

Instituto Tecnológico de Buenos Aires

22.05 ANÁLISIS DE SEÑALES Y SISTEMAS DIGITALES

Trabajo práctico N°2

Grupo 3

MECHOULAM, Alan	58438
LAMBERTUCCI, Guido Enrique	58009
RODRIGUEZ TURCO, Martín Sebastian	56629
LONDERO BONAPARTE, Tomás Guillermo	58150

Profesores

Jacoby, Daniel Andres
Belaustegui Goitia, Carlos F.
Iribarren, Rodrigo Iñaki

Presentado: 14/05/20

Índice

1. Síntesis de sonidos mediante frecuencia modulada	2
1.1. Introducción al modelo	2
1.2. Instrumentos de viento	3
1.2.1. Clarinete	3
1.2.2. Trombón	4
1.2.3. Campana	5
1.2.4. Trompeta	6
1.3. Conclusiones	7
2. Programas implementados	8
2.1. FFT	8
2.2. Programa Principal	8

1. Síntesis de sonidos mediante frecuencia modulada

1.1. Introducción al modelo

El siguiente método de síntesis se basa en modelar sonidos mediante señales moduladas en frecuencia. Es por eso que, dada la siguiente ecuación

$$x(t) = A(t) \cos(2\pi f_c + I(t) \cos(2\pi f_m t + \phi_m) + \phi_c) = A(t) \sin(2\pi f_c + I(t) \sin(2\pi f_m t)) \quad (1)$$

con $\phi_m = \phi_c = -\frac{\pi}{2}$, se busca elegir $A(t)$, $I(t)$, f_c y f_m adecuados para poder simular adecuadamente el sonido del instrumento deseado.

De la Ecuación (1) se observa que $I(t)$ es el índice de modulación, mientras que f_c y f_m son la frecuencia de la portadora y la moduladora, respectivamente. Cuando $I(t)$ es positivo, se observan frecuencias que se encuentran por encima y por debajo de la portadora en intervalos dados por la moduladora. La cantidad de frecuencias laterales que se observa está relacionada con dicho índice, es por ello que a mayor $I(t)$, mayor cantidad de picos en frecuencia. A su vez, la frecuencia central decrece con el aumento previamente mencionado ¹.

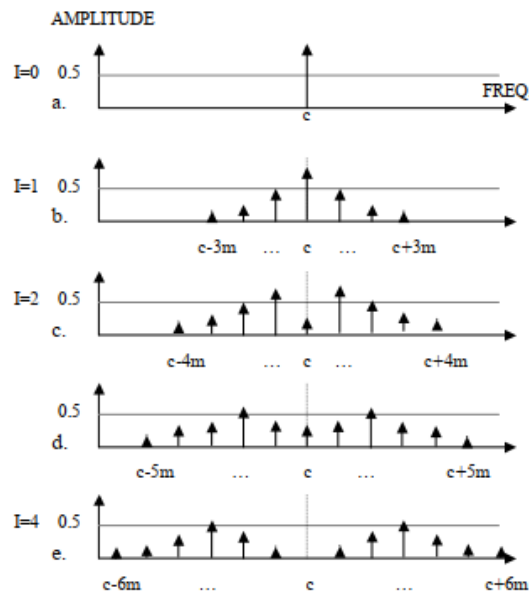


Figura 1: Aumento de $I(t)$ y como afecta las frecuencias laterales.

Las amplitudes de la portadora y las laterales son determinadas por las funciones de Bessel de primer y “n-esimo” orden $J_1(I(t))$ y $J_n(I(t))$, expresando $x(t)$ de la forma:

$$x(t) = A \sum_{k=0}^n J_k(I(t)) [\sin(\omega_c + k\omega_m)t - \sin(\omega_c - k\omega_m)t] \quad (2)$$

La principal ventaja de la síntesis mediante F.M. consiste justamente en el hecho de que se puede expresar con facilidad la relación entre la portadora y la moduladora, lo que produce las frecuencias laterales mencionadas previamente. Estas recaen en el lado negativo de frecuencias, reflejándose en el dominio positivo del espectro.

¹ John M. Chowning, [The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation](#). 1973.

