

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

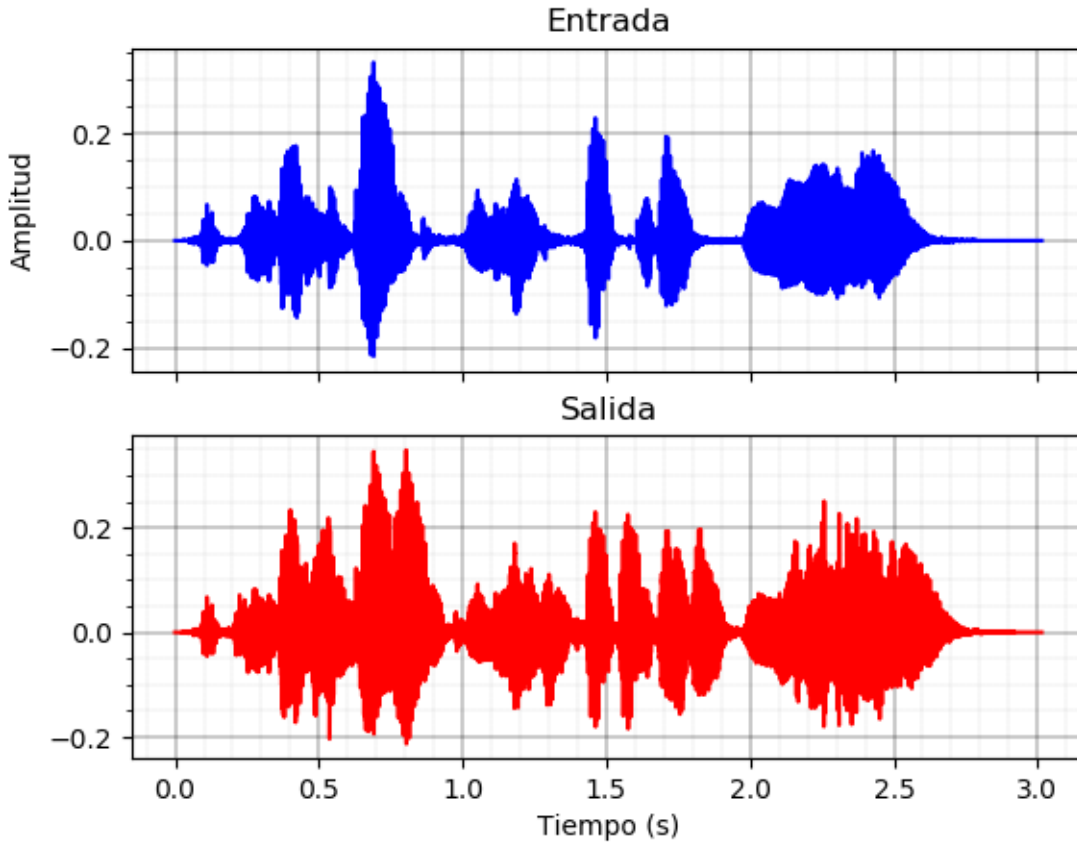


Figura 1: Resultados con $M = 5000$, $g = 0.999$

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

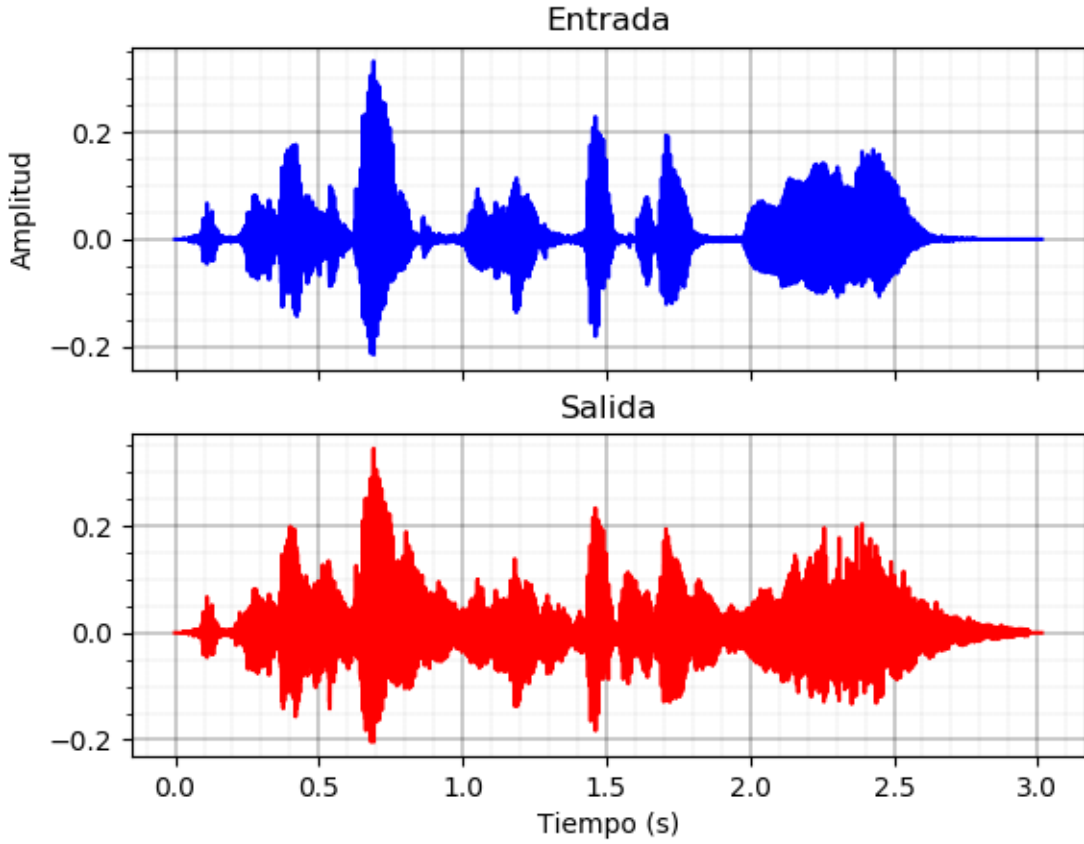


Figura 2: Resultados reverberación plana con $M = 500$, $g = 0.5$

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

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

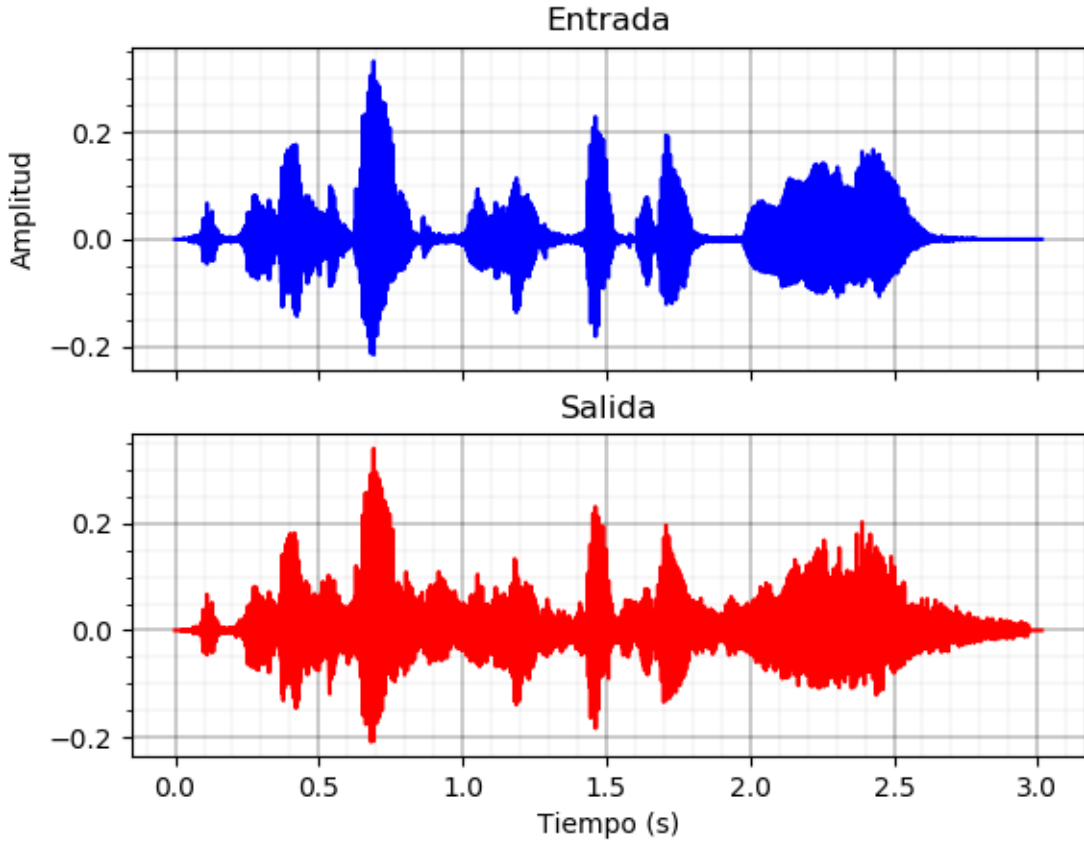


Figura 3: Resultados reverberación con pasabajos $M = 500$, $g = 0.5$

La señal fue similar al resultado del caso anterior con una sutil diferencia, el sonido se escuchó un con poco menos ruido, esto se debe muy probablemente a que el filtro pasa bajos evito 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. Se eligió el sistema denominado Schroeder. El mismo consistió de la conexión en paralelo de N reverberadores planos, continuados de M filtros tipo comb. Se utilizó algunos criterios de los expresados en los apuntes de clase como también se jugó empíricamente para conseguir sonidos de reverberación interesantes. A continuación se muestran los resultados

