

1. Simulaciones Básicas

Se simularon las funciones descritas en la Tabla (1).

Función
$A \cdot \cos(2\pi \cdot 1.5\text{kHz} \cdot t)$
Triangular simétrica 1.5kHz de pico V_{MAX}
3/2 Seno amplitud VMAX 1.5kHz

Tabla 1: Funciones simuladas.

Se determinó que el valor máximo de amplitud de entrada al sistema es de 5 V, el cual es el mínimo entre los dos valores limitantes: máxima entrada al CD4066 y límite mínimo de distorsión. Además, los límites de tensión de alimentación recomendados son 18 V de la hoja de datos del Sample and Hold.

Para hallar los valores óptimos de A , F_s y DT se simuló utilizando **LTSpiceXVII** las curvas de entrada y salida del sistema variando simultáneamente los valores de las tres variables, previamente fijando los rangos entre las mismas cambian. Estos rangos son de 1 V a 5 V para A , 21 kHz (para cumplir con el doble de la frecuencia de corte del filtro recuperador) a 25 kHz (límite del oscilador) y de 5% (límite del oscilador) a 50% (límite por consigna) para el duty cycle. Finalmente, se utilizó el siguiente script en **Python** para hallar el valor de los tres parámetros tal que la distorsión a la salida respecto a la entrada sea la mínima, computando la correlación entre las dos señales.

```
from PyLTSpice.LTSpiceRawRead import LTSpiceRawRead
from mpl.toolkits.mplot3d import Axes3D
import scipy.signal
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

LTR = LTSpiceRawRead("triangsh.raw")

corr = []
corr_maxes = []
step_vars = []
least_distorted_steps = []
time = LTR.get_trace(0)
vin = LTR.get_trace("V(vin)")
vout = LTR.get_trace("V(vout)")

for i in LTR.get_steps():
    corr.append(scipy.signal.correlate(vin.get_wave(i), vout.get_wave(i)))
    step_vars.append(LTR.steps[i])
    corr_maxes.append(np.max(corr[i]))

least_distorted_steps.append(np.where(corr_maxes == np.max(corr_maxes)))
plt.show()
print("Least distorted: ")

for i in range(len(least_distorted_steps)):
    print(LTR.steps[(least_distorted_steps[i][0][0])])

fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
x = [(i['freqs']/1000) for i in step_vars]
y = [i['dts'] for i in step_vars]
z = [i['amp'] for i in step_vars]
c = corr_maxes
img = ax.scatter(x, y, z, c=c, cmap='Spectral', alpha=1)
cbar = plt.colorbar(img)
cbar.set_label('Correlacion')
plt.title("Maxima correlacion entre entrada y salida")
ax.set_zlabel('Amplitud [V]', rotation=0)
ax.set_ylabel('Duty Cycle [%]', rotation=0)
ax.set_xlabel('Frecuencia [kHz]', rotation=0)

plt.show()
```

Se obtuvieron los siguientes resultados:

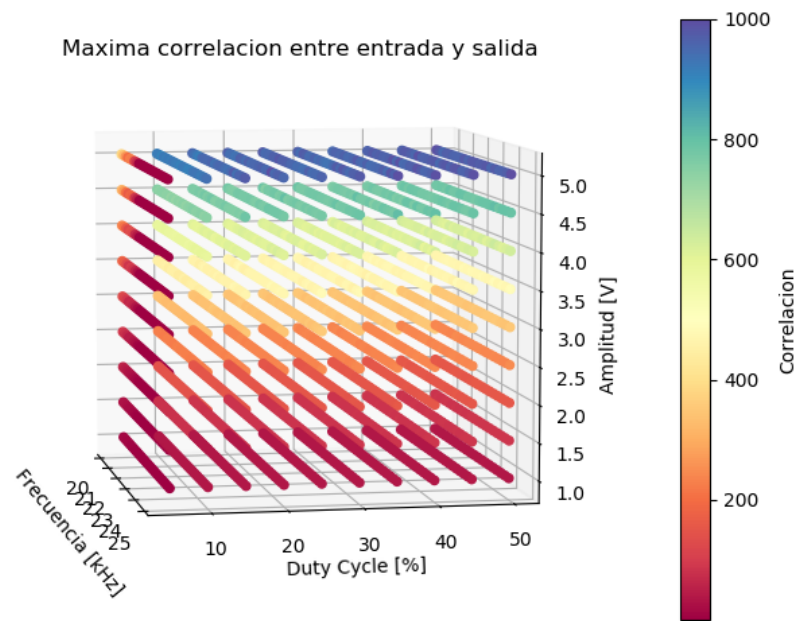


Figura 1: Scatterplot de las simulación para **senoidal con S&H**.

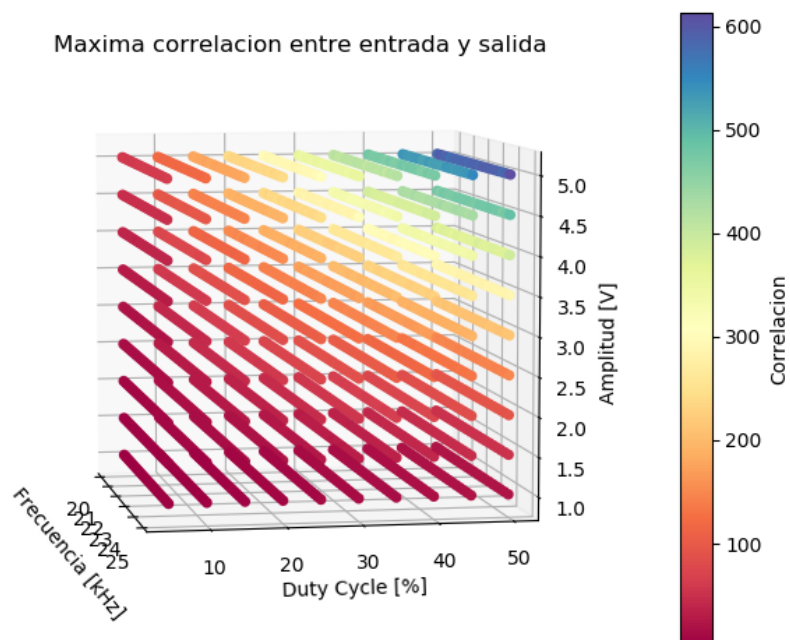


Figura 2: Scatterplot de las simulación para la **senoidal con llave analógica**.