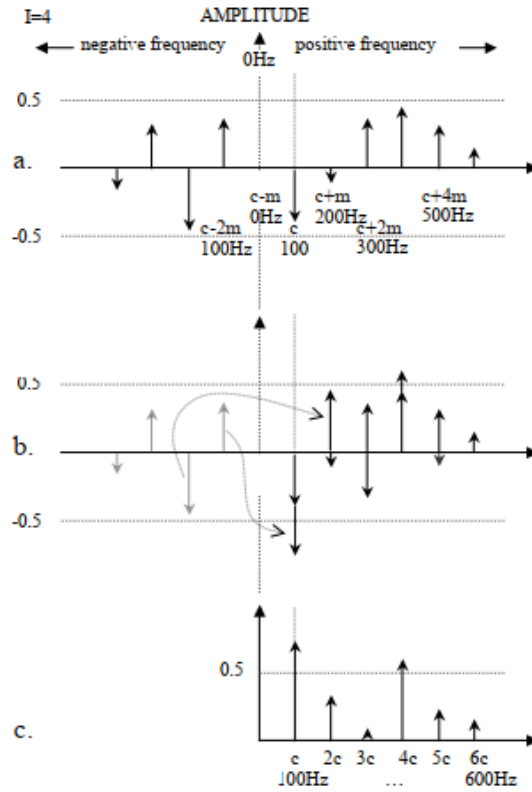


Figura 2: Representación gráfica de la proyección de frecuencias negativas.

Por otro lado, se puede expresar la relación de la frecuencia portadora y moduladora de la forma

$$\frac{f_c}{f_m} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3)$$

lo que permite obtener una expresión para la frecuencia central

$$f_o = \frac{f_c}{N_1} = \frac{f_m}{N_2} \quad (4)$$

1.2. Instrumentos de viento

Este método puede ser empleado para sintetizar instrumentos de viento, fijando los parámetros $A(t)$, $I(t)$, f_c y f_m de una forma adecuada. Existen modelos dados para ciertos instrumentos, los cuales pueden ser modificados para conseguir un sonido más fidedigno, siendo el principal parámetro la relación presentada en la Ecuación (3).

1.2.1. Clarinete

Para la síntesis del clarinete se utilizó una relación $3f_c = 2f_m$. Además, las funciones $A(t)$ e $I(t)$ para una señal de una duración de 1 segundo son las presentadas a continuación.

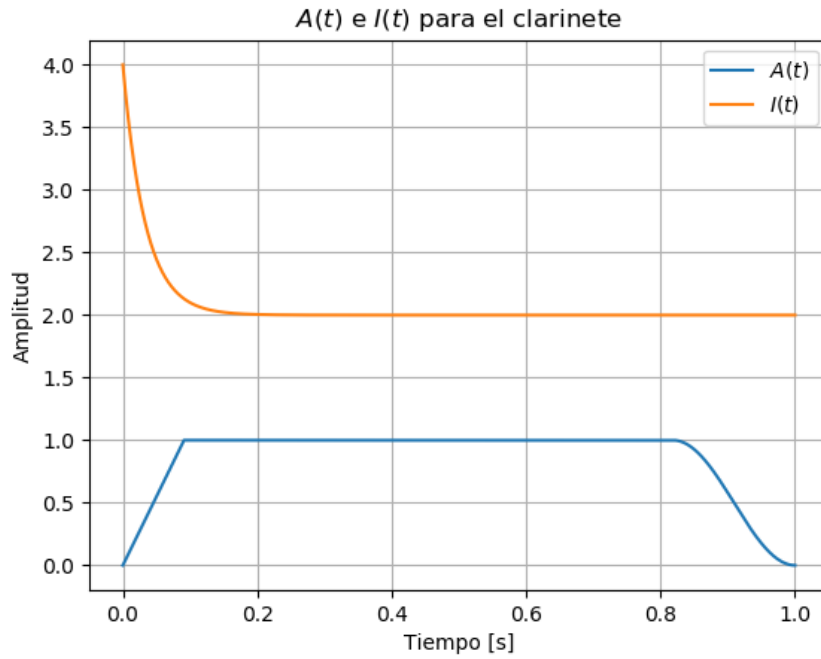


Figura 3: $A(t)$ e $I(t)$ para un clarinete.