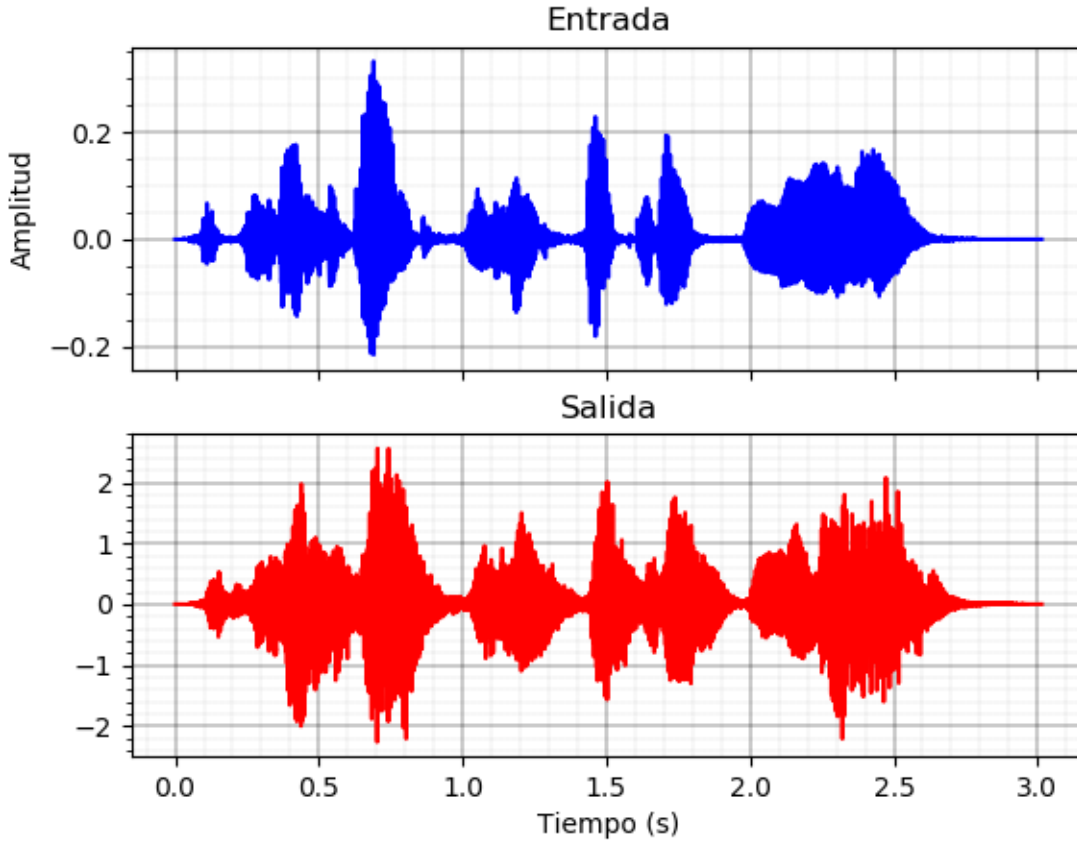


Figura 4: Resultados de un caso de reverberación completa, $N = 12$, $M = 2$, $a_{etapa1} = 0.999$ $a_{comb} = 0.5$

El sonido resultante fue muy interesante, fue algo robotizado y conseguí tan solo ajustando parametros del filtro. Esto da la pauta de que con el reverberador completo se puede facilmente ajustando sus parametros 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 implemento una reverberación utilizando convolución con la respuesta al impulso característica de una fabrica. Se utilizo la ecuación de diferencias générica siguiente

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

Debido a la complejidad algoritmica 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

