

1. Efectos de audio

1.1. Reverbebrador

1.1.1. Implementación de eco simple

Se implementó un eco simple utilizando el sistema:

$$y(n) = x(n) + gx(n - M) \quad (1)$$

Se muestran a continuación los resultados con una señal de prueba.

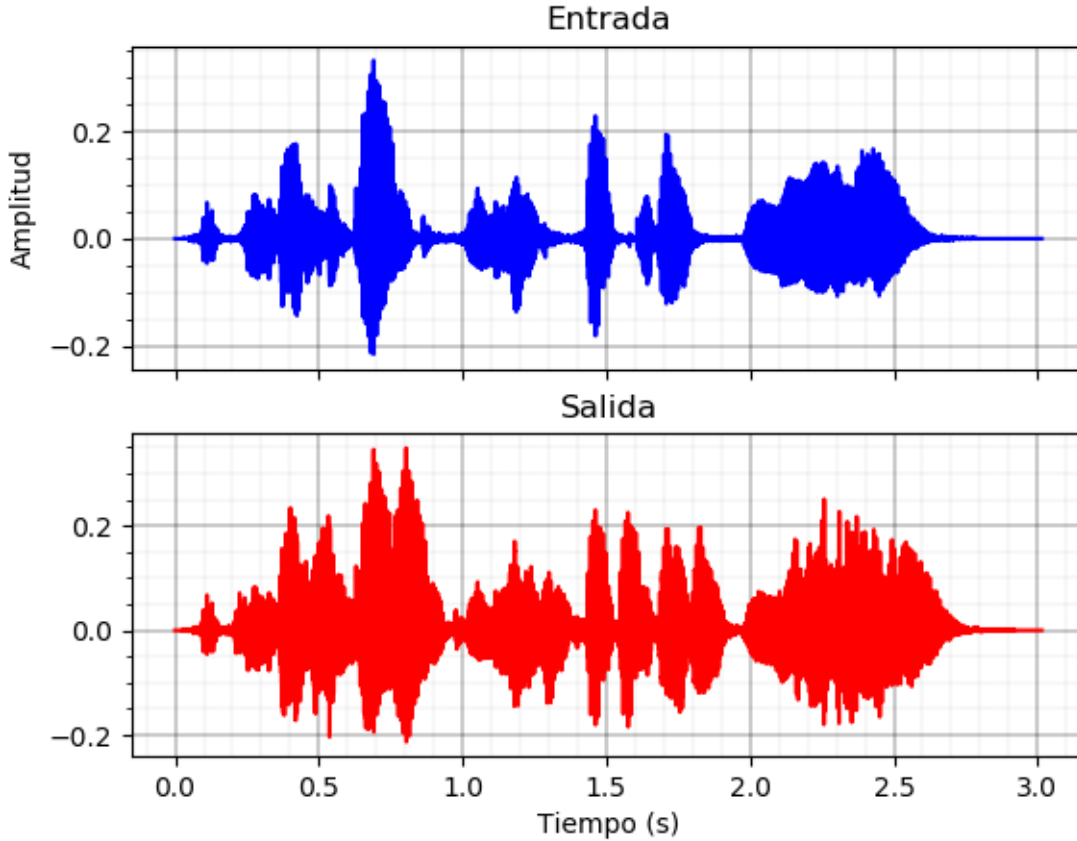


Figura 1: Resultados con $M = 5000$, $g = 0.999$

Se puede observar de los resultados intuitivamente como la señal de salida contiene repeticiones de la señal de entrada, y al escuchar el audio se pudo notar dicho efecto de eco. Fue necesario colocar un retraso muy grande ($M = 5000$) y una ganancia muy alta ($g = 0.999$) para que el efecto fuera notorio.

1.1.2. Implementación de reverberación plana

Se implementó una reverberación plana utilizando una ecuación de diferencias con feedback.

$$y(n) = x(n) + gy(n - M) \quad (2)$$

Se muestran a continuación los resultados con una señal de prueba.