Luego, se obtuvo un espectrograma para una nota a 440 Hz de dicho instrumento. Para dicho análisis se valió de una ventana de Hanning con 256 puntos para la $NFFT$ y una superposición de 128.

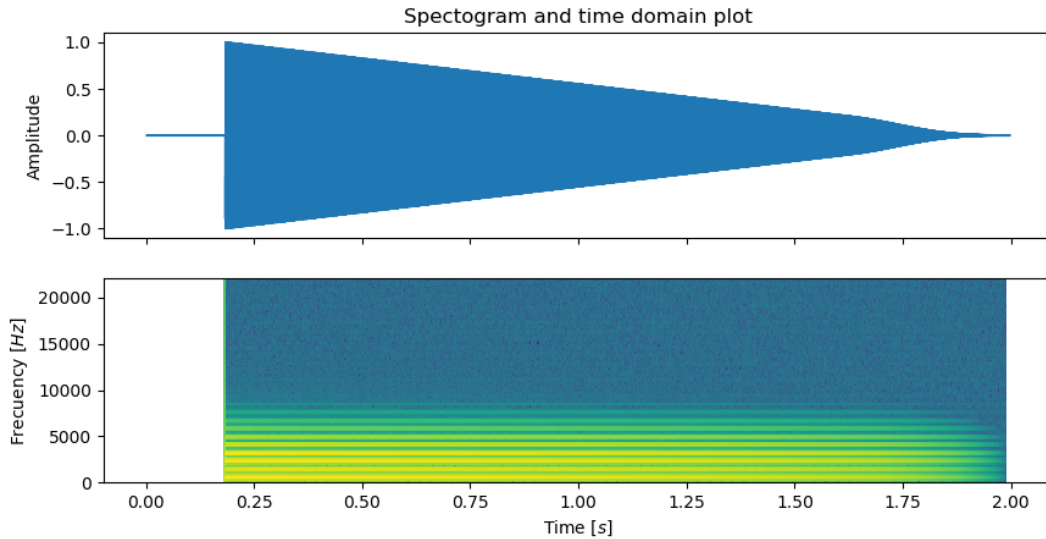


Figura 4: Espectrograma de una nota de clarinete a 440 Hz .

1.2.2. Trombón

De manera similar al caso anterior, para la síntesis del trombón se utilizó una relación $f_c = f_m$. Además, las funciones $A(t)$ e $I(t)$ para una señal de una duración de 1 segundo son las presentadas a continuación.

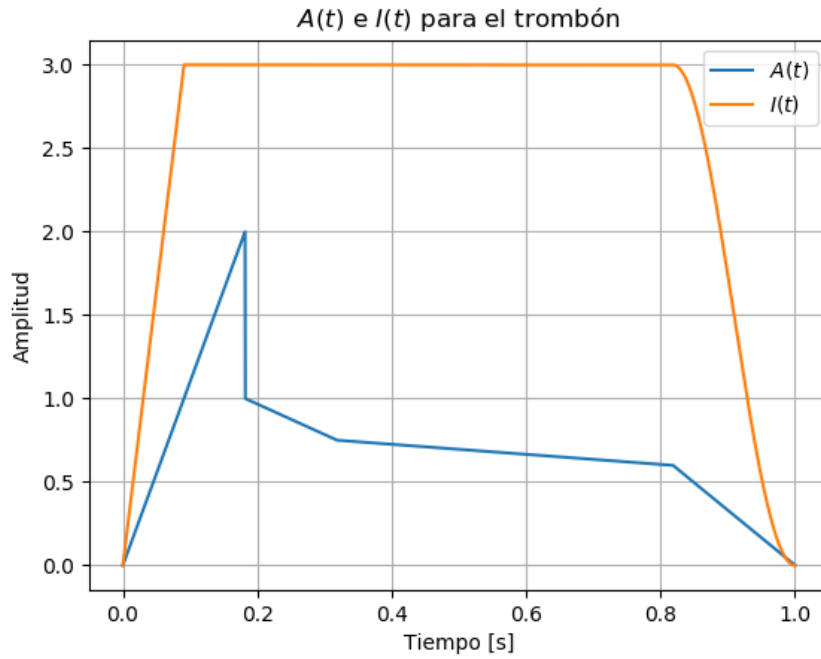


Figura 5: $A(t)$ e $I(t)$ para un trombón.