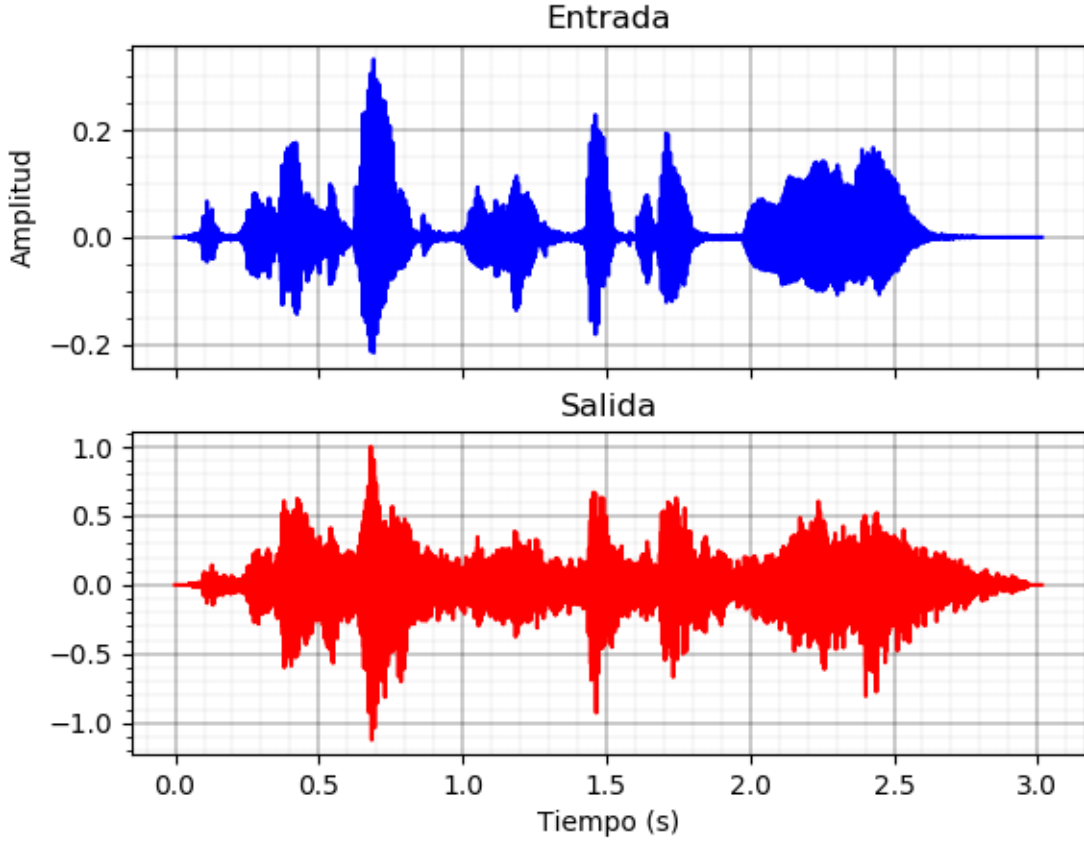


Figura 5: Resultados reverberación característica de una fábrica

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 de 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:

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

Reemplazando la primera ecuación en la segunda, obtenemos que:

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

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

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

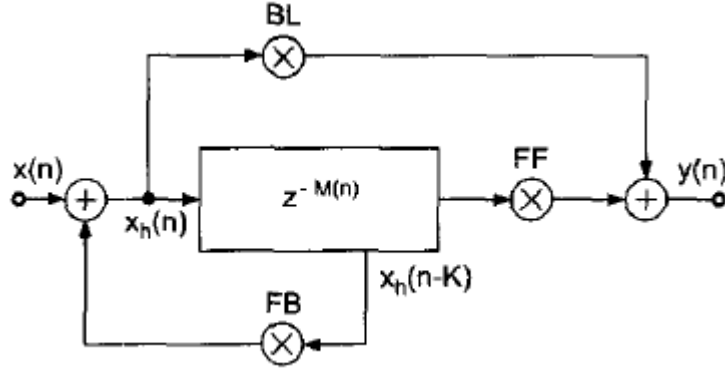


Figura 6: Diagrama de bloques del filtro comb universal

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, 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:

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

1.2.2. Flanger

El flanger es similar al vibrato, en cuanto a que también estará presente en la salida la entrada con un delay variable. Sin embargo, la misma es sumada (con un cierto factor de ponderación) a la entrada actual, obteniéndose:

$$y(n) = x(n) + g \cdot x(n - M(n)) \quad (13)$$

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.

Para obtener la respuesta en frecuencia de este filtro, se puede calcular la respuesta al impulso:

$$h(n) = \delta(n) + g \cdot \delta(n - k(n))$$

Y por lo tanto se obtiene:

$$H(z, n) = 1 + g \cdot z^{-k(n)} = \frac{z^{k(n)} + g}{z^{k(n)}}$$

Por lo tanto, el flanger puede interpretarse como un filtro FIR comb, con $k(n)$ polos en el origen, y $k(n)$ ceros con radio $g^{-k(n)}$, equidistantes entre sí. Esto quiere decir que tanto el orden como las frecuencias que pasan varían con el tiempo.

1.3. Robotización