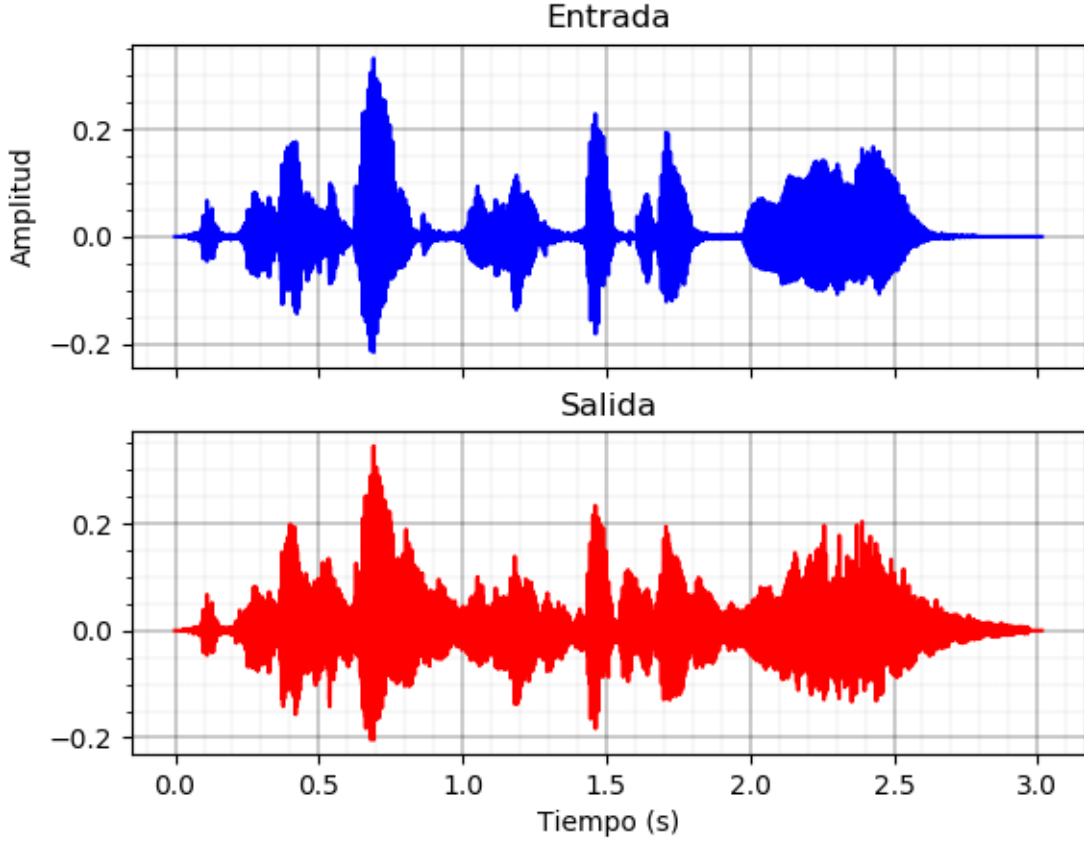


Figura 2: Resultados reverberación plana con $M = 500$, $g = 0.5$

Se necesitó disminuir fuertemente el valor de g para evitar que la salida saturara. Al tener realimentación (es decir, ser IIR) el sistema puede perder la estabilidad con facilidad.