Después, se obtuvo un espectrograma para una nota a 440 Hz de dicho instrumento. Para dicho análisis se valió de una ventana de Hanning con 256 puntos para la $NFTT$ y una superposición de 128.

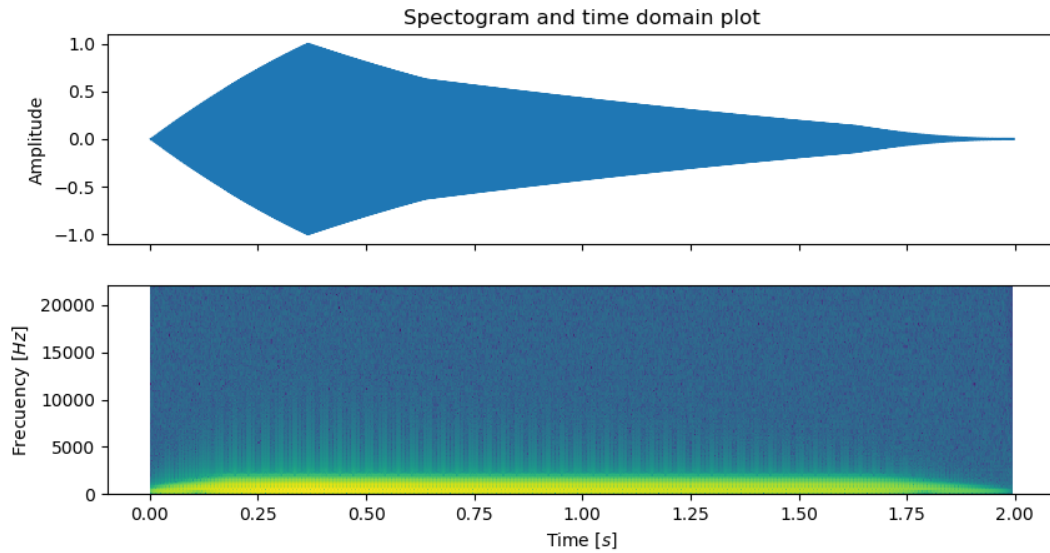


Figura 6: Espectrograma de una nota de trombón a 440 Hz .

1.2.3. Campana

Analogamente, para la campana se empleó una relación $f_c = 2f_m$. Además, las funciones $A(t)$ e $I(t)$ para una señal de una duración de 1 segundo son las presentadas a continuación.

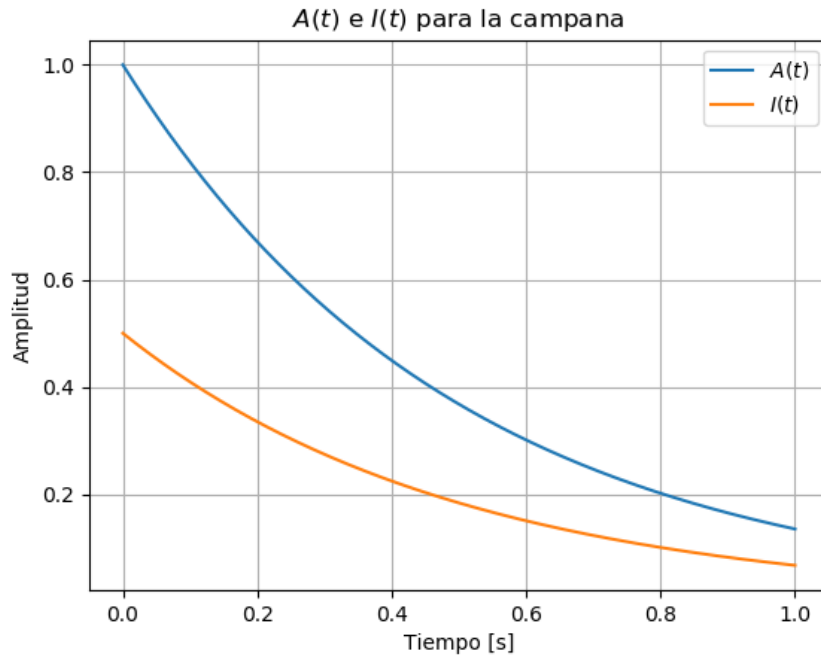


Figura 7: $A(t)$ e $I(t)$ para una campana.

