

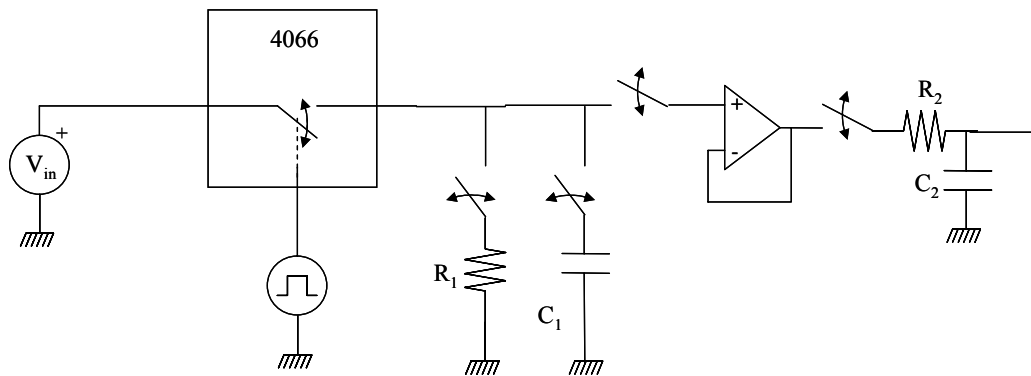
PRÁCTICA LTC-17: DIGITALIZACIÓN DE UNA SEÑAL CUADRADA

1.- Descripción de la práctica

Una señal cuadrada de 2 KHz y 5 voltios de amplitud se digitaliza mediante el circuito de la figura. Como señal de muestreo se utiliza un pulso cuadrado de 0 a 5 voltios y 40 KHz. de frecuencia. Determinar:

- La señal muestreada (muestreo natural) y su espectro.
- Repetir el apartado anterior cuando la señal de muestreo tiene un duty-cycle del 25%, 12% y 1%.
- La señal muestreada (muestreo plano) y su espectro para un duty-cycle del 1%.
- La señal recuperada para el caso del muestreo natural y su espectro.
- La señal recuperada para el caso del muestreo plano y su espectro.
- Repetir el apartado anterior para distintas frecuencias de la señal de muestreo.

NOTAS: $R_1=R_2=10K\Omega$; $C_1=C_2=1nF$



2.- Equipos y materiales

- Generador de señales (2 señales independientes)
- Osciloscopio
- Fuente de alimentación de +7 y de -7 voltios
- Interruptor analógico 4066
- Amplificador operacional 741
- 2 resistencias de $10K\Omega$
- 2 condensadores de 1 nF

3.- Estudio teórico

El estudio teórico de la práctica se realiza en el problema PTC0004-25

4.- Resultados

Apartado a)

Describimos aquí los resultados experimentales obtenidos en laboratorio. La Figura 1 representa (en amarillo) la seña original (la cuadrada), la señal de muestreo (en violeta) y la señal muestreada (en azul).

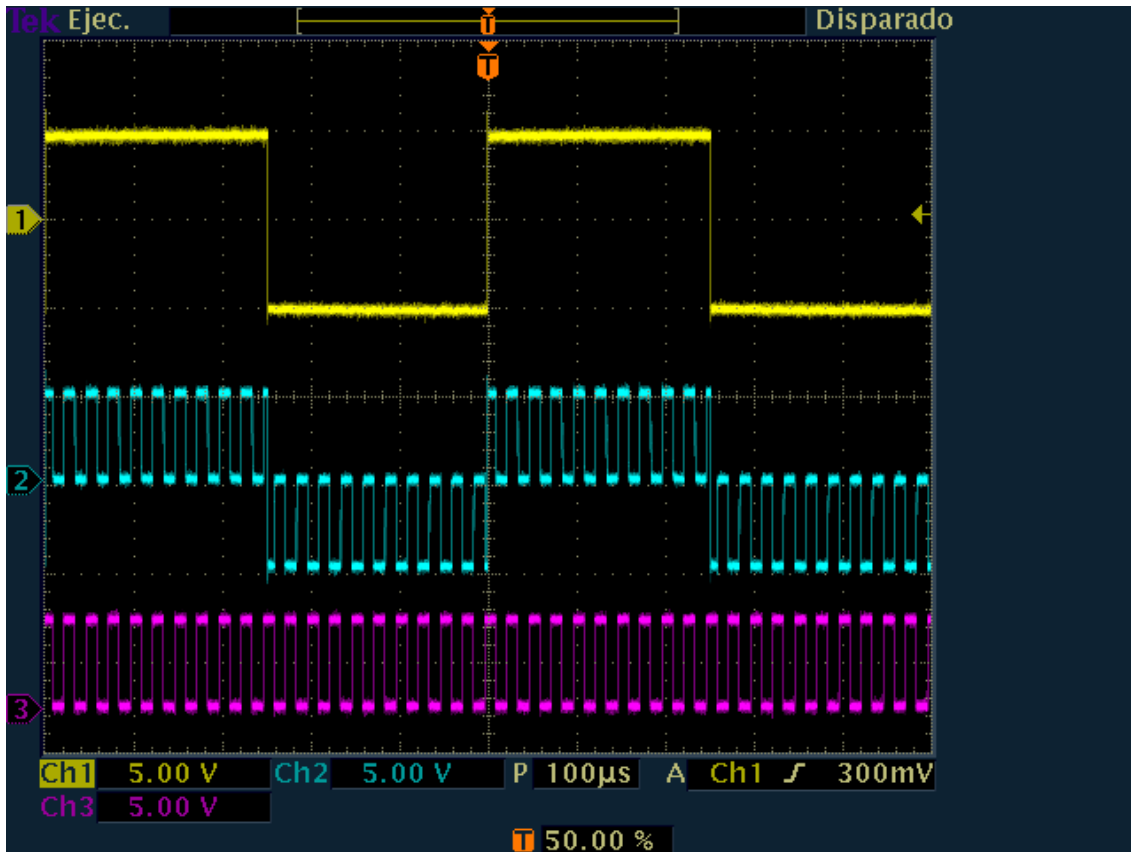


Figura 1. Muestreo de señales

En las gráficas siguientes se refleja un detalle de la señal muestreada (figura 2), así como los correspondientes espectros de la seña original (figura 3) y de la señal muestreada (figura 4 y figura 5).

Podemos observar cómo el espectro de la señal original es el típico de una onda cuadrada, mientras que para la señal muestreada aparece el espectro repetido y duplicado para cada múltiplo de la frecuencia de la señal de muestreo (40 KHz, 80 KHz, etc.) Observamos también cómo en la señal muestreada cada repetición del espectro tiene una amplitud diferente de acuerdo con lo esperado teóricamente.

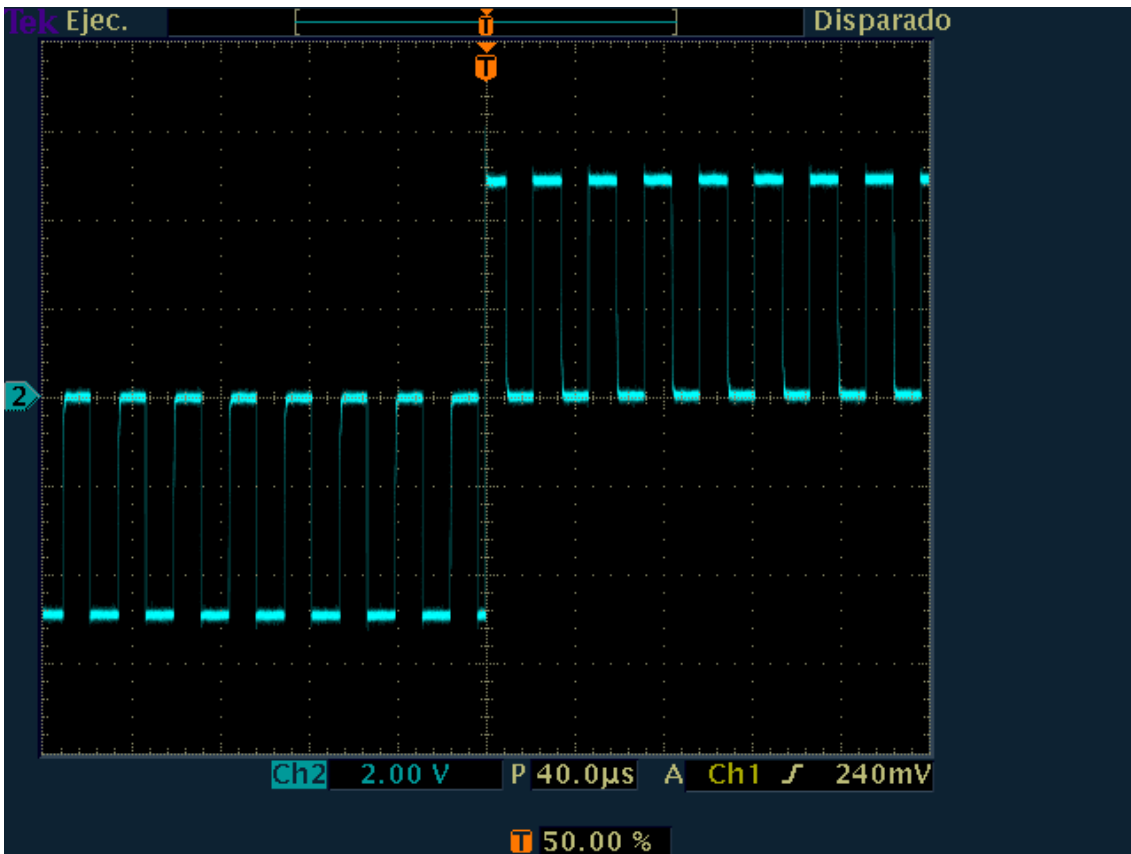


Figura 2. Señal muestreada (detalle)

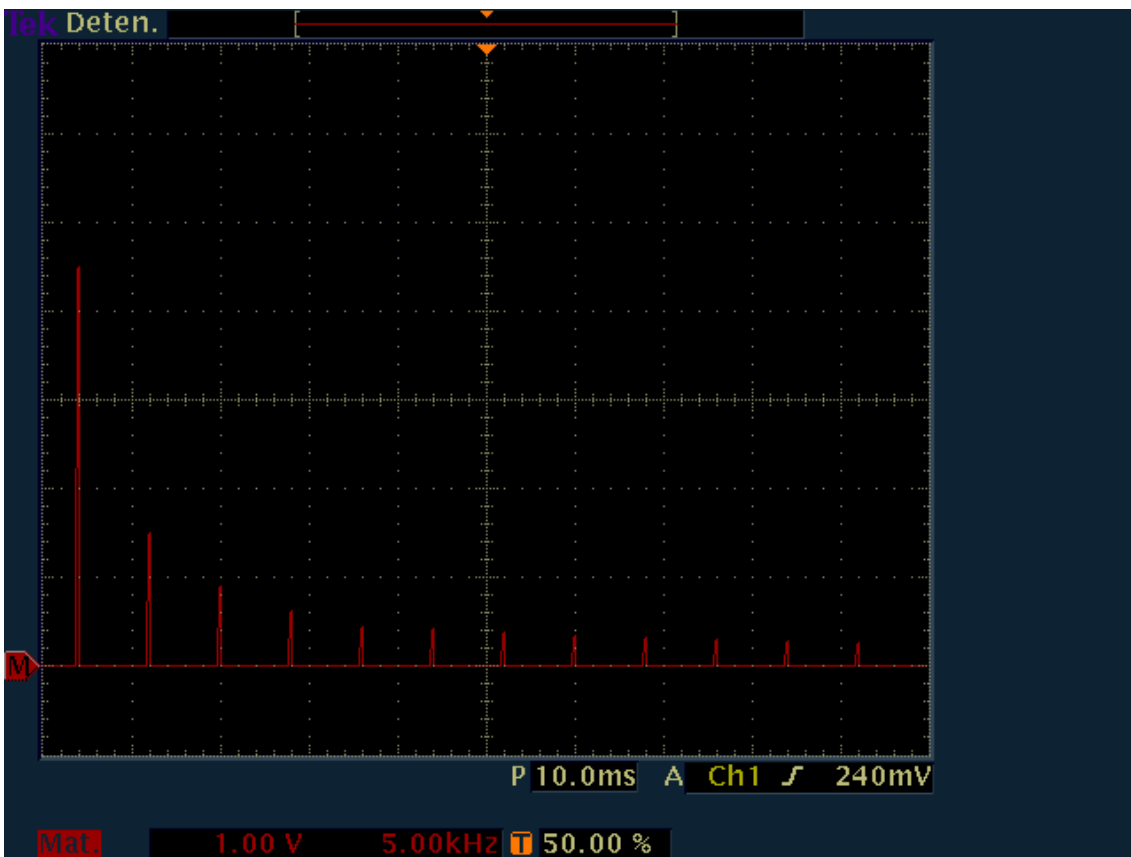


Figura 3. Espectro de la señal original

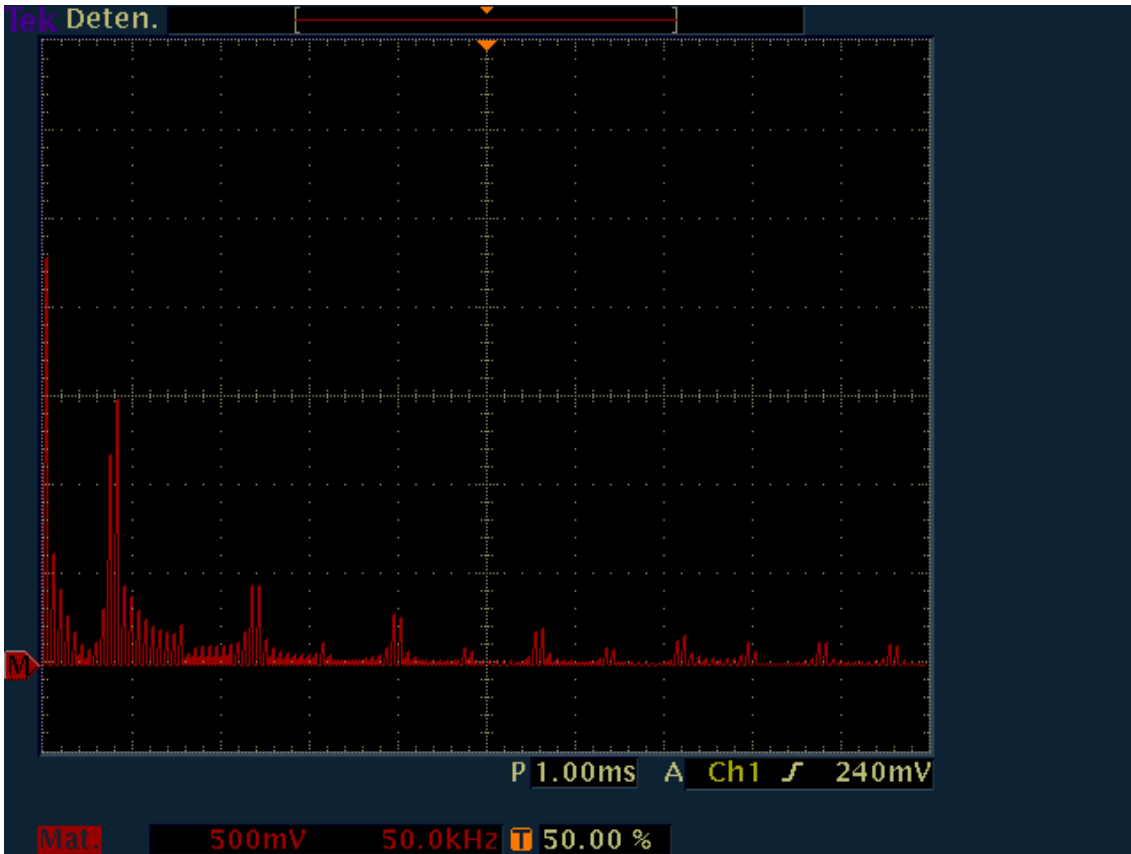


Figura 4. Espectro de la señal muestreada

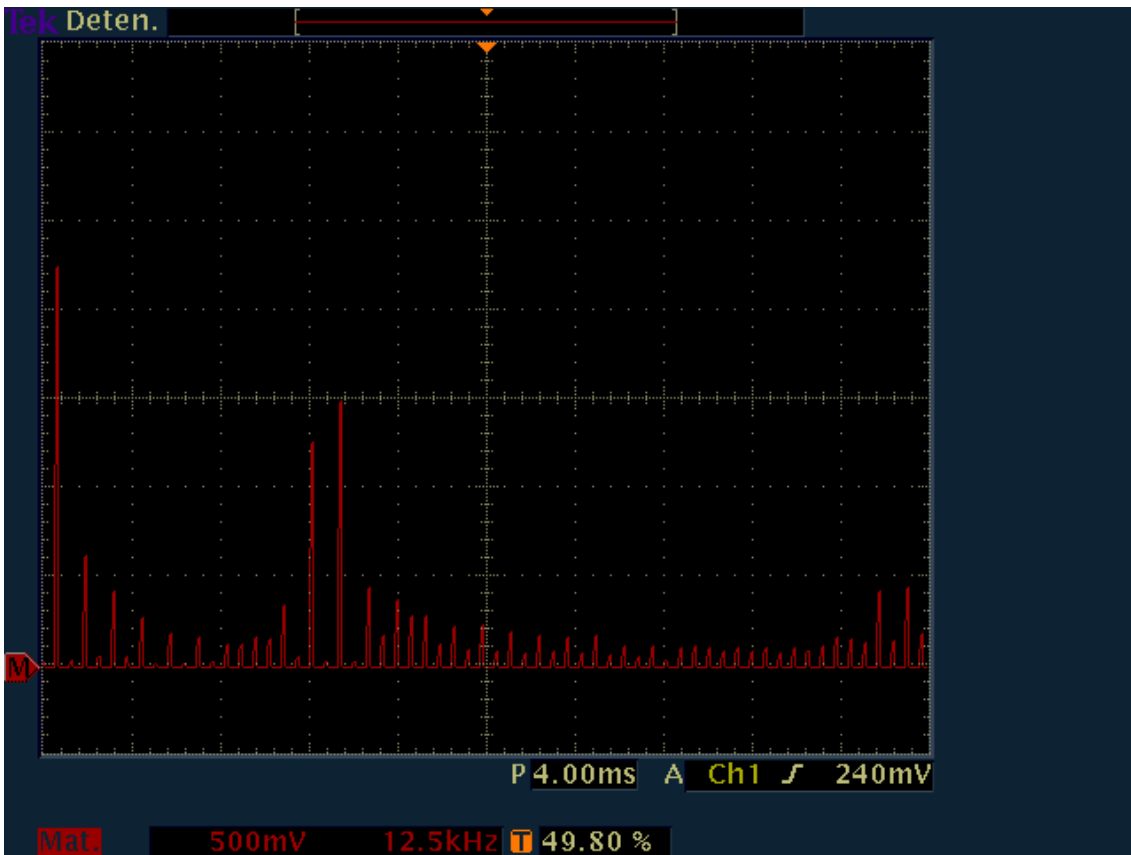


Figura 5. Espectro de la señal muestreada (detalle)

Apartado b)

En las gráficas siguientes se representan las señales muestreadas y sus espectros para distintos valores del duty-cycle (dc)

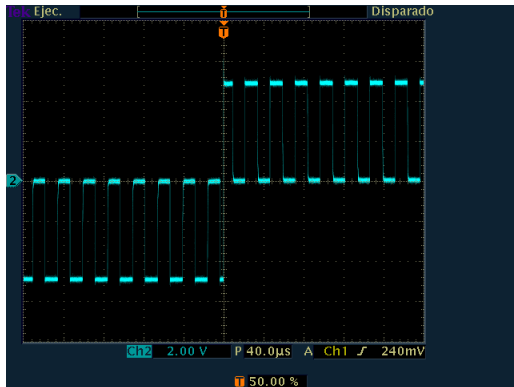


Figura 6. Señal muestreada ($dc=50\%$)

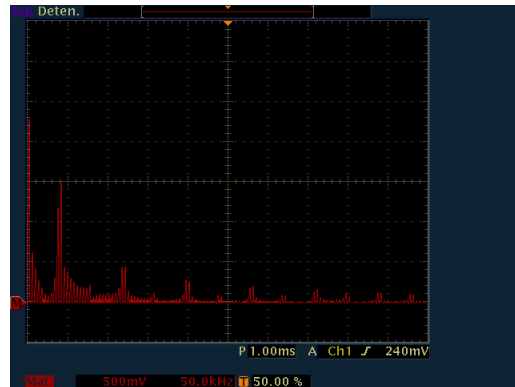


Figura 7. Espectro señal muestreada ($dc=50\%$)

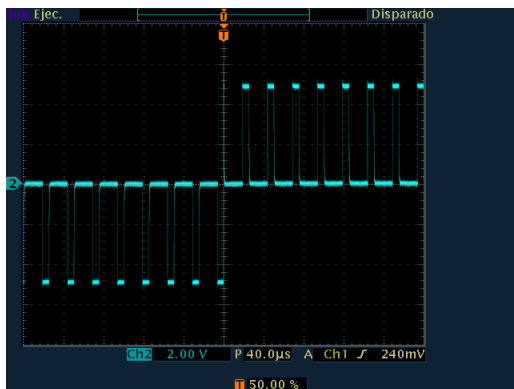


Figura 8. Señal muestreada ($dc=25\%$)

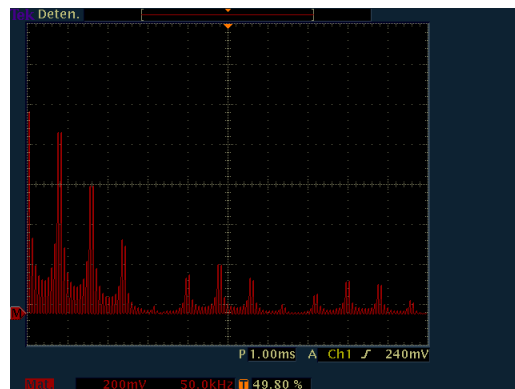


Figura 9. Espectro señal muestreada ($dc=25\%$)

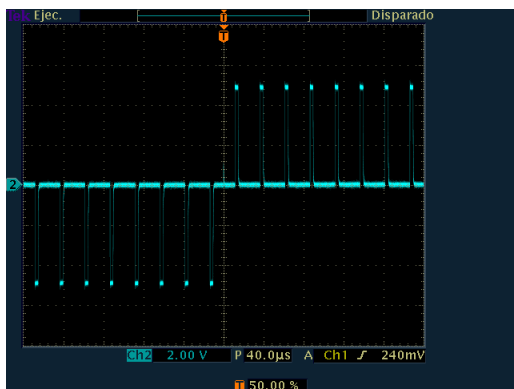


Figura 10. Señal muestreada ($dc=12\%$)

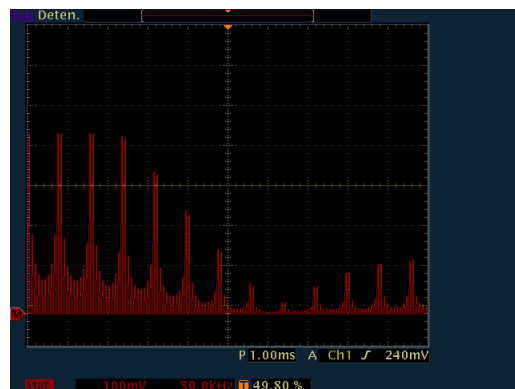


Figura 11. Espectro señal muestreada ($dc=12\%$)

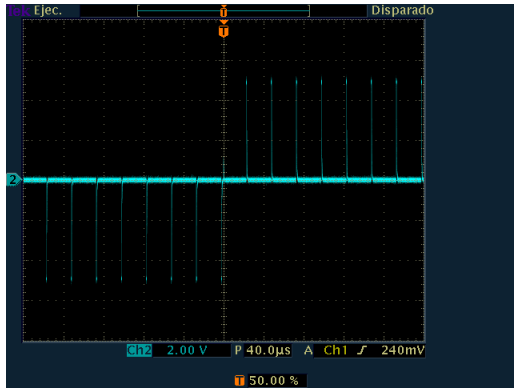


Figura 12. Señal muestreada (dc=1%)

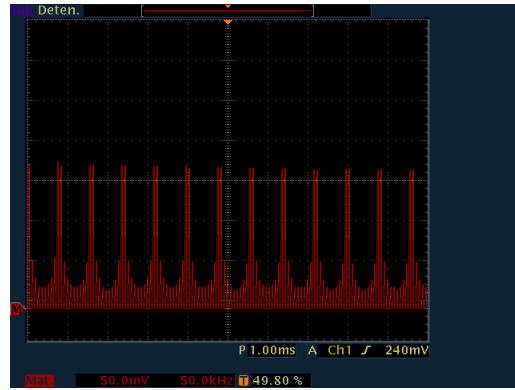


Figura 13. Espectro señal muestreada (dc=1%)

Observamos cómo en la señal muestreada cada repetición del espectro tiene una amplitud diferente según el valor del duty-cycle, de acuerdo con lo esperado teóricamente. Los valores teóricos y experimentales de los armónicos del primer lóbulo, expresados en dBV, son los siguientes

Arm. Khz.	dc=50%		dc=25%		dc=12.5%		dc=1%	
	Teór.	Exp.	Teór.	Exp.	Teór.	Exp.	Teór.	Exp.
2	7.05	6.8	1.03	1.2	-4.99	-5.2	-26.93	-20.8
4	-∞	-27.2	-∞	-25.6	-∞	-55.6	-∞	-54.4
6	-2.50	-2.8	-8.52	-8.4	-14.54	-14.8	-36.46	-30.0
8	-∞	-23.6	-∞	-25.2	-∞	-56.8	-∞	-54.0
10	-6.93	-7.6	-12.95	-12.8	-18.97	-18.4	-40.91	-33.2
12	-∞	-32.8	-∞	-25.6	-∞	-64.0	-∞	-55.8
14	-9.86	-10.8	-15.88	-15.6	-21.90	-20.4	-43.83	-35.4
16	-∞	-38.8	-∞	-25.2	-∞	-57.2	-∞	-54.0
18	-12.04	-12.4	-18.06	-17.6	-24.08	-21.6	-46.02	-34.2
20	-∞	-40	-∞	-25.2	-∞	-60.0	-∞	-57.0

Los valores teóricos y experimentales del primer armónico de cada lóbulo son los siguientes

Arm. Khz.	dc=50%		dc=25%		dc=12.5%		dc=1%	
	Teór.	Exp.	Teór.	Exp.	Teór.	Exp.	Teór.	Exp.
2	7.05	6.8	1.03	1.2	-4.99	-5.2	-26.93	-26.2
42	3.12	3.6	0.11	0.4	-5.22	-5.6	-26.93	-26.4
82	-∞	-22.8	-2.90	-3.2	-5.91	-6.4	-26.94	-26.8
122	-6.42	-7.2	-9.43	-9.6	-7.11	-7.6	-26.95	-26.8
162	-∞	-21.6	-∞	-35.2	-8.92	-9.2	-26.96	-26.2
202	-10.86	-10.8	-13.87	-14.4	-11.54	-11.6	-26.97	-26.8
242	-∞	-22.8	-12.44	-12.4	-15.45	-15.2	-26.98	-27.0
282	-13.78	-14.0	-16.79	-15.6	-22.12	-20.8	-27.00	-26.8
322	-∞	-21.2	-∞	-29.6	-∞	-34.8	-27.02	-26.4
362	-15.96	-15.2	-18.97	-20.0	-24.30	-25.2	-27.05	-26.8
402	-∞	-21.6	-16.88	-16.0	-19.89	-19.6	-27.08	-27.0

Apartado c)

Cuando se realiza el muestreo plano la señal original y muestreada toman la forma de la figura 14. El espectro de la señal muestreada aparece en la figura 15

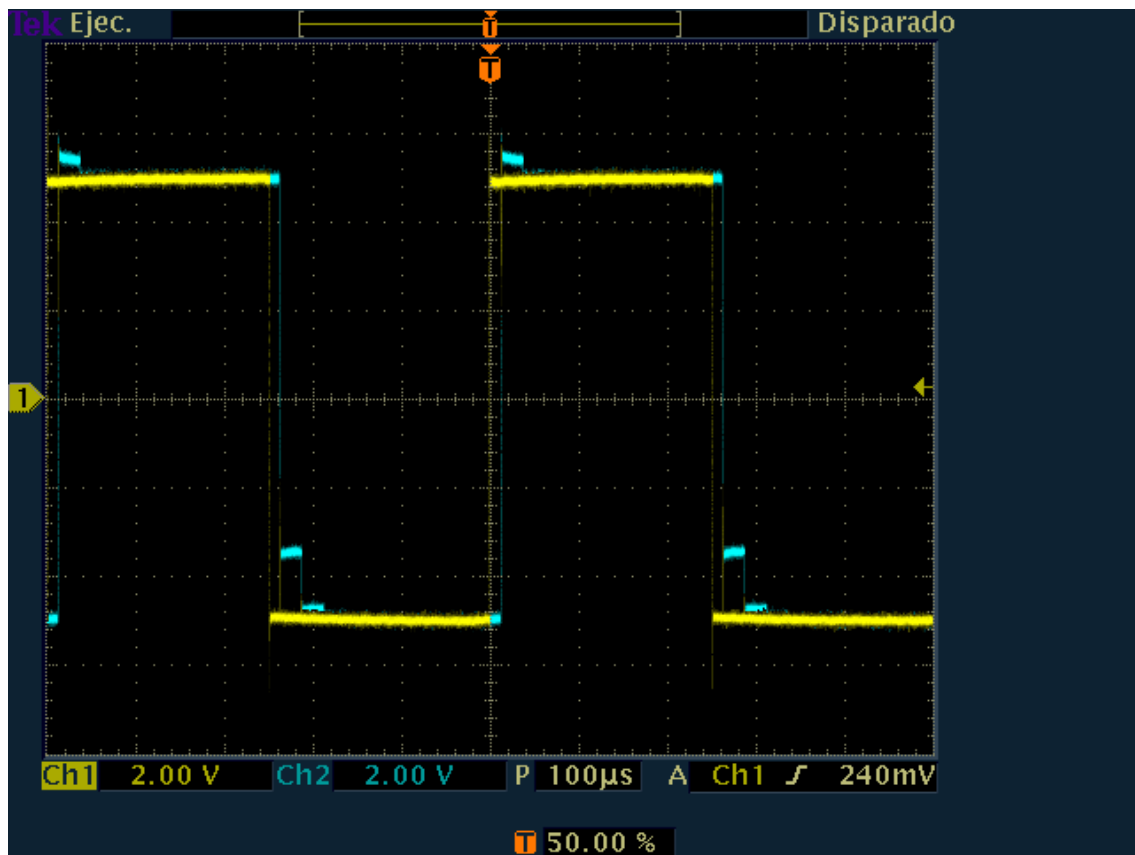


Figura 14. Señal original y muestreada (muestreo plano)

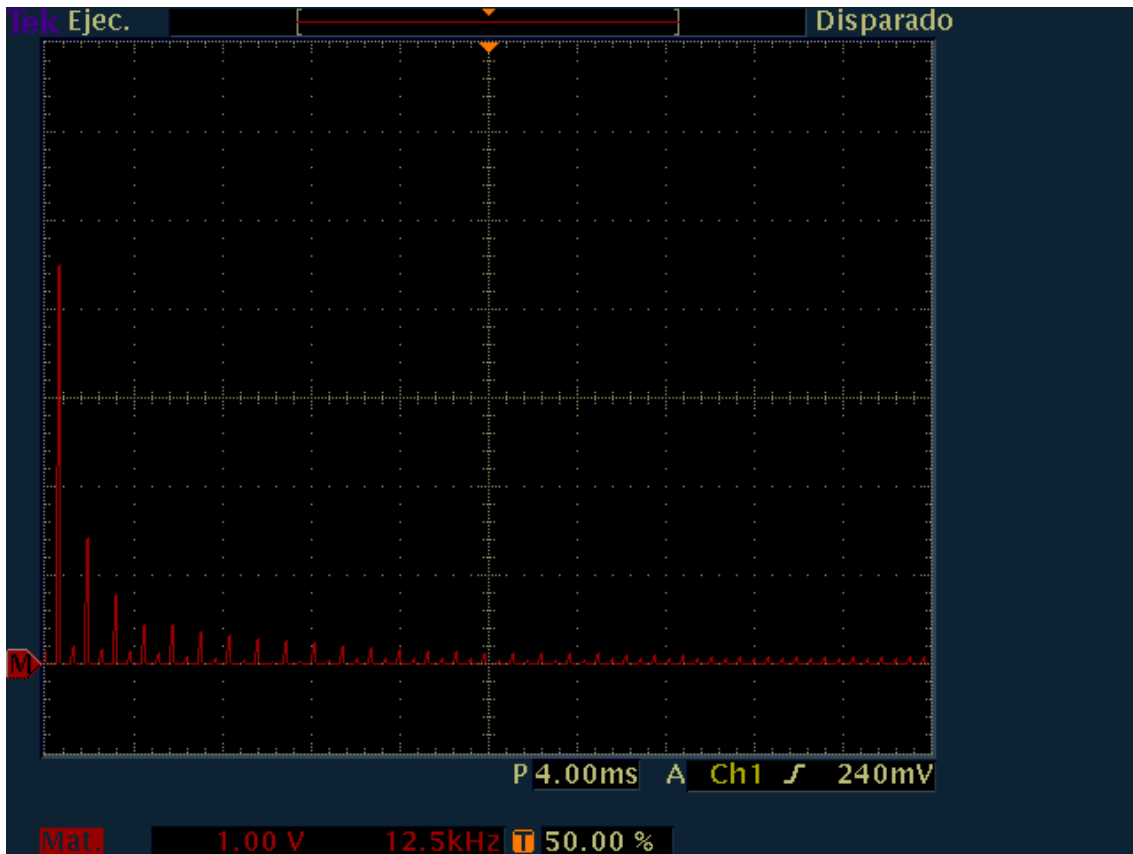


Figura 15. Espectro de la señal muestreada (muestreo plano)

Los valores teóricos y experimentales de los armónicos del primer lóbulo, expresados en dBV, son los siguientes

Arm. Khz.	dc=1%	
	Teór.	Exp.
2	13.03	12.8
4	-∞	-17.6
6	3.2	3.2
8	-∞	-18.4
10	-1.82	-1.6
12	-∞	-19.2
14	-5.66	-4.8
16	-∞	-20.4
18	-9.13	-7.2
20	-∞	-21.6

Los valores teóricos y experimentales del primer armónico de cada lóbulo son los siguientes

Arm. Khz.	dc=1%	
	Teór.	Exp.
2	13.03	12.8
42	-13.41	-13.6
82	-19.23	-19.2
122	-22.69	-22.8
162	-25.16	-24.8
202	-27.09	-26.8
242	-28.68	-28.0
282	-30.02	-29.2
322	-31.20	-30.0
362	-32.24	-30.8
402	-33.18	-31.6

Apartado d)

Si filtramos la señal muestreada (muestreo natural) mediante un simple circuito RC paso de baja de frecuencia de corte adecuada, podemos recuperar (aproximadamente) la señal original. La frecuencia de corte en nuestro caso es

$$f_{3dB} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^4 \cdot 10^{-9}} = 15'9Khz$$

En la figura 16 se recogen la señal original y la recuperada. El espectro de la señal recuperada aparece en la figura 17. Los valores teóricos y experimentales de los armónicos de la señal recuperada, expresados en dBV, son los siguientes:

Armónicos	Teórico			Experimental
	Original	Original/2 y filtrado	Recuperado	Recuperado
2 Khz.	13.07 dBV	6.98 dBV	6.98 dBV	6.40 dBV
4 Khz.	$-\infty$ dBV	$-\infty$ dBV	$-\infty$ dBV	-52.8 dBV
6 Khz.	3.52 dBV	-3.07 dBV	-3.07 dBV	-3.20 dBV
8 Khz.	$-\infty$ dBV	$-\infty$ dBV	$-\infty$ dBV	-64.0 dBV
10 Khz.	-0.91 dBV	-8.38 dBV	-8.38 dBV	-8.0 dBV
12 Khz.	$-\infty$ dBV	$-\infty$ dBV	$-\infty$ dBV	-54.0 dBV
14 Khz.	-3.83 dBV	-12.34 dBV	-12.34 dBV	-11.6 dBV
16 Khz.	$-\infty$ dBV	$-\infty$ dBV	$-\infty$ dBV	-60.0 dBV
18 Khz.	-6.02 dBV	-15.62 dBV	-15.62 dBV	-14.0 dBV
20 Khz.	$-\infty$ dBV	$-\infty$ dBV	$-\infty$ dBV	-55.6 dBV

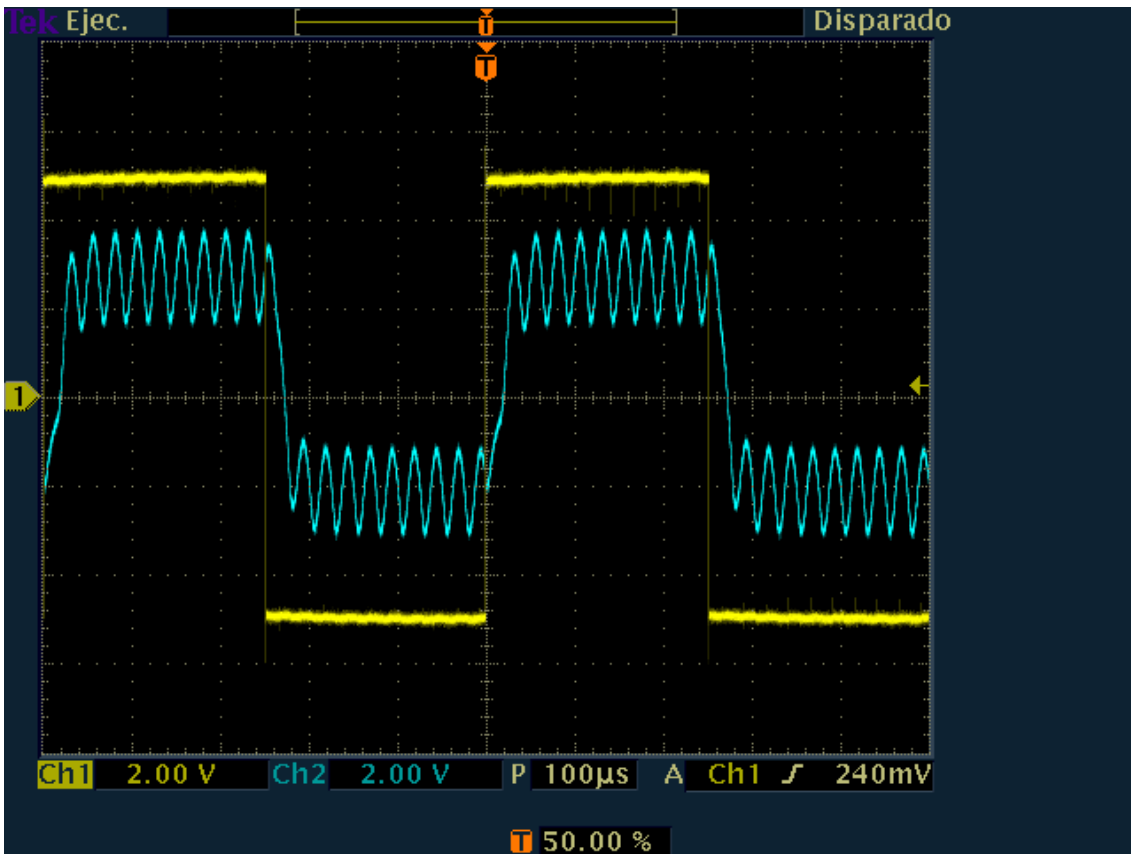


Figura 16. Señal original y recuperada (muestreo natural)