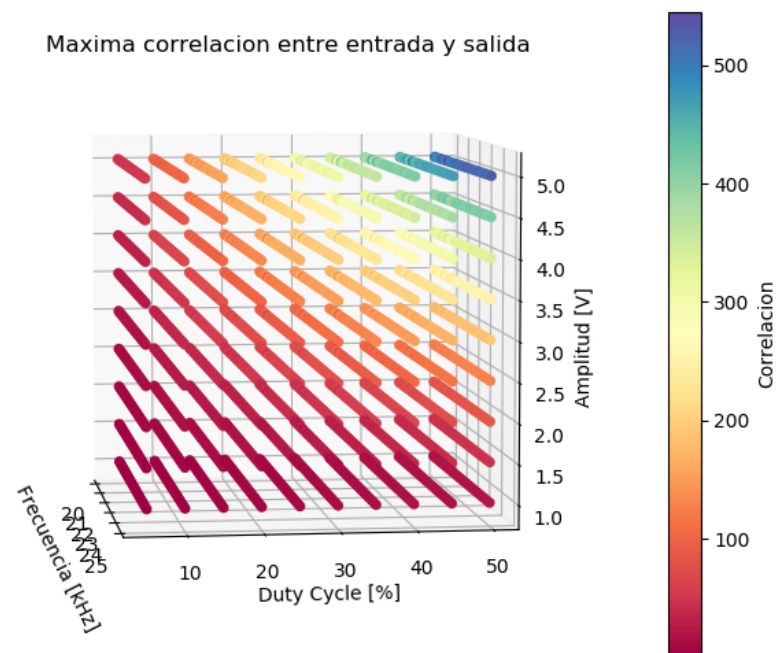


Figura 3: Scatterplot de las simulación para la **triangular con llave analógica**.

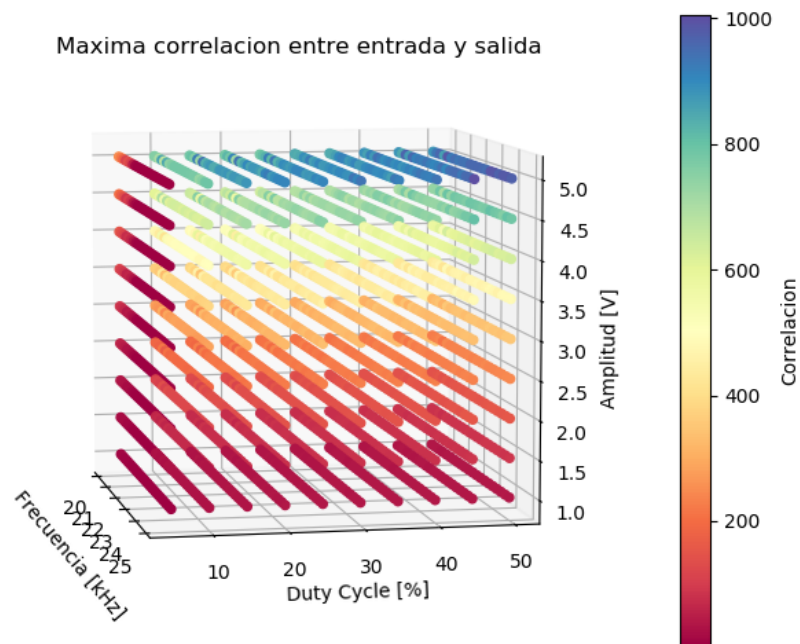


Figura 4: Scatterplot de las simulación para la **triangular con S&H**.

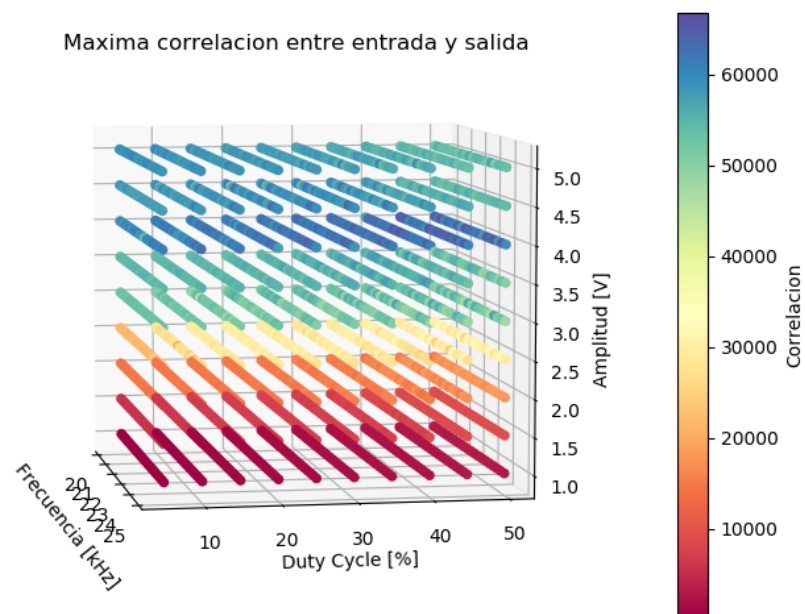


Figura 5: Scatterplot de las simulación para el **seno 3/2** con llave analógica.

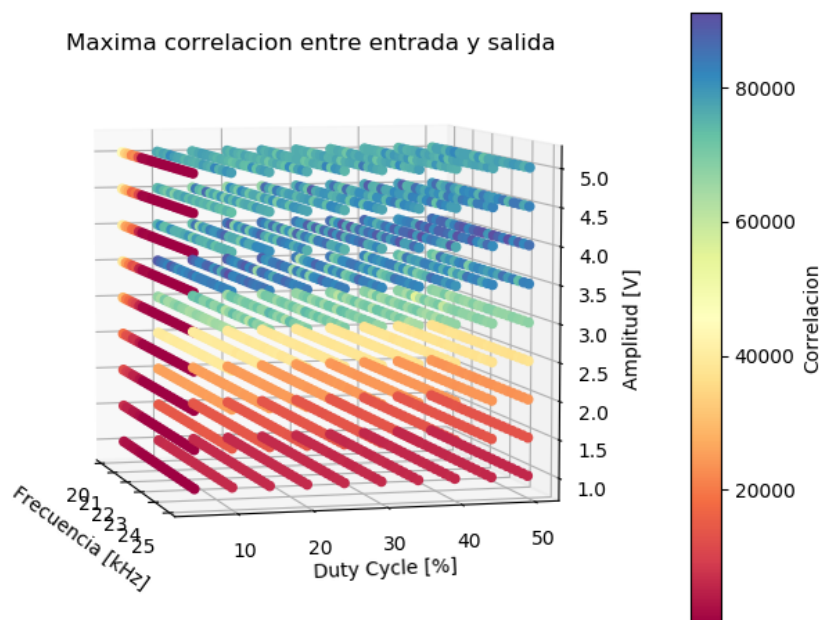


Figura 6: Scatterplot de las simulación para el **seno 3/2** con S&H.