1.1.3. Implementación de reverberación pasa bajos

Se le agrego un filtro pasabajo a la realimentación del sistema anterior. Se optó por un sencillo pasabajos similar al utilizado en el modelo Karplus Strong, de la forma $y(n) = \frac{x(n)+x(n-1)}{2}$. El sistema por lo tanto quedo descrito como:

$$y(n) = x(n) + \frac{1}{2}g(y(n-M) + y(n-M-1)) \quad (3)$$

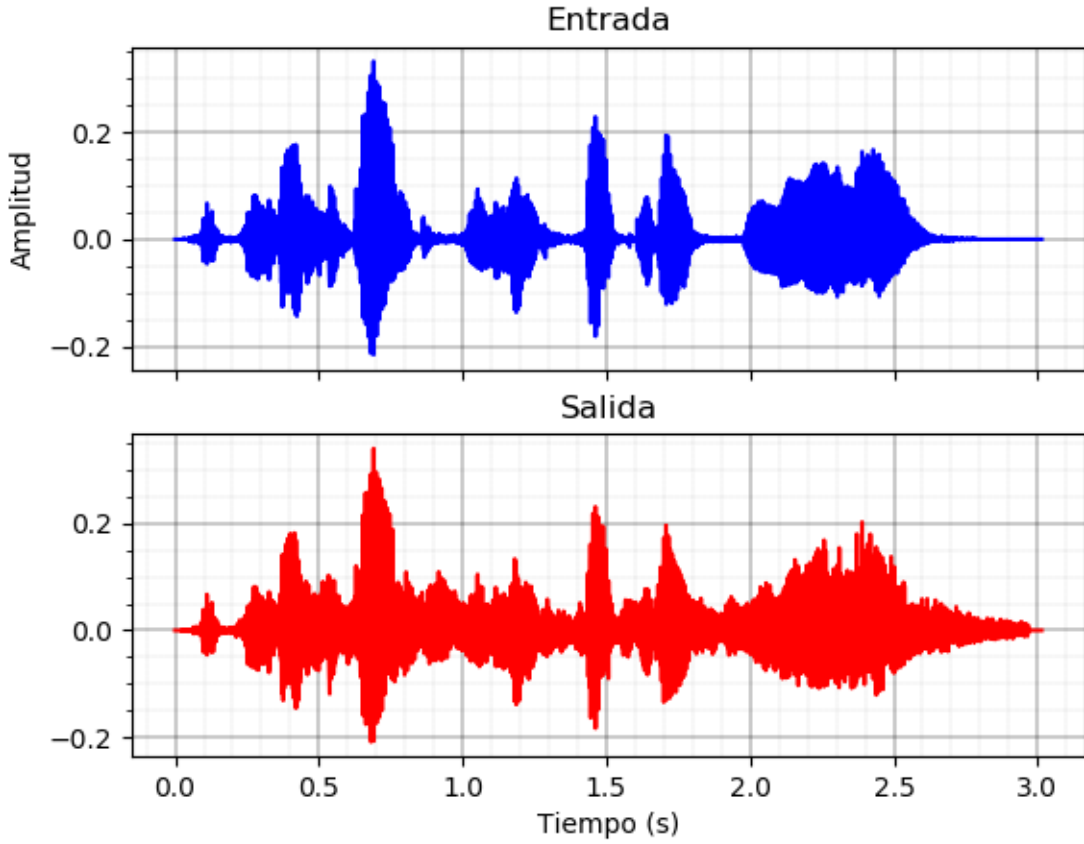


Figura 3: Resultados reverberación con pasabajos $M = 500$, $g = 0.5$

La señal fue similar al resultado del caso anterior con una sutil diferencia: el sonido se escuchó con un poco menos ruido. Esto se debe muy probablemente a que el filtro pasa bajos evitó la propagación de una frecuencia no deseada la cual no estaba presente en la señal original.

1.1.4. Implementación de reverberación completa

Se buscó estudiar un caso de reverberación completa, eligiendo el sistema denominado Schroeder. El mismo consiste de la conexión en paralelo de N reverberadores planos, continuados de M filtros tipo comb. Se utilizaron algunos criterios de los expresados en los apuntes de clase y también se “jugó” empíricamente para conseguir sonidos de reverberación interesantes.

A continuación se muestran los resultados obtenidos.

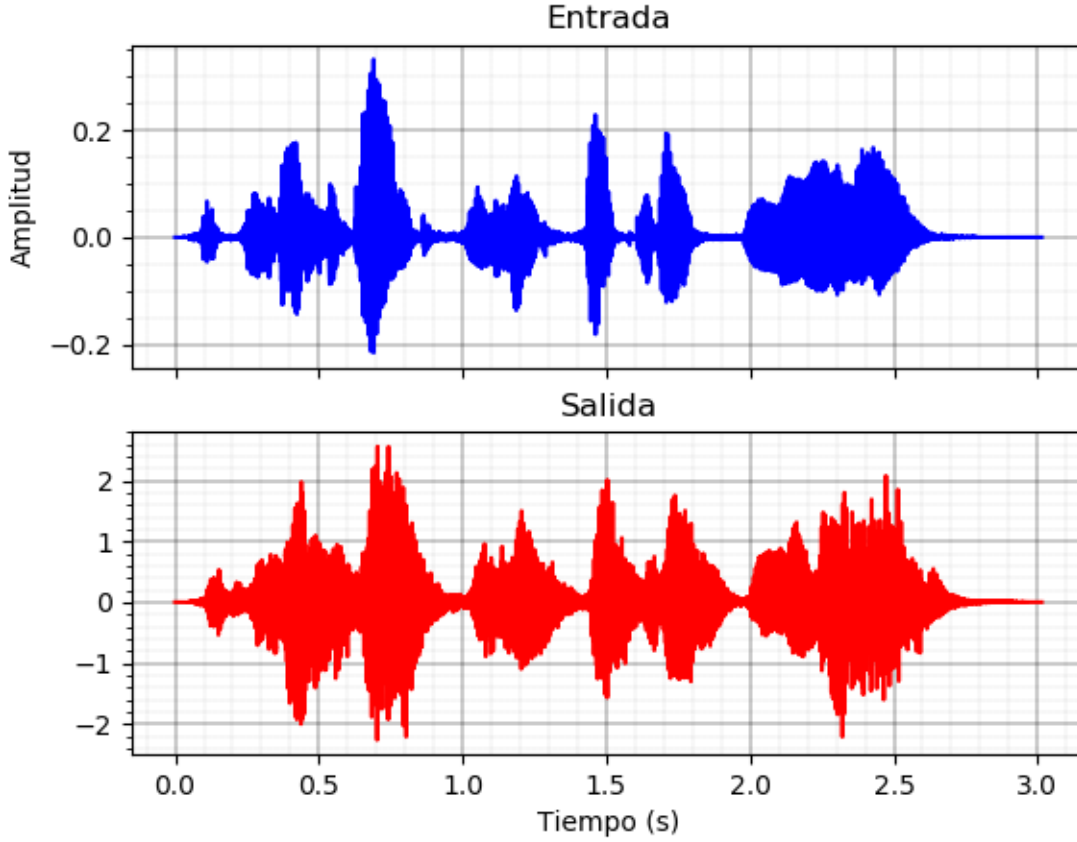


Figura 4: Resultados de un caso de reverberación completa, $N = 12$, $M = 2$, $a_{etapa1} = 0.999$ $a_{comb} = 0.5$

El sonido resultante fue muy interesante, siendo algo robotizado y obtenido tan solo ajustando parámetros del filtro. Esto da la pauta de que, con el reverberador completo se puede fácilmente ajustando sus parámetros conseguir tipos muy distintos de reverberación, sin necesidad de tener que convolucionar con una respuesta al impulso.

1.1.5. Implementación de reverberación por convolución

Se implementó una reverberación utilizando convolución con la respuesta al impulso característica de una fábrica. Se utilizó la ecuación en diferencias genérica siguiente:

$$y(n) = \sum_{i=k}^N h(k)x(n-k) \quad (4)$$

Debido a la complejidad algorítmica de la aplicación de la fórmula se debió limitar la longitud de la respuesta al impulso a solo 20000 muestras.

Se muestran a continuación los resultados con una señal de prueba.

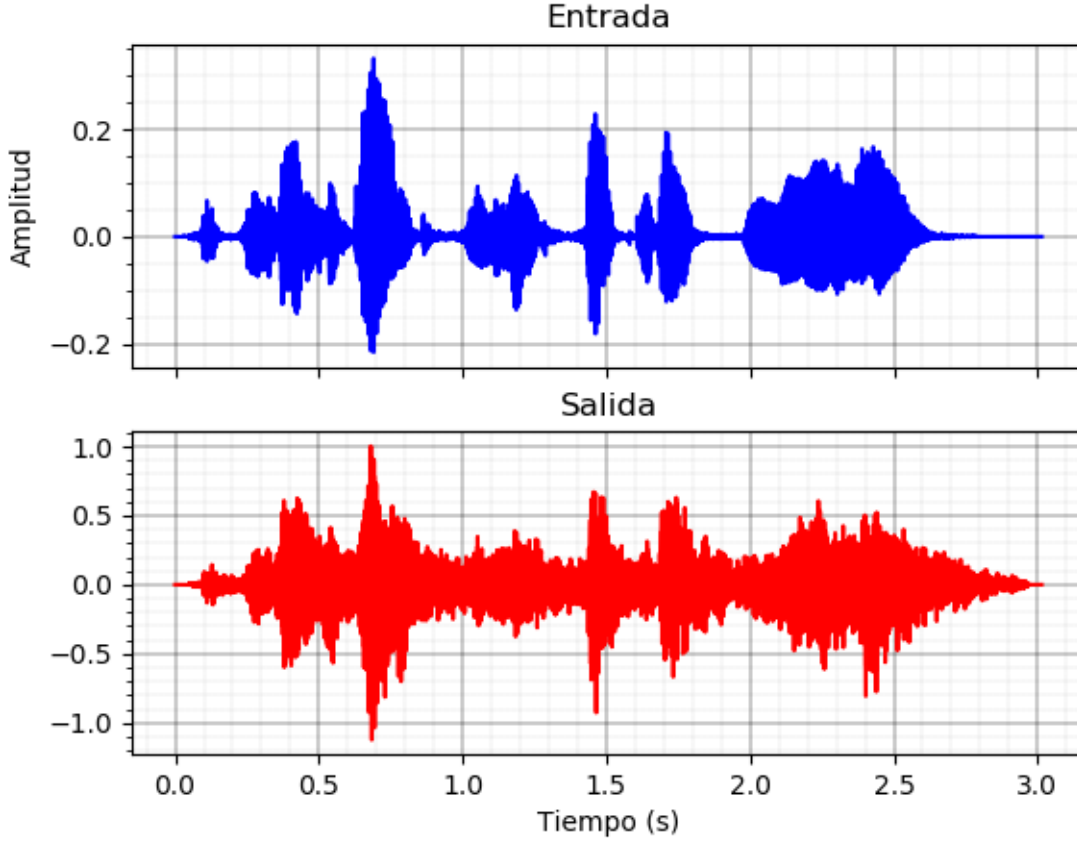


Figura 5: Resultados reverberación característica de una fábrica

Se observa como a diferencia de los casos anteriores la señal tiende mucho más a sostener sonido, esto se debe a que la respuesta al impulso es mucho más completa, y por lo tanto el sonido resultante persiste más tiempo. El sonido que se escuchó se correspondió con un eco muy realista, que podría ser el de una fábrica.

1.2. Efectos basados en delays variables

Para algunos efectos, es necesario que los delays presentes en la ecuación en diferencias que describe al sistema sean variables con el tiempo. Este es el caso tanto del flanger como del vibrato, entre otros.

Los efectos basados en delays variables pueden analizarse de manera general a partir de un filtro comb universal, cuyo diagrama de bloques se observa en la figura 6.

La variación del delay está dada por $M(n)$ (que debe ser $\geq 0 \forall n$ para que el sistema sea causal), mientras que los factores FF (feedforward), FB (feedback) y BL (blend) determinan qué tipo de efecto se producirá.

Las ecuaciones de este sistema son:

$$\begin{cases} x_h(n) = x(n) & +FB \cdot x_h(n - M(n)) \\ y(n) = BL \cdot x_h(n) & +FF \cdot x_h(n - M(n)) \end{cases} \quad (5)$$

Reemplazando la primera ecuación en la segunda, obtenemos que:

$$x_h(n - M(n)) = \left(\frac{1}{BL \cdot FB + FF} \right) \cdot y(n) - \left(\frac{BL}{BL \cdot FB + FF} \right) \cdot x(n)$$

Aplicando este resultado en la primera ecuación de 5, se llega a:

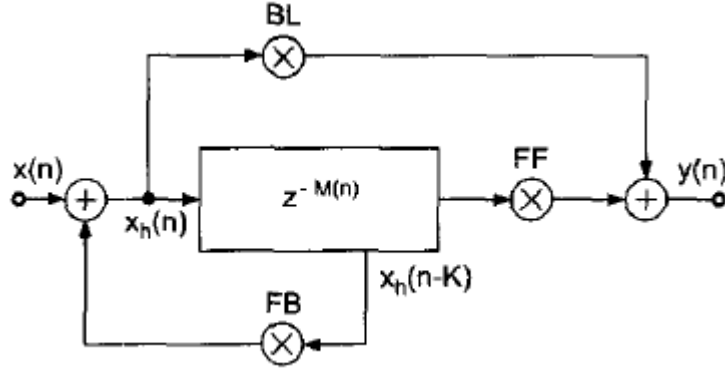


Figura 6: Diagrama de bloques del filtro comb universal

$$x_h(n) = \left(\frac{FF}{BL \cdot FB + FF} \right) \cdot x(n) + \left(\frac{FB}{BL \cdot FB + FF} \right) \cdot y(n) \quad (6)$$

Finalmente, reemplazando con esta expresión de $x_h(n)$ en la segunda ecuación del sistema 5, se obtiene que:

$$y(n) = BL \cdot x(n) + FF \cdot x(n - M(n)) + FB \cdot y(n - M(n)) \quad (7)$$

La transferencia en función del tiempo resulta entonces:

$$H(z, n) = \frac{BL \cdot z^{M(n)} + FF}{z^{M(n)} - FB} \quad (8)$$

Se ve pues que el filtro instantáneamente se comporta como un comb, si bien la cantidad y posición de los polos dependerán de la modulación $M(n)$ para cada n .

1.2.1. Vibrato

El efecto de vibrato consiste en introducir pequeñas variaciones periódicas en la frecuencia, resultando en una variación periódica de los tonos que se escuchan. Tomando como principio el efecto Doppler, podemos aplicar estos cambios en la frecuencia como cambios en el delay: de la misma manera que a medida que una ambulancia se aleja, se escucha más grave la sirena a causa de que aumenta el delay entre que se produce el sonido y lo escuchamos, si simulamos que el delay sube y baja periódicamente, la nota que se escucha subirá y bajará de la misma manera.

La ecuación que define este efecto es:

$$y(n) = x(n - M(n)) \quad (9)$$

Se ve, pues, que es un caso particular del comb universal, tomando $FF=1$, $FB=0$ y $BL=0$. La transferencia es entonces:

$$H(z, n) = z^{-M(n)} \quad (10)$$

Por lo tanto, el sistema tiene $M(n)$ polos en el origen y no tiene ceros de transmisión.

En la ecuación 9, $M(n)$ representa el delay variable con el tiempo, y se implementa con una senoidal que toma valores naturales entre 0 y un máximo K :

$$M(n) = \left\lfloor \frac{K}{2} \cdot (1 + \sin(2\pi f_0 \cdot nT)) \right\rfloor \quad (11)$$

Los parámetros que caracterizan al vibrato son pues:

$$\begin{cases} f_0 = \text{frecuencia de modulación} \\ K = \text{profundidad de modulación} \end{cases} \quad (12)$$

De acuerdo a lo pautado en la bibliografía sugerida, se tomó $f_0 = 5\text{Hz}$ y $K = 1\text{ms}$.

1.2.2. Flanger

El flanger implementado sigue el modelo sugerido por el libro, en el cual los parámetros son $FB = BL = FF = 0.7$, con $M(n)$ senoidal. La transferencia es pues:

$$H(z, n) = \frac{0.7 \cdot (z^{M(n)} + 1)}{z^{M(n)} - 0.7} \quad (13)$$

La definición de $M(n)$ que usaremos es idéntica a la del vibrato (ecuación 11), es decir, una senoidal que varía entre 0 y un máximo. Los valores óptimos se encontraron en $f_0 = 1\text{Hz}$ y $K=2\text{ms}$.

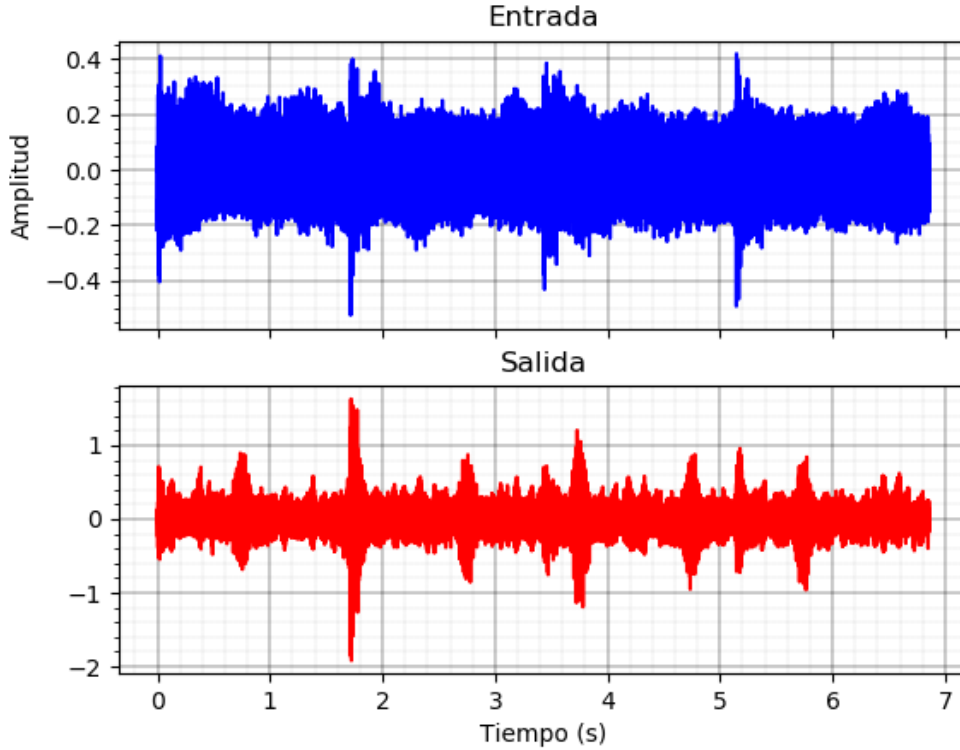


Figura 7: Salida obtenida con el flanger

Se observa en la figura 7 que la salida presenta picos a la misma frecuencia de modulación (una vez por segundo), pero por fuera de los mismos la forma de la función se conserva.

1.3. Robotización

Para este efecto, se siguieron los pasos pautados por la cátedra. Los anchos de ventana que produjeron resultados más satisfactorios fueron $N = 1024$ y $N = 512$, con $f_s = 44.1\text{kHz}$.

Se utilizó la ventana de Hanning con 50 % de overlap. Esta ventana utiliza como $w(n)$ la función de Hann, que para ancho de ventana $N \in \mathbb{N}$ se define como:

$$w(n) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi n}{N-1} \right) \right), \quad 0 \leq n < N \quad (14)$$

Con esta definición, no es cierto que $w(n - N/2) + w(n + N/2) = 1, \forall n, \forall N$, o siquiera constante, como se propone en la consigna. Esto sí ocurriría si se tomase ancho de ventana $N - 1$ manteniendo la misma definición de $w(n)$, pero se pierde en este caso simetría, y la función no se anula en los bordes. Se obtuvieron resultados más satisfactorios con la versión no COLA (constant overlap-add), e incluso empíricamente se verifica que para los anchos de ventana utilizados, si bien la suma no es 1 ni constante, es consistentemente mayor a 0.95 en todo tiempo.

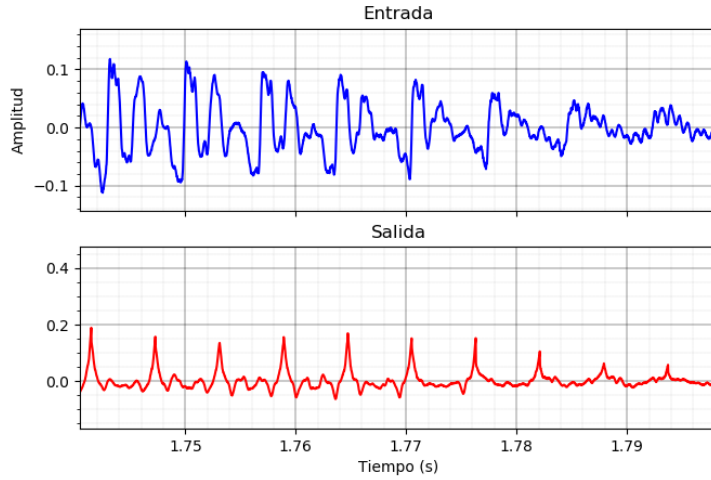


Figura 8: Salida obtenida con la robotización, con ancho de ventana $N = 512$ muestras

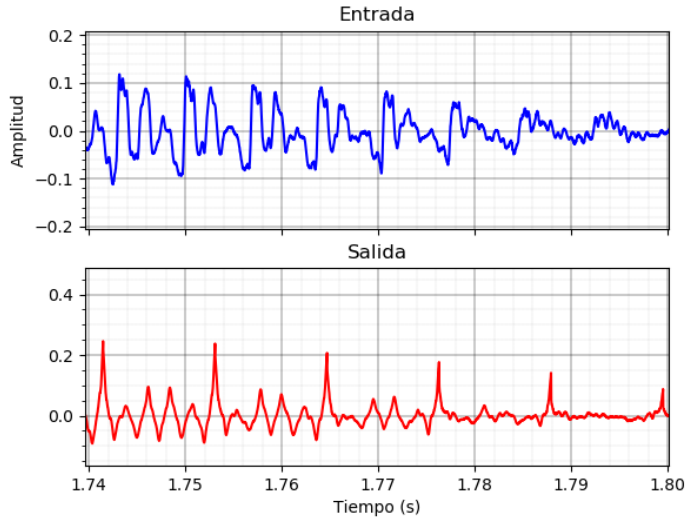


Figura 9: Salida obtenida con la robotización, con ancho de ventana $N = 1024$ muestras

En cuanto a los resultados, en las figuras 8 y 9 se observa la salida con los dos anchos de ventana con mejor performance. A grandes rasgos, se ve que cada ventana (identificable por simple inspección, siguiendo el patrón de los picos de la salida, que es el doble de rápido para la ventana más pequeña) posee aproximadamente la misma forma, y sólo se modula en amplitud, siguiendo la envolvente de la entrada. Esto es consistente con el objetivo del efecto de eliminar la información de los cambios de pitch.