y dividiendo el producto escalar de estos vectores entre el producto de sus magnitudes. Esto es lo mismo que calcular el ángulo entre ambos vectores por lo que un resultado de 1 implica que el ángulo es de  $0^\circ$  por lo que la similitud es completa y una similitud coseno igual a 0 significa que no hay correlación entre las secuencias.

Teniendo en cuenta que el conjunto de los MFCC que representan un instante de tiempo de la señal son simplemente una secuencia de números, se puede utilizar la similitud coseno para obtener una medida de la similitud entre los coeficientes de dos audios a lo largo del tiempo. Esto es lo que se hizo en el apartado [4.2](#) del trabajo, primero se obtienen 20 coeficientes cepstrales por cada ventana de la transformada de fourier de tiempo corto, luego se desecha el primer coeficiente ya que este no aporta información sobre la forma del espectro sino que es una compensación constante sobre este, y finalmente, se calcula la similitud coseno entre las secuencias formadas por los 19 coeficientes restantes de cada uno de los audios.