De esta forma se efectuaron las siguientes tablas con los parámetros para la menor distorsión para cada circuito junto a la relación entre la potencia a la salida versus la salida a la entrada, es decir, $P_r = \frac{P_{out}}{P_{in}}$:

Entrada	A [V]	F _s [Hz]	DT [%]	P _r
Coseno	5	24000	20	1.0196
3/2 Seno	4	23250	40	0.7991
Triangular	5	25000	45	0.6585

Tabla 2: Circuito con Sample and Hold.

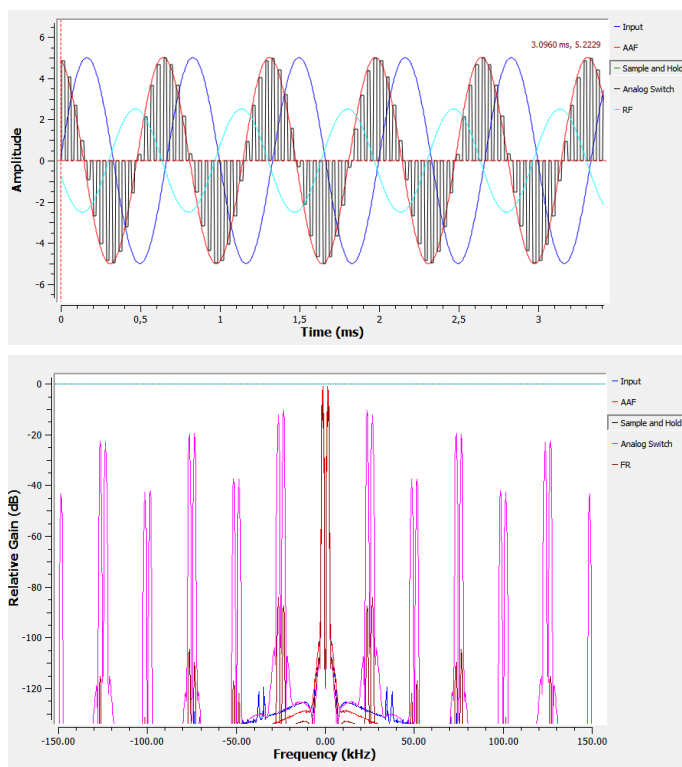
Entrada	A [V]	F _s [Hz]	DT [%]	P _r
Coseno	5	25000	50	0.2305
3/2 Seno	4	22250	45	0.5781
Triangular	5	21250	50	0.1489

Tabla 3: Circuito con llave analógica.

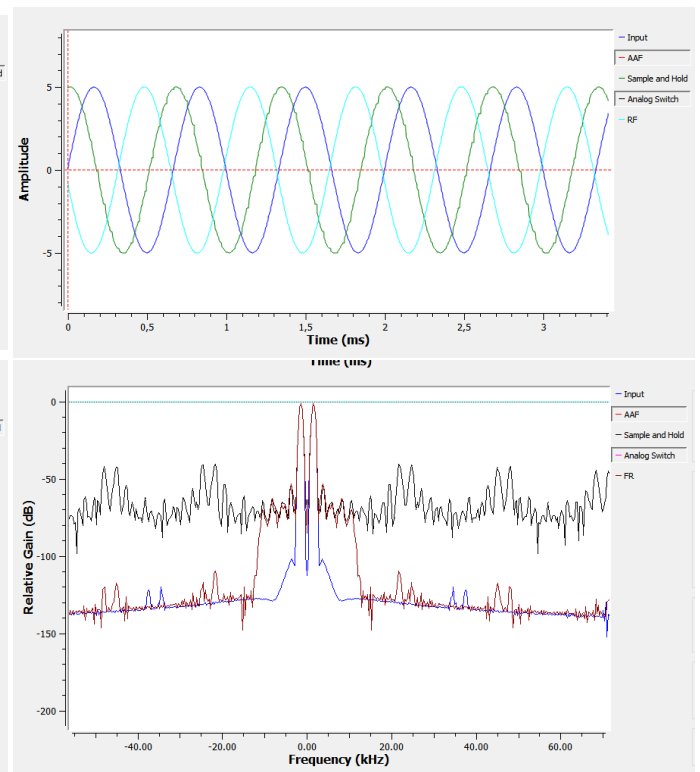
1.0.1. Simulaciones con Python

Se utilizó el framework de **GNURadio** para programar cada módulo del sistema encerrado en una interfaz gráfica, la cual brinda la posibilidad de visualizar tanto la señal en tiempo como su espectro en cada nodo del sistema en el mismo momento. Se puede elegir entre señales sinusoidales, triangulares, 3/2 seno o moduladas AM como entrada, señales cuyo estudio es de interés.

Se realizaron las simulaciones de las funciones en la Tabla (1) con los parámetros que obtenidos y detallados en las Tablas (2) y (3).

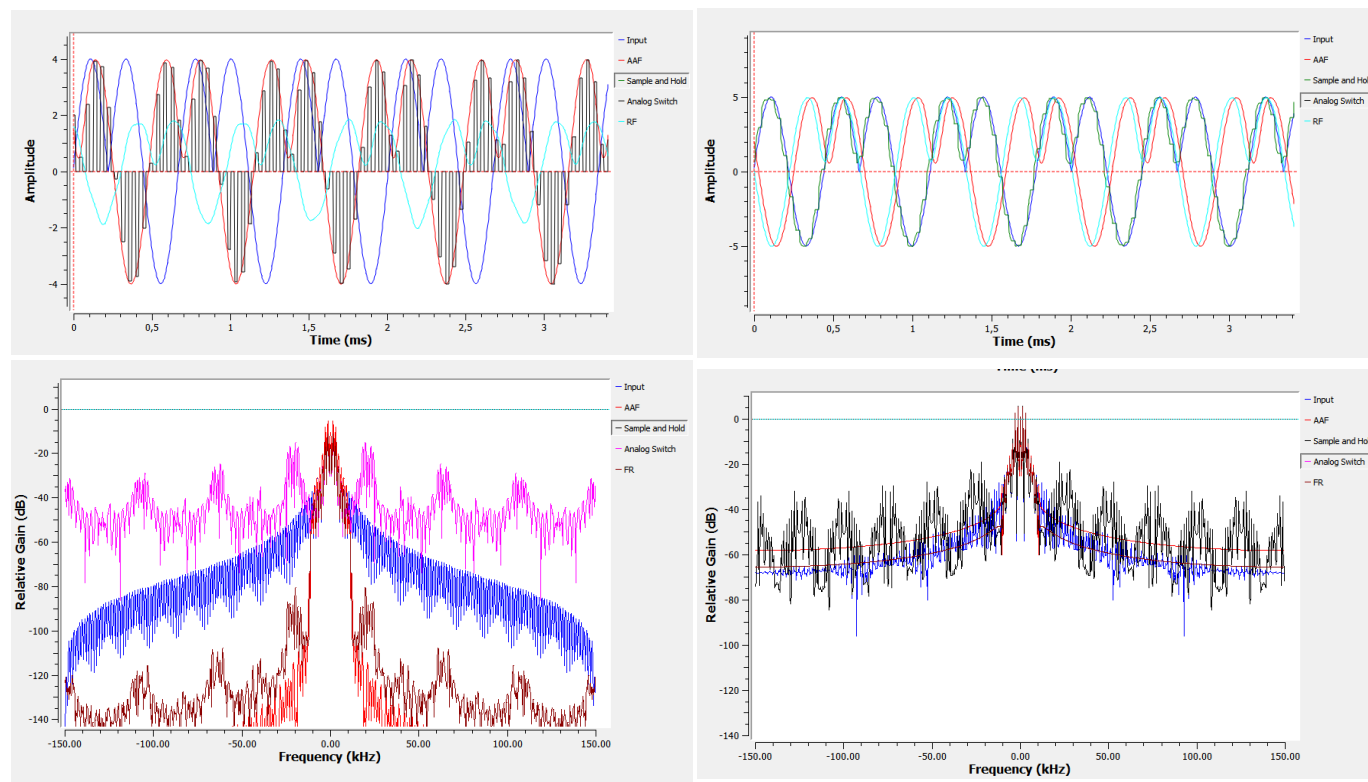


(a) Sistema con llave analógica.



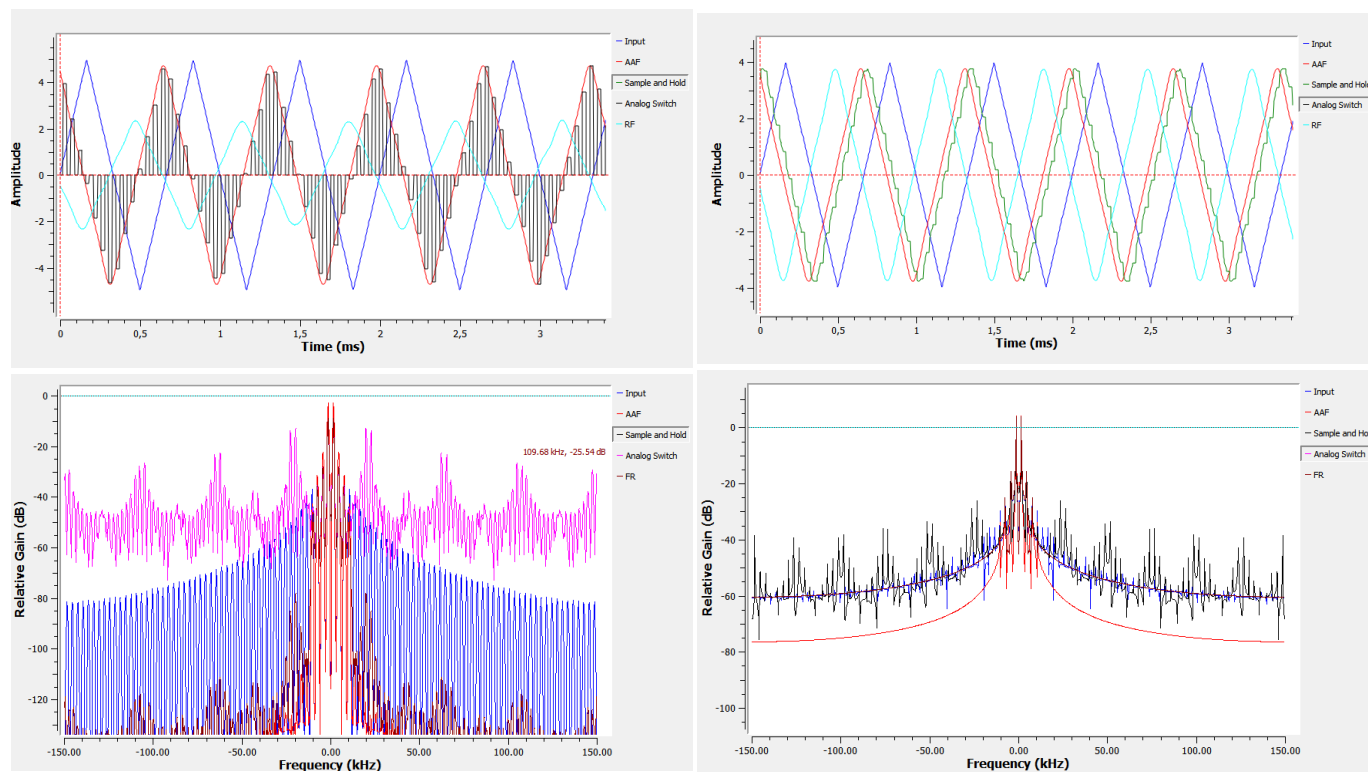
(b) Sistema con sample and hold.

Figura 7: Señal cosenoidal a través del sistema.



(a) Sistema con llave analógica.

(b) Sistema con sample and hold.

Figura 8: Señal seno $3/2$ a través del sistema.

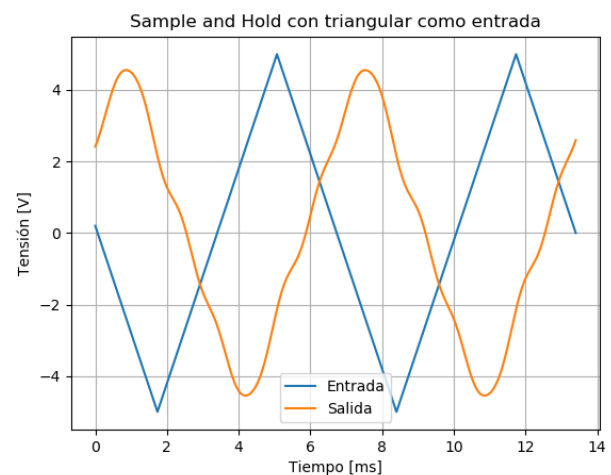
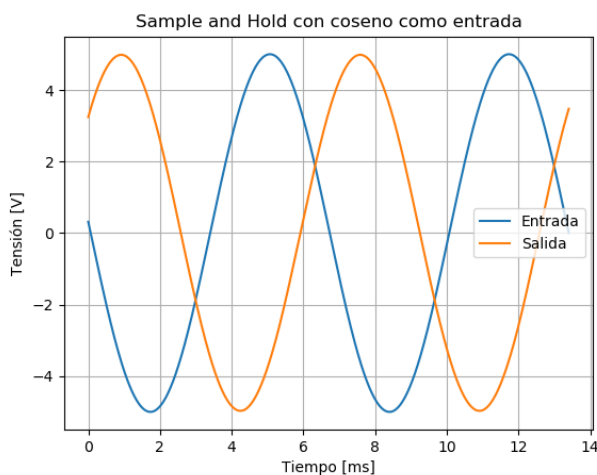
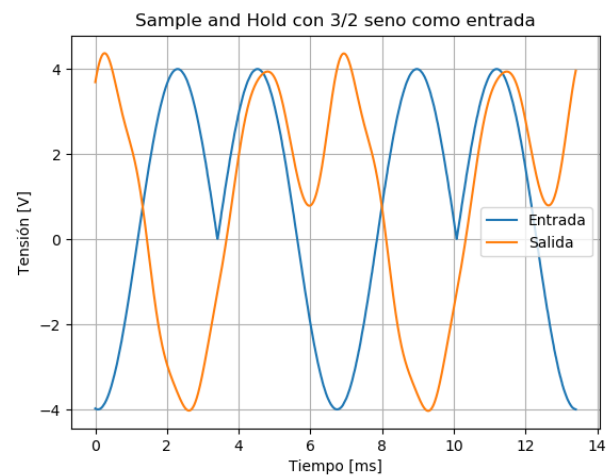
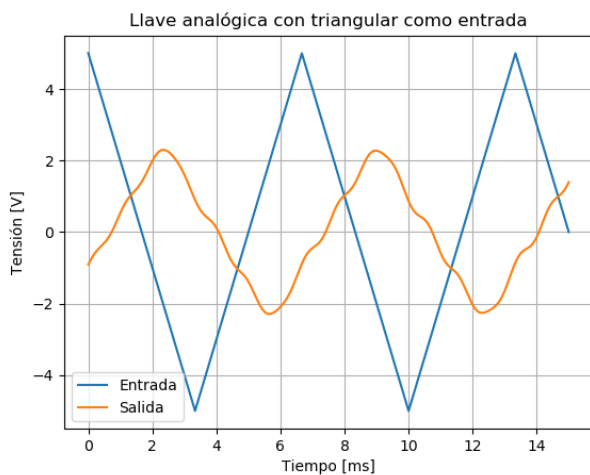
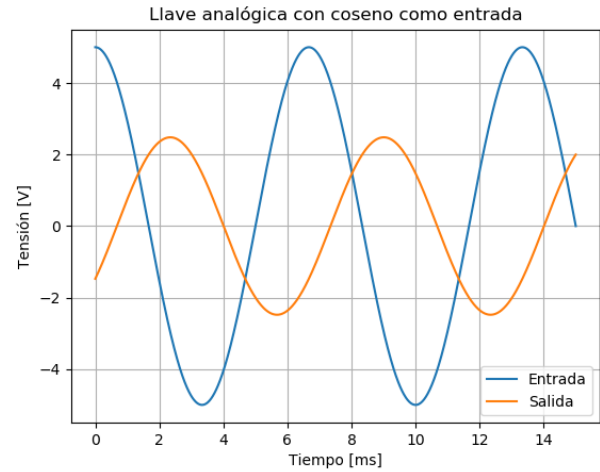
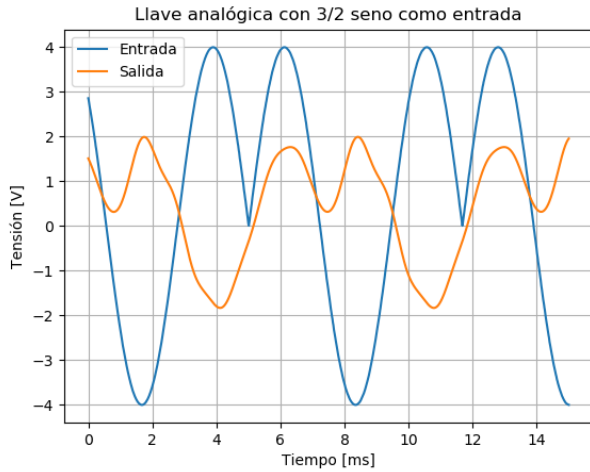
(a) Sistema con llave analógica.

(b) Sistema con sample and hold.

Figura 9: Señal triangular a través del sistema.

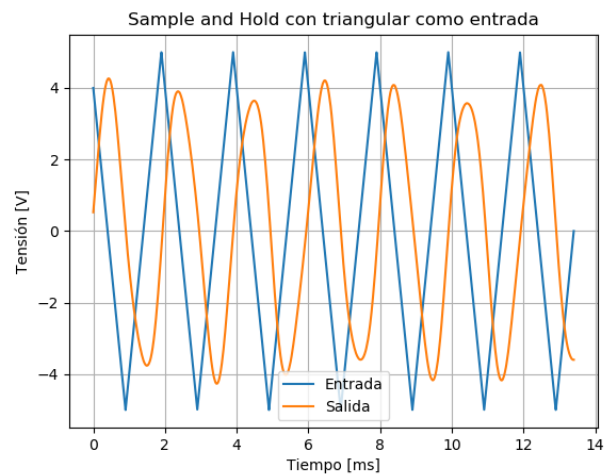
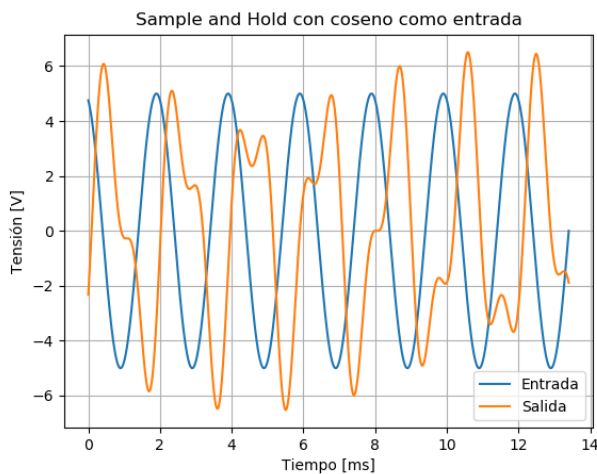
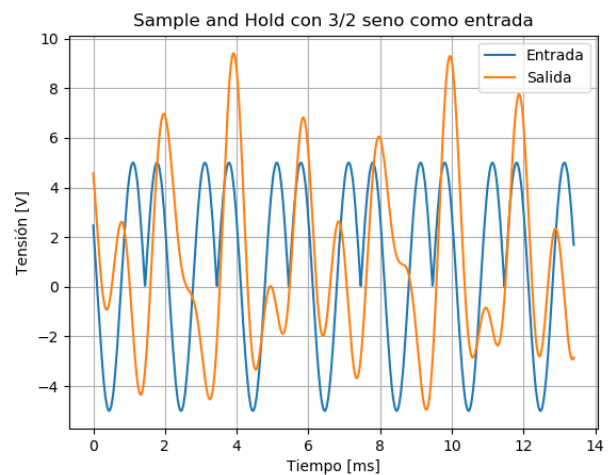
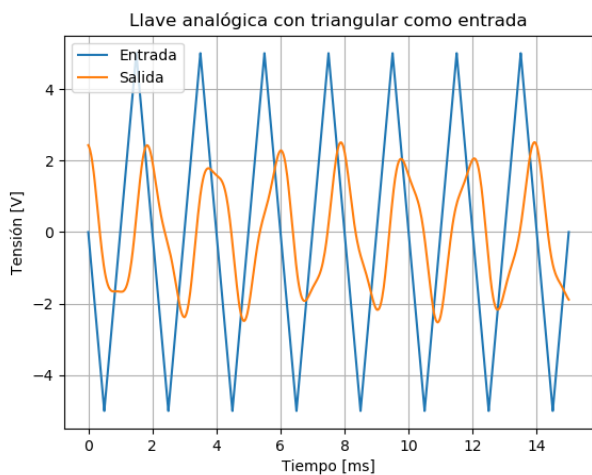
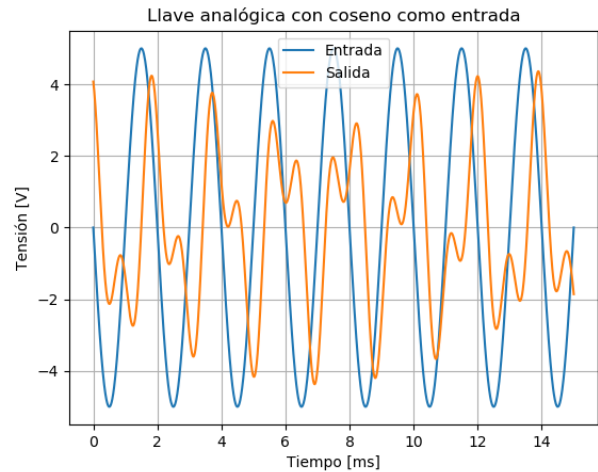
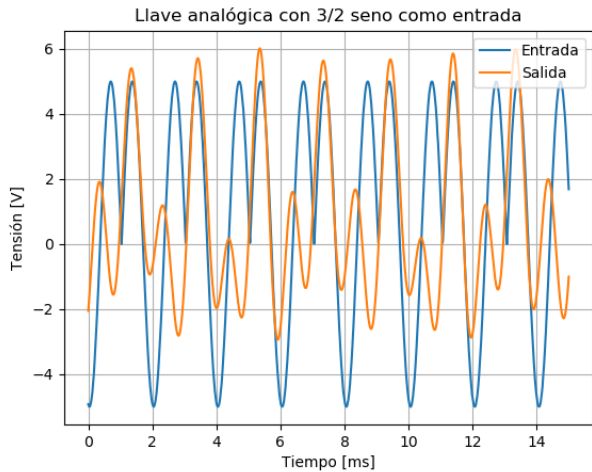
1.0.2. Simulaciones con LTSpice

Para ambos sistemas se realizaron las simulaciones de las funciones en la Tabla (1) con los parámetros que obtenidos y detallados en las Tablas (2) y (3). A continuación se presenta una comparación temporal de la entrada y salida para cada uno de los casos analizados.

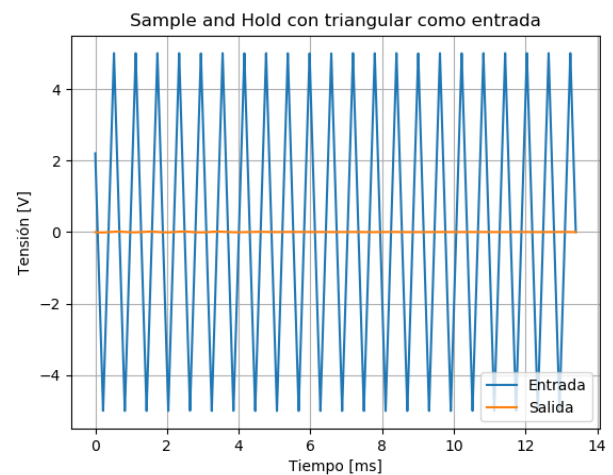
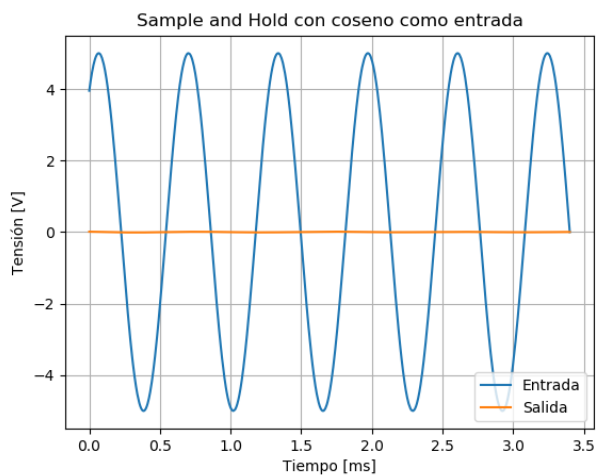
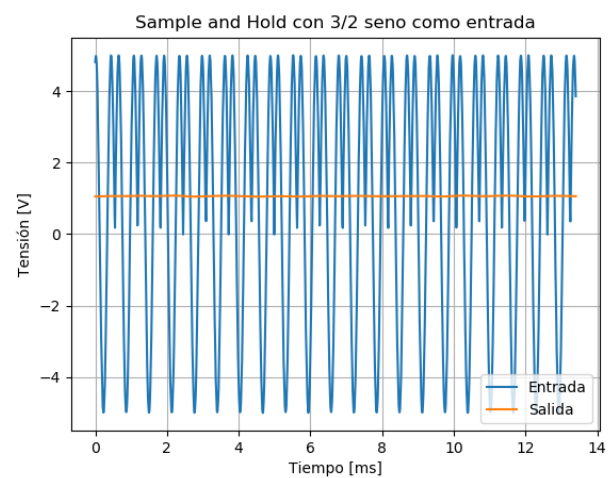
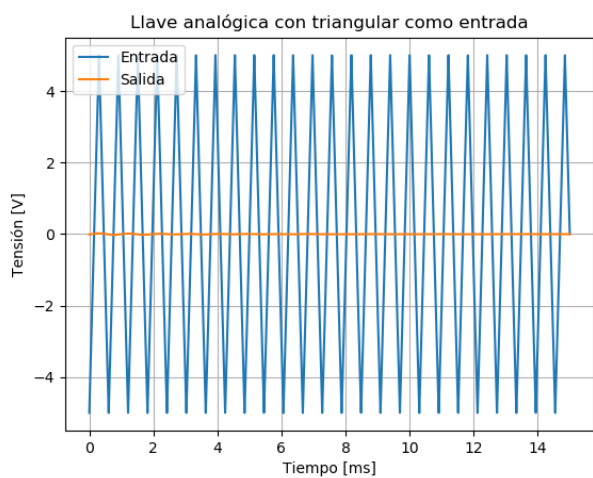
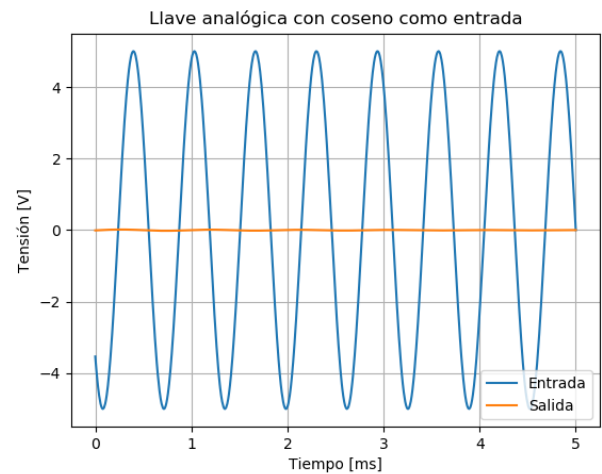
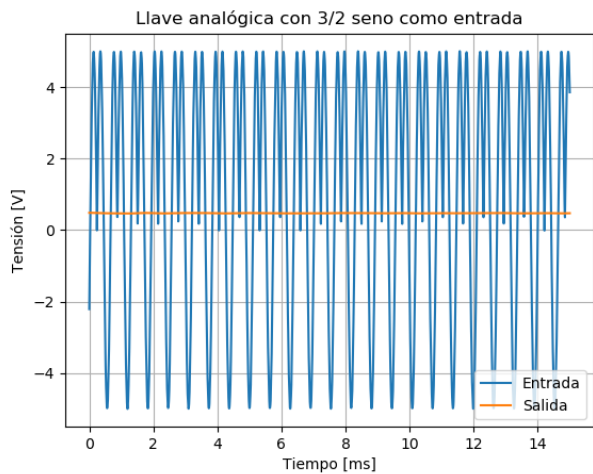


Es notable como la amplitud de las señales muestreadas solamente con sample and hold es casi igual a la amplitud de la señal original, dado que este tipo de muestreo es equivalente a un pseudo-muestreo instantáneo de duty cycle 100%. En el caso de la señal muestreada solamente con la llave analógica, la amplitud a la salida es mucho menor que la amplitud a la entrada, al igual que la potencia a la salida versus la potencia a la entrada. Esto puede verse tanto en

el tiempo como en la frecuencia. En el tiempo, al muestrear con una llave analógica se están introduciendo ceros a la señal original donde antes había valores distintos de cero, esto causa que la potencia de la señal se vea disminuida. En la frecuencia, se puede observar este efecto al tener en cuenta que el espectro de la señal se ve ponderada por el sinc. Nuevamente, se realizaron las mismas simulaciones utilizando una frecuencia de entrada de 5 kHz y una frecuencia de sampleo de 15750 Hz .



Para este caso, se observan alias en la señal recuperada, dado que como la frecuencia de sampleo se encuentra por debajo de dos veces la frecuencia de corte del filtro anti-alias, al recuperar la señal no se logra segmentar correctamente el espectro de la señal original en banda base sino que se recupera también un sobrelapamiento de los espectros repetidos de la señal original. Finalmente, con una frecuencia de entrada de 15750 Hz y una frecuencia de sampleo de 30 kHz .



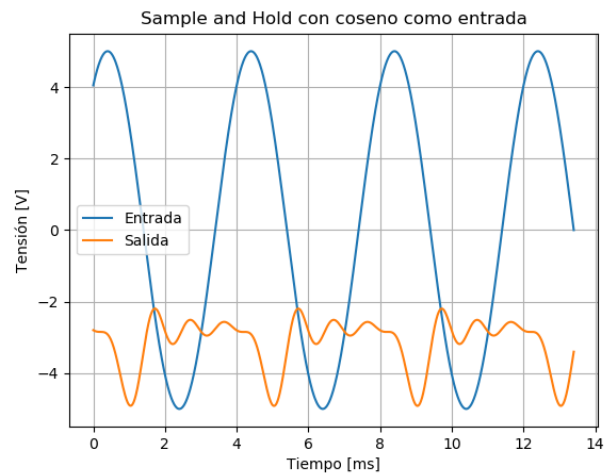
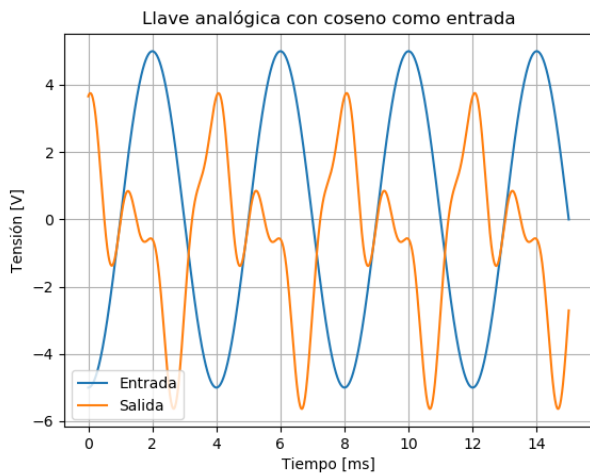
Se calcularon las potencias recuperadas en cada caso

Sistema + Señal	Potencia recuperada $f_{in} = 5kHz$	Potencia recuperada $f_{in} = 15.75kHz$
S&H Coseno	0.8282	2E-06
S&H Seno 3/2	1.1599	0.1100
S&H Triangular	0.8989	3E-06
Llave Coseno	0.3889	6E-06
Llave Seno 3/2	0.5470	0.0203
Llave Triangular	0.2701	5E-06

Tabla 4: Circuito con Sample and Hold.

Se puede observar que la potencia recuperada para los últimos casos es casi nula, dado que el filtro anti-alias posee una gran atenuación para frecuencias mayores o iguales a f_a , por lo que la señal de entrada a la salida del filtro es ínfima.

Se simuló el caso en el que la señal cosenoidal posee misma frecuencia que la frecuencia de muestreo, ambas por debajo de la frecuencia de corte del filtro anti-alias.



JUSTIFICAR MATEMATICAMENTE LO QUE PASA EN LAS IMAGENES DE ARRIBA

$$\mathcal{F}_N(\omega) = \frac{A\tau}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc}\left(\frac{n\tau\omega_S}{2\pi}\right) \mathcal{F}(\omega - n\omega_S)$$

$$\mathcal{F}_N(\omega_S) = \frac{A\tau}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc}\left(\frac{n\tau\omega_S}{2\pi}\right) \mathcal{F}((1-n)\omega_S)$$

$$\mathcal{F}_N(\omega_S) = \frac{A\tau}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{sinc}\left(\frac{(1-k)\tau\omega_S}{2\pi}\right) \mathcal{F}(k\omega_S)$$

Finalmente se tomaron nuevamente ambos sistemas para la entrada triangular y para la 3/2 seno y se fue variando la frecuencia de muestreo. De esta forma, llegando a que esta última variable sea de $11 kHz$, se obtuvieron los siguientes resultados:

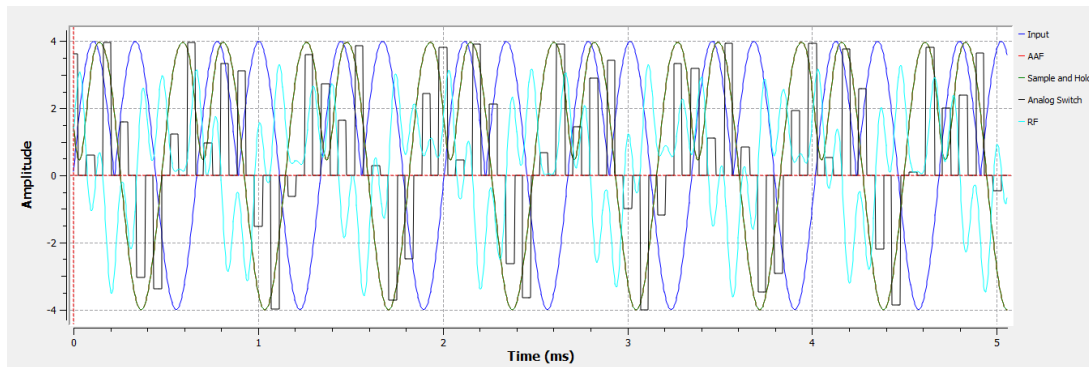


Figura 14: Llave analógica con 3/2 seno.

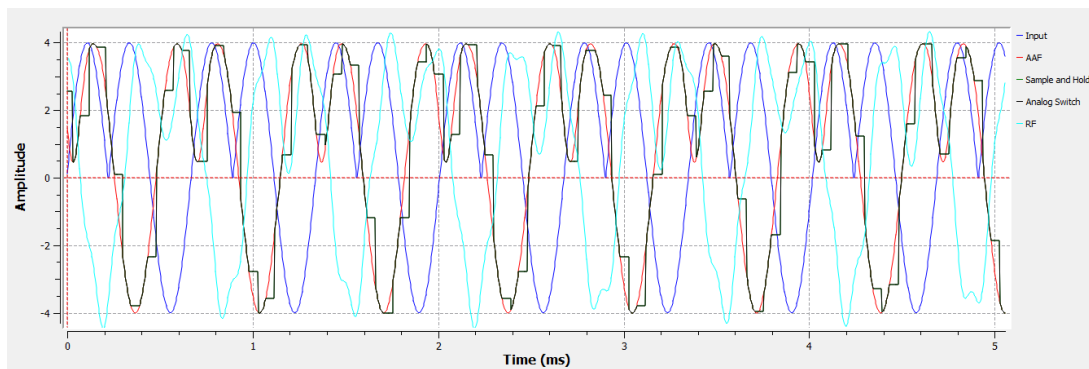


Figura 15: Sample and Hold con 3/2 seno.

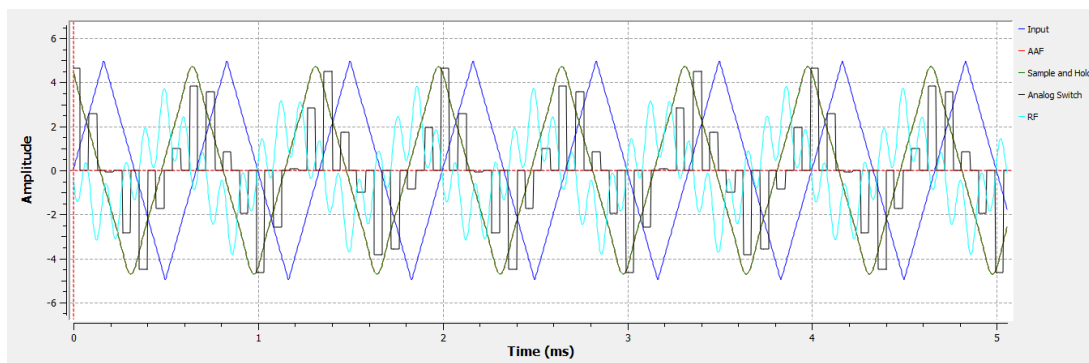


Figura 16: Llave analógica con triangular.

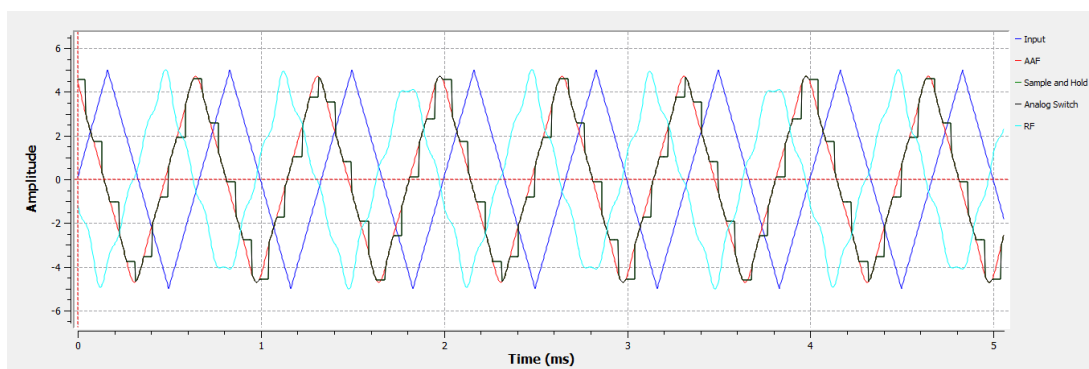


Figura 17: Sample and Hold con triangular.

Dado que la frecuencia de muestreo debe ser superior al doble de la de Nyquist, y dicha condición no está siendo cumplida, se puede observar como la señal recuperada a la salida del sistema se encuentra distorsionada. Esto se debe a la superposición de espectros repetidos en frecuencia de la señal muestreada. Si se trabaja con una mayor al doble de la frecuencia de Nyquist, se garantiza que estos espectros no se superponen. Cabe destacar que al comparar los resultados de ambos sistemas, es notable que el Sample and Hold presenta mejores resultados que la llave analógica dado que el primer sistema mantiene constante la señal en ciertos instantes mientras que el segundo simplemente toma valores nulos, generando una mayor pérdida de información.