Luego, se desarrollo un espectrograma para una nota a 440 Hz de dicho instrumento. Para dicho análisis se valió de una ventana de Hanning con 256 puntos para la $NFTT$ y una superposición de 128.

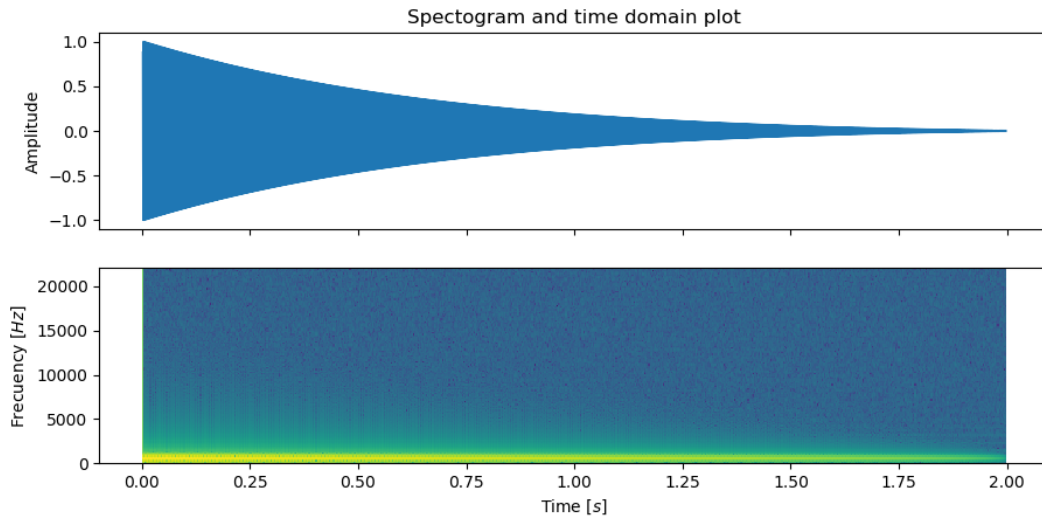


Figura 8: Espectrograma de una nota de campana a 440 Hz .

1.2.4. Trompeta

Finalmente, para sintetizar una trompeta se utilizó la misma relación que para el trombón, $f_c = f_m$. Además, las funciones $A(t)$ e $I(t)$ para una señal de una duración de 1 segundo son las presentadas a continuación.

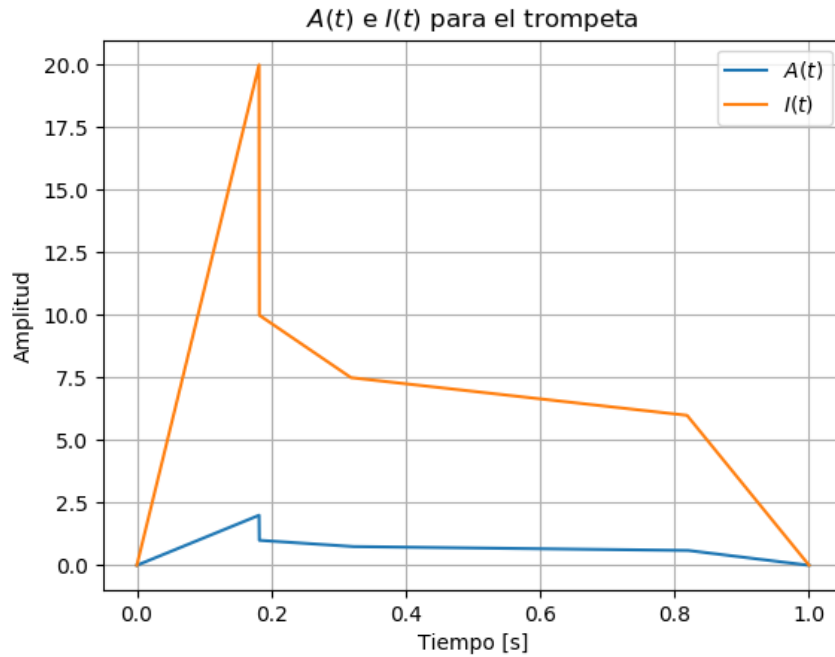


Figura 9: $A(t)$ e $I(t)$ para una trompeta.

Luego, se obtuvo un espectrograma para una nota a 440 Hz de dicho instrumento. Para dicho análisis se valió de una ventana de Hanning con 256 puntos para la $NFFT$ y una superposición de 128.

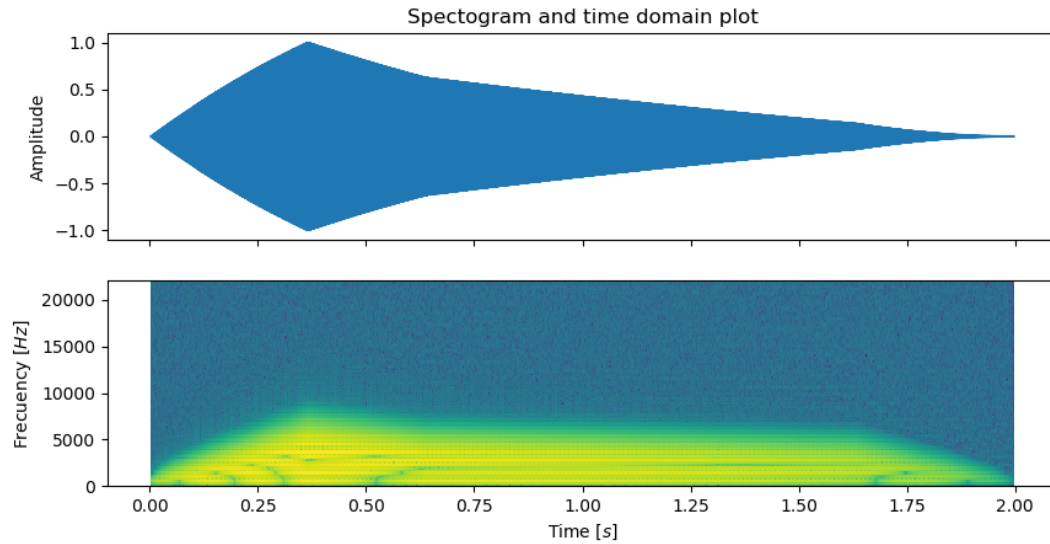


Figura 10: Espectrograma de una nota de trompeta a 440 Hz .

1.3. Conclusiones

No existe un acercamiento analítico para determinar el mejor conjunto de parámetros para la síntesis de un instrumento mediante el método de F.M., lo que dificulta la selección de estos ². Es por ello que existen bases de como tratar cada instrumento, las cuales pueden ser libremente modificadas, dependiendo del gusto de cada persona, justificando la existencia variaciones de cada “plantilla”. A pesar de ello, dichos cambios deben hacerse con cierto

²Andrew Horner y James W. Beauchamp, [Instrument Modeling and Synthesis](#). 2009.

criterio, ya que se desea mantener un sonido similar al real, y provocar cambios sin tener conocimiento pueden generar sonidos muy distantes a los deseados.

2. Efectos de Audio

Se implementaron dos efectos, eco simple y reverberación, siguiendo el método descrito por M. Schroeder ³. Para el eco se utilizó una sola línea de delay mostrada en la Figura (??).

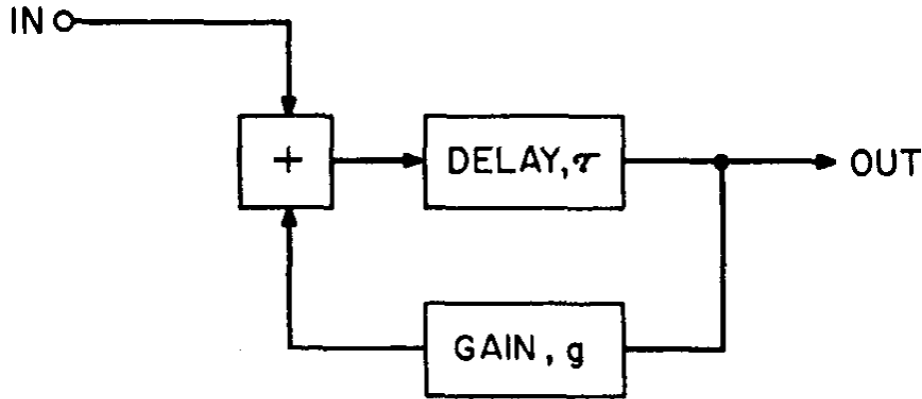


Figura 11: Línea de retardo.

Los parámetros para configurar este efecto son los de delay time τ , el cual denota el retardo de la línea; y decay factor g , el cual describe la ganancia del lazo. Se puede modelizar el tiempo en el cual el sonido decae por 60 dB, T , como

$$T = \frac{3 * \tau}{-\log_{10}|g|} \quad (5)$$

Luego, se utilizó el modelo propuesto por M. Schroeder mostrado en la Figura (??) para implementar la reverberación, con cuatro líneas de retardo en paralelo, seguidas de dos filtros pasa todo con línea de retardo, los cuales aumentan la densidad de los ecos sin afectar la ganancia del sistema en función de la frecuencia.

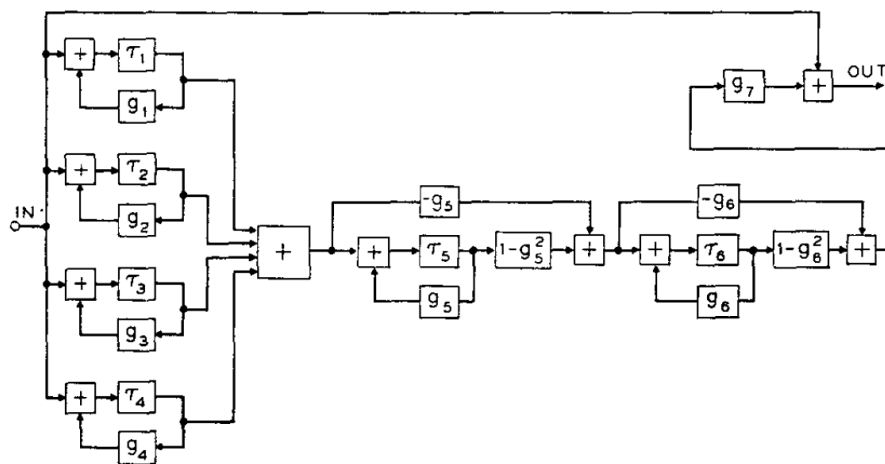


Figura 12: Filtro all-pass con línea de retardo.

³M. Schroeder, "Natural Sounding Artificial Reverberation", Journal of the Audio Engineering Society, vol. 10, no. 10, 1962. [Accessed 9 May 2020].

Se utilizaron los parámetros sugeridos por Schroeder detallados a continuación⁴

Parámetro	Sugerencia
τ_5	5 <i>ms</i>
τ_6	1.7 <i>ms</i>
g_5	0.7
g_6	0.7
τ_1	101.560 <i>ms</i>
τ_2	113.356 <i>ms</i>
τ_3	122.426 <i>ms</i>
τ_4	131.54 <i>ms</i>

Tabla 1: Parámetros utilizados según las referencias empleadas.

Luego, se ajustaron los valores de g_1 hasta g_4 según (??). Finalmente, para el eco se le pide al usuario que ingrese el delay time y el decay factor, denominados en el programa con las letras T y D . Para la reverberación, se le pide al usuario el tiempo de reverberación, el cual es el tiempo en el que el sonido decae 60 *dB*, denotado con la letra T ; y el mix factor, detallado en la Figura (??) como g_7 , denotado en el programa con la letra M .

3. Programas implementados

3.1. FFT

Se implementó la FFT utilizando el algoritmo de Cooley-Tukey de manera recursiva. Se probó con diversas entradas reales aleatorias, de tamaño 4096, con una media temporal de 40 μs .

3.2. Programa Principal

Se desarrolló un programa, el cual permite agregar midis de cualquier duración, para luego sintetizar cada track deseado de dicho archivo. Permite seleccionar diversos instrumentos, varios de ellos con parámetros modificables. Además, es posible compilar dichos tracks en un archivo del tipo wav y hasta generar un archivo de “preview” de un track dado, es decir una pequeña muestra de como se escucha un track en particular.

También es posible elegir efectos a aplicar, tanto para el archivo wav final, como para cada track en particular.

⁴John M. Chowning, [The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation](#). 1973.

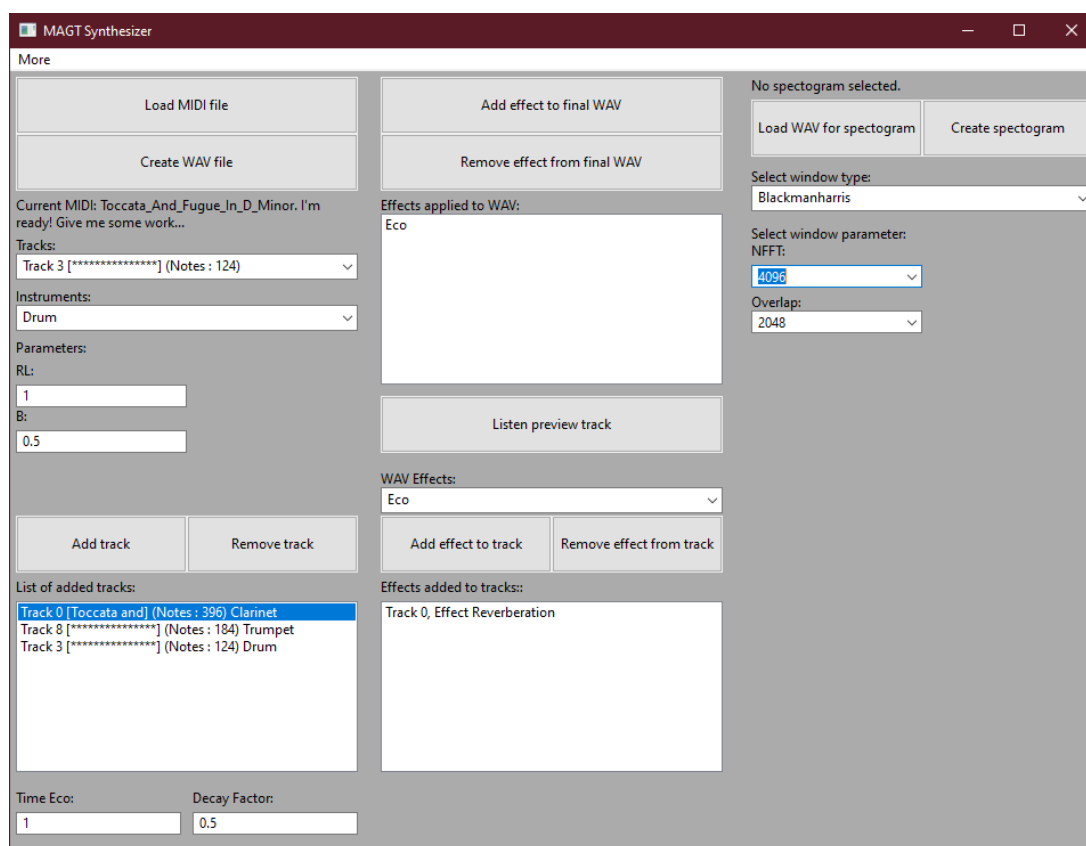


Figura 13: Captura de la GUI implementada.

Finalmente se destaca que es posible realizar espectrogramas de cualquier archivo wav, sea generado por este programa o no, pudiendo elegir el tipo de ventana, la cantidad de puntos de la FFT y el factor de overlap.

Cabe destacar que el programa fue desarrollado en su totalidad en C++, a excepción de los gráficos del espectrograma, los cuales son generados mediante un llamado a un código en Python. El front-end se implementó mediante el uso de la librería WxWidgets.