

1. Remuestreo

En esta sección, analizaremos los efectos del muestreo instantáneo en una señal AM. La misma es de la forma:

$$X_C(t) = \frac{A_{MAX}}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(2\pi \cdot (f_p - f_m) \cdot t) + \cos(2\pi f_p \cdot t) + \frac{1}{2} \cdot \cos(2\pi \cdot (f_p + f_m) \cdot t) \right) \quad (1)$$

En este caso, se utilizó $f_p = 1\text{kHz}$ y $f_m = 100\text{Hz}$.

Para lograr el muestreo instantáneo, primero se pasa la señal por el sample and hold. Luego, se la vuelve a muestrear, pero esta vez con la llave analógica, de manera tal que a la salida se anule la totalidad del tiempo de sample y se conserve sólo el de hold. Idealmente, esto es equivalente a multiplicar la señal por un tren de deltas (muestreo ideal), y luego convolucionar con un pulso.

¹ Gráficamente, donde había deltas se obtienen pulsos con el ancho del pulso original y la altura del delta que se reemplaza.

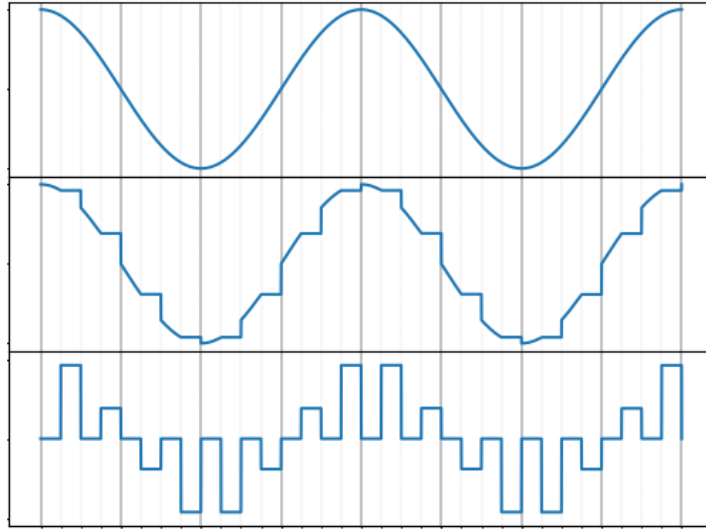


Figura 1: Efecto en una señal de entrada (arriba) de pasar primero por un sample and hold (centro), y luego por la llave analógica (abajo), considerando todo ideal.

Si bien en el caso ideal basta con abrir la llave la totalidad del tiempo que el S&H está en hold y viceversa, al tener en cuenta las limitaciones de los integrados surgen otras consideraciones. A fines de garantizar que la señal se mantenga lo más constante posible en cada muestra, se quiere evitar que a la salida se observe el tiempo de establecimiento del sample and hold. Por lo tanto, se decidió usar en las mediciones un duty levemente menor para la llave que para el S&H.

En cuanto al duty cycle de estas mediciones, cuanto más tiempo esté abierta la llave, más potencia se recuperará a la salida. Sin embargo, hay que tener en

¹Dependiendo de la bibliografía, puede encontrarse que a esto lo llama “muestreo flat top”, mientras que con muestreo instantáneo se refiere al caso de producto con tren de deltas.

cuenta que el S&H debe estar en hold por más tiempo que la llave está abierta por lo anteriormente discutido, pero si esto se lleva al extremo es posible que el integrado no llegue a seguir a la señal en sample y la salida no sea correcta.

Considerando que la máxima frecuencia que entra en el sistema por X_C es $f_p + f_m = 1.1\text{kHz}$, por Nyquist la frecuencia de sampleo debe ser mayor a 2.2kHz , y se decidió establecerla en 3kHz , obteniéndose un período de $167\mu\text{s}$. Por otro lado, sabemos por las mediciones realizadas en el LF398 que el tiempo de adquisición del mismo es de $8\mu\text{s}$, pero dejando un margen de error establecemos que no queremos un tiempo de sample inferior a $16\mu\text{s}$. Se obtiene, entonces, que el S&H debe estar en sample el 9.6 % del tiempo, y por lo tanto se toma 90 % de duty cycle para la llave analógica.

Se procedió, pues a realizar mediciones en las condiciones ya mencionadas, a saber: sin el filtro antialiasing, con el sample and hold y la llave analógica, con $f_s = 3\text{kHz}$, y un duty cycle del 90 %, con X_C en la entrada. El espectro de dicha señal se observa en la figura 2.

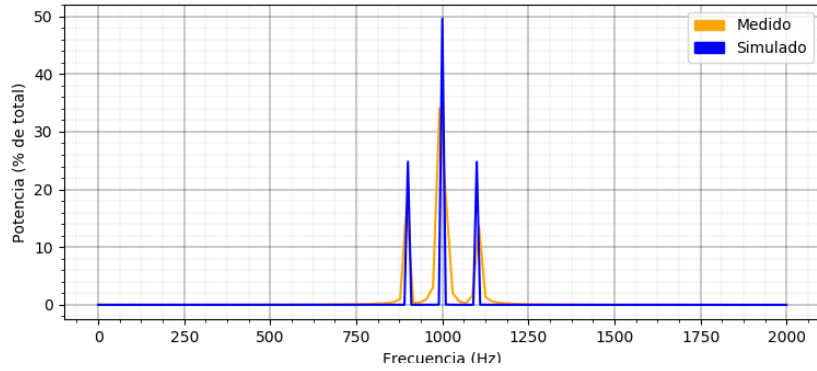


Figura 2: Espectro de la entrada, medido con el analizador de espectro y simulado

En primer lugar, se observa en la figura 3 que, si bien la forma de la función es, a grandes rasgos, la misma (un tren de pulsos modulados por una AM), hay diferencias importantes en el alto de los pulsos. Esto se debe a que no se pudieron replicar exactamente las condiciones de la medición, en cuanto a la fase entre la función y el clock de la llave y del S&H, la cual no es una variable que se tuvo en cuenta en la simulación ni podemos controlar en la medición.

Por otro lado, se observa en la medición que el valor de la salida no se mantiene perfectamente constante en los momentos de hold. Considerando que sólo varía unos pocos mV (menos de 5), esto puede atribuirse al piso de ruido del osciloscopio.

En cuanto a la frecuencia (figura 4), se observa que el espectro de la entrada se replica periódicamente, pero con distintas atenuaciones. Este fenómeno puede explicarse recordando la modelización matemática del muestreo instantáneo: convolución entre la señal muestreada idealmente (con deltas) y un pulso. Al muestrear idealmente la señal, su espectro se hace periódico, y al convolucionar esta nueva señal con un pulso, en frecuencia se multiplica su espectro por un sinc. Por lo tanto, la periodicidad de este espectro proviene de discretizar la señal en el tiempo, mientras que las distintas alturas de cada repetición se deben a la modulación por un sinc.

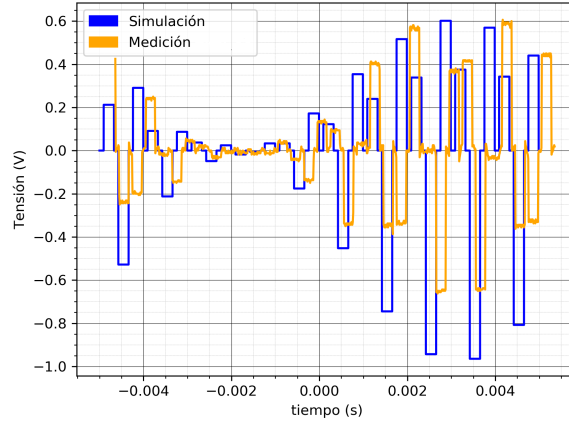


Figura 3: Señal AM a la salida de la llave analógica

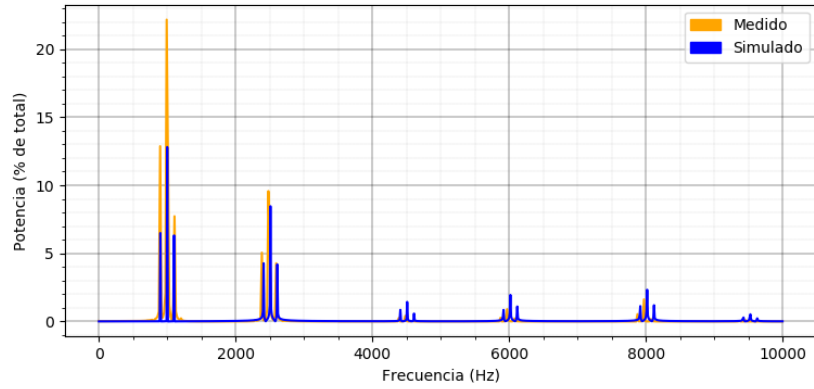


Figura 4: Espectro a la salida de la llave analógica, medido con el analizador de espectro y simulado

Por último, podemos observar la señal a la salida del filtro recuperador en las figuras 5 (en el dominio del tiempo) y 6 (en el de la frecuencia). Al atenuar más de 40dB las réplicas del espectro de la señal de entrada, la de salida deja de estar discretizada en el tiempo, y de esta manera se recupera la señal de entrada.

Si bien en la salida se conserva, en líneas generales, la forma de la entrada, resulta claro de las mediciones espectrales que la señal ha sido distorsionada, puesto que la potencia en $f_p + f_m$ no es igual a la de $f_p - f_m$. Esto puede explicarse teniendo en cuenta que en el filtro recuperador implementado no se logró ganancia constante en la banda pasante, con lo cual cada componente de frecuencia se atenúa de manera diferente. Esto explica también las diferencias entre la tensión máxima en la simulación y en la medición: mientras que idealmente el filtro planteado tiene ganancia prácticamente unitaria en estas frecuencias, debido a la dispersión en los valores de los componentes utilizados, no se logró

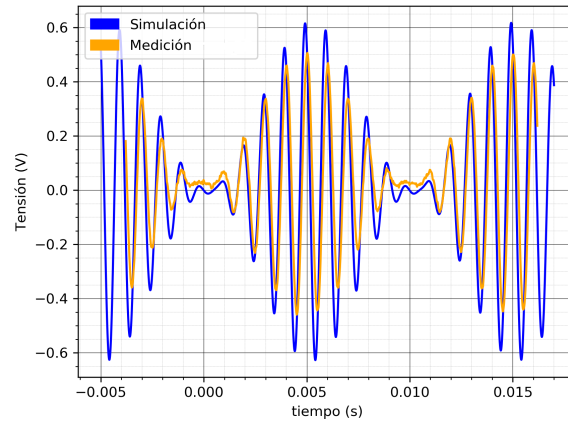


Figura 5: Señal AM a la salida del filtro recuperador

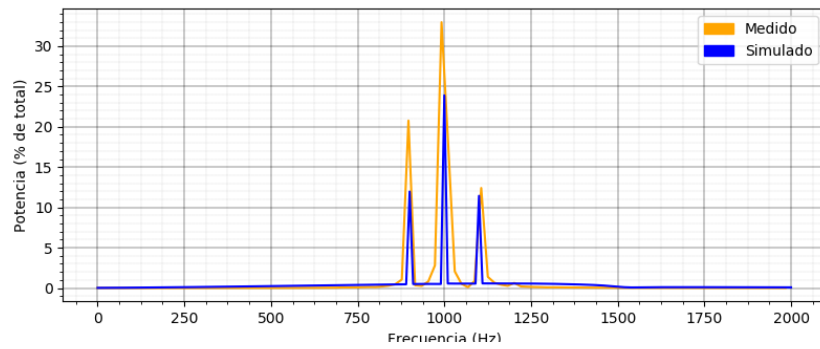


Figura 6: Espectro de la salida del filtro recuperador, medido con el analizador de espectro y simulado