

# Trabajo Práctico

Señales y sistemas (TB065) - FIUBA

Martin Klöckner - [mklockner@fi.uba.ar](mailto:mklockner@fi.uba.ar)

Mateo Lema Roveta - [mlema@fi.uba.ar](mailto:mlema@fi.uba.ar)

Ernesto Dei Castelli - [edei@fi.uba.ar](mailto:edei@fi.uba.ar)

En el presente trabajo se realiza un análisis en el dominio temporal de en principio dos señales musicales de muestra, en las cuales se buscan porciones cuasi-periódicas y no periódicas, y se luego se filtran utilizando dos filtros diferentes. Por ultimo, se generan mediante simulación de tres instrumentos musicales diferentes, tres señales, las cuales se analizan y comparan las formas de onda generadas.

## Primer muestra

Para la primer muestra (archivo `cancion1.wav`) se realiza el gráfico de la misma en el dominio temporal, el resultado se muestra en la figura 1.

La frecuencia de muestreo de la misma es 44100 Hz, esto se obtiene del mismo script utilizado para graficar el archivo, en el cual se divide la cantidad de muestras por la duración del archivo.

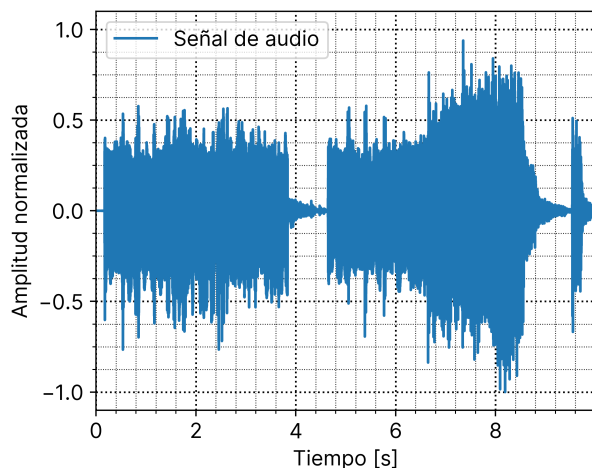


Figura 1: Gráfico de archivo 'cancion1.wav'

## Secciones cuasi-periódicas

Cuando la señal tiene una estructura repetitiva, pero con variaciones en amplitud, fase o frecuencia se dice que la señal es cuasi-periódica.

Realizando un análisis visual en detalle de la muestra se buscan partes donde se comporte como tal, dos ejemplos se dan en las figuras 2 y 3. En la primera se gráfica el intervalo 0.248 s a 0.256 s, mientras que en la segunda se gráfica el intervalo 0.520 s a 0.528 s.

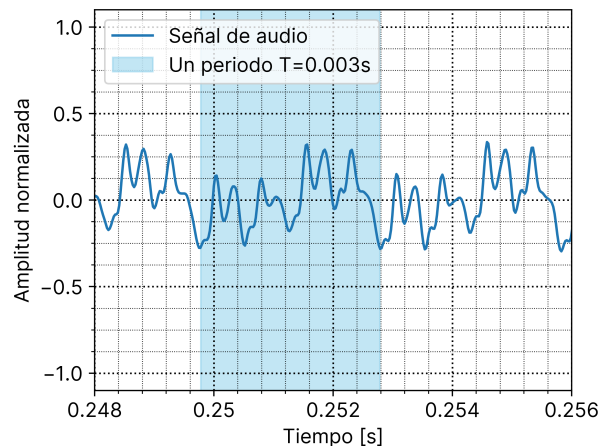


Figura 2: Sección cuasi-periódica archivo 'cancion1.wav'

Dentro de los intervalos cuasi-periódicos graficados, se pueden detectar visualmente los periodos fundamentales, los cuales se ven resaltados en color celeste claro.

Curiosamente en ambos casos el periodo es igual y resulta  $T = 0.003$  s, lo cual corresponde con una frecuencia de aproximadamente 333 Hz. Comparando con notas musicales de tabla esto se asemeja a una nota *E4*, la cual tiene una frecuencia de 329.228 Hz. Siendo que el periodo se relaciona de manera inversa con la frecuencia y esta de manera directa con la nota musical, se puede asegurar que al disminuir este periodo la frecuencia aumentará y la nota musical será mas aguda, mientras que en el caso contrario si aumenta el periodo la frecuencia disminuye y también la nota musical.

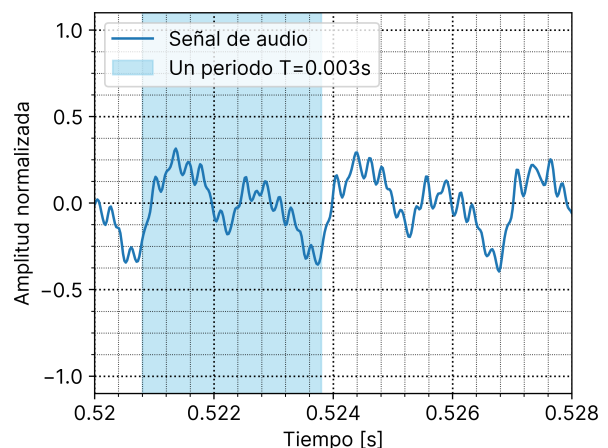


Figura 3: Sección cuasi-periódica archivo 'cancion1.wav'

## Segunda muestra

Utilizando el mismo script de python utilizado para la primer muestra (archivo `cancion1.wav`) se gráfica la señal de la segunda muestra (correspondiente al ar-

chivo `cancion2.wav`) en el dominio temporal, en este caso se gráfica a partir del segundo 6 ya que antes de esto la señal tiene amplitud nula, con lo cual no aporta información significativa, el gráfico resultante se muestra en la figura 4.

La frecuencia fundamental de esta segunda muestra resulta 48000 Hz, esto también se obtiene del script de python.

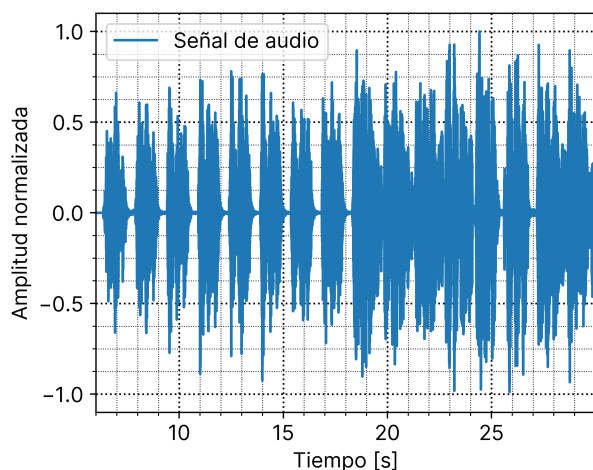


Figura 4: Gráfico de archivo 'cancion2.wav'

### Secciones no-periódicas

A diferencia del análisis realizado sobre la primera muestra en busca de secciones cuasi-periódicas, para esta segunda muestra se buscan secciones no periódicas, esto es, secciones donde la señal no tiene un patrón repetitivo marcado. Se toman dos intervalos en los cuales la señal de muestra se comporta como tal, el intervalo de 14.72 s a 14.73 s y el intervalo 26.57 s a 26.58 s, ambos intervalos se muestran graficados en las figura 5 y 6 respectivamente.

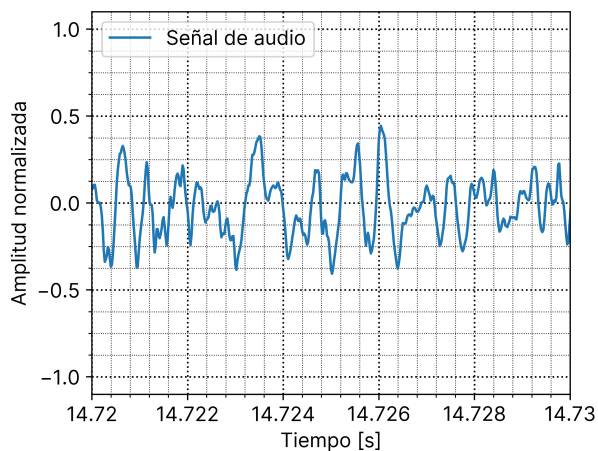


Figura 5: Sección no periódica archivo 'cancion2.wav'

Dado que las secciones son no periódicas, no se puede hablar de una frecuencia fundamental como

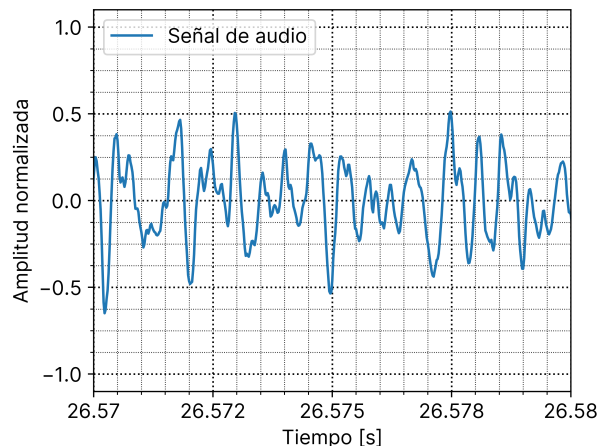


Figura 6: Sección no periódica archivo 'cancion2.wav'

si se podía en las secciones cuasi-periódicas en la primera muestra.

### Filtrado

Para obtener la salida de la señal luego de pasarla por un filtro (respuesta al impulso del primer filtro correspondiente al archivo `respuesta_impulso_1.txt` y del segundo filtro correspondiente al archivo `respuesta_impulso_2.txt`) es necesario realizar una convolución entre la señal de entrada y la respuesta al impulso del filtro, esto suponiendo que el filtro es un sistema LTI (si no lo fuera no se podría calcular la salida solo teniendo la respuesta al impulso).

La salida del filtro 1 al aplicar la primera muestra se puede ver en la figura 7, en la figura se puede ver que atenúa partes de la señal y amplifica otras, en particular amplifica principalmente antes del segundo 6 y atenúa drásticamente luego.

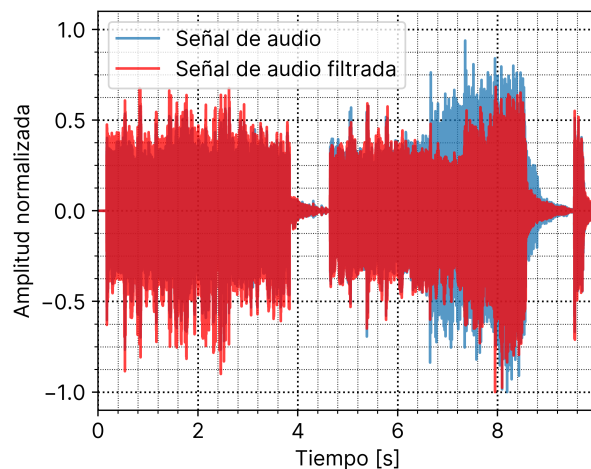


Figura 7: Primera muestra salida de filtro 1

Aplicando el segundo filtro a la primera muestra resul-

ta como se muestra en el gráfico de figura 8. Se puede ver que esta a diferencia del filtro 1, no atenúa o amplifica significativamente partes de la señal, si no que realiza una leve atenuación de toda la señal.

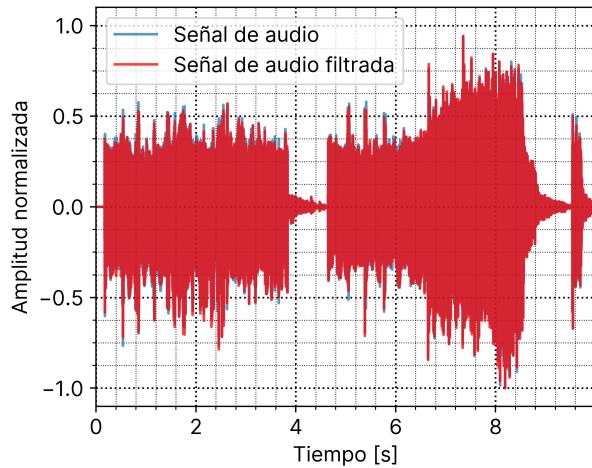


Figura 8: Primer muestra salida de filtro 2

De manera análoga para la segunda muestra se aplican los filtros mediante la convolución entre la señal de muestra y la respuesta al impulso del respectivo filtro. La salida de la segunda muestra al aplicar el primer y segundo filtro se puede ver en las figuras 9 y 10 respectivamente.

Se puede ver claramente en la figura 9 que se atenúa la mayor parte de la señal pero principalmente en la primera mitad (antes del segundo 18.5 aproximadamente) y en menor medida en la mitad restante, aunque en partes de la segunda mitad se atenúa drásticamente de todas formas, como por ejemplo en el segundo 29 en el que se atenúa aproximadamente un 70 % de la señal.

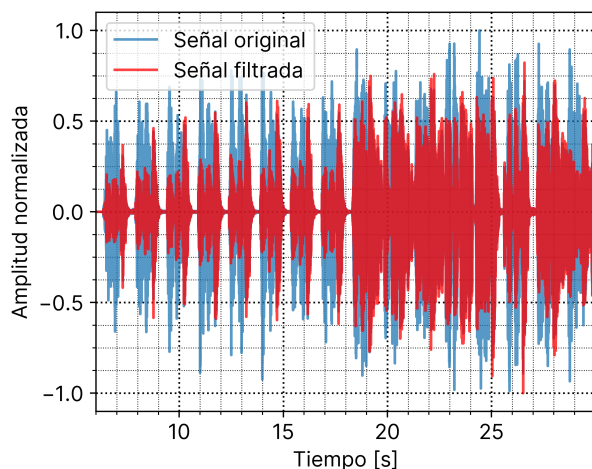


Figura 9: Segunda muestra salida de filtro 1

En el caso del segundo filtro, de manera análoga a lo que ocurría con la primera muestra, no se observa

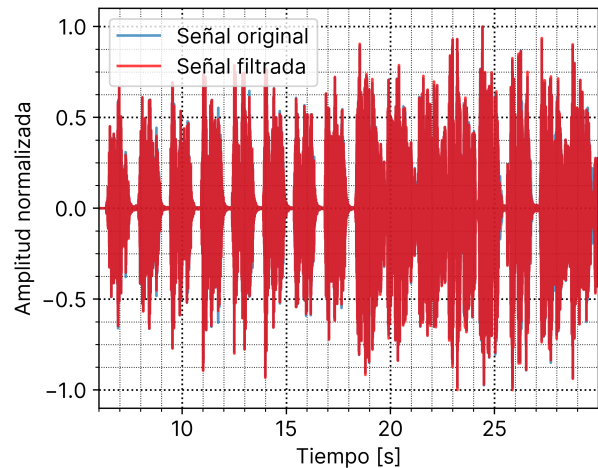


Figura 10: Segunda muestra salida de filtro 2

un cambio significativo en la señal filtrada, si no mas bien una leve atenuación general, aunque si se percibe una drástica atenuación de un instante específico de la señal, en el segundo 29.9 aproximadamente.

En todos los casos, tanto para la primera muestra como para la segunda y tanto para el primer filtro como el segundo, escuchando la respectiva salida se confirma lo analizado desde el punto de vista del gráfico de la señal, pero además se aprecia que el primer filtro realiza una atenuación de las frecuencias mas altas (sonidos agudos) mientras que el segundo disminuye las frecuencias bajas (o sonidos graves) esto ultimo no se aprecia en el gráfico de la señal, ya que parece no tener efecto mas que una leve atenuación.

## Sonido de diferentes instrumentos

Se generaron tres muestras diferentes a las ya utilizadas, correspondientes con la nota A4 (La4, 440 Hz) mediante la simulación de tres instrumentos musicales distintos: un clarinete, una flauta y un violín. Las señales generadas corresponden con los archivos `a4_clarinete.wav`, `a4_flauta.wav` y `a4_violin.wav` y los gráficos de cada señal se muestran en las figuras 11, 12 y 13, respectivamente.

Si bien todos los sonidos tienen la misma frecuencia, ya que es la misma nota musical, el sonido escuchado percibido es diferente, esto puede ser producto de la forma de onda generada por cada instrumento, lo cual queda clara la diferencia en los respectivos gráficos.

Cada sonido percibido tiene características diferentes, el mas apagado o neutro es el producido por la flauta, mientras que el mas agudo o "afilado" es el

producido por el violin, el sonido del clarinete es un intermedio entre ambos, un sonido ni muy agudo ni muy grave o apagado, y con cierto carácter metálico.

Para el caso del clarinete, cuya señal se puede ver en la figura 11 a continuación se puede ver que la onda se parece a una onda cuadrada. En el dominio de frecuencia, las ondas cuadradas ideales se componen de armónicos impares.

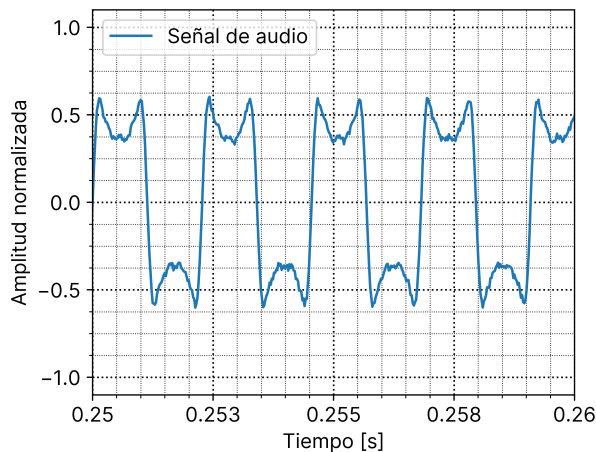


Figura 11: Sonido de clarinete

Para la señal producida por la flauta que se puede ver en la figura 12, se puede ver que se asemeja a una señal senoidal pura, aunque no tan simétrica en los picos, las ondas sinodales en el dominio de frecuencia tienen un único armónico, y es el fundamental, es por esto que el sonido es mas neutro y no tan “brillante” o agudo dado que la frecuencia es la misma en todos los casos.

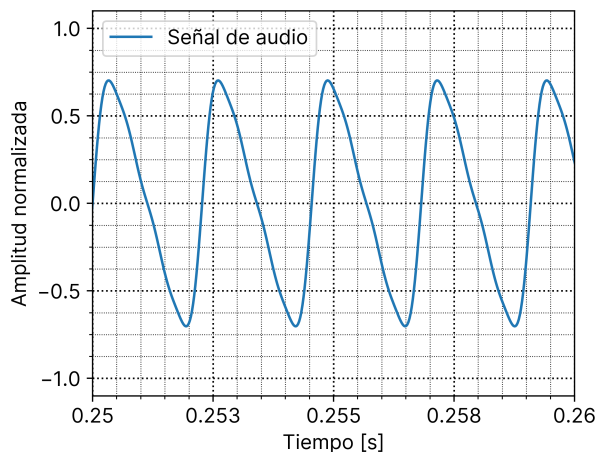


Figura 12: Sonido de flauta

Por ultimo para la señal producida por el violin, la cual se puede ver en la figura 13, se asemeja a una onda triangular con pendiente decreciente, estas ondas triangulares en el dominio de frecuencia también tienen armónicos impares como la onda cuadrada,

pero estos armónicos tienen mayor amplitud, es por esto que si bien tienen un sonido similar, el sonido del violin es mas agudo.

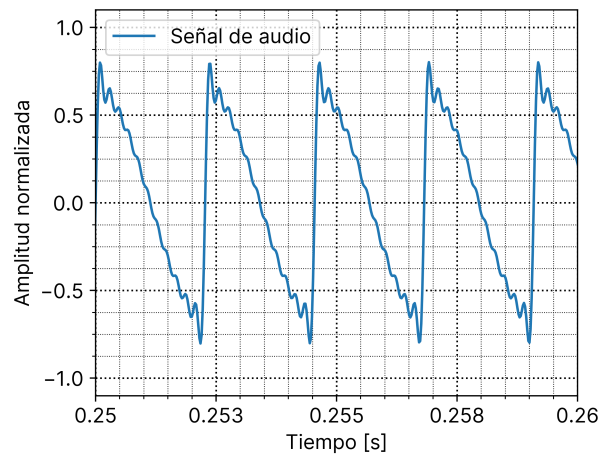


Figura 13: Sonido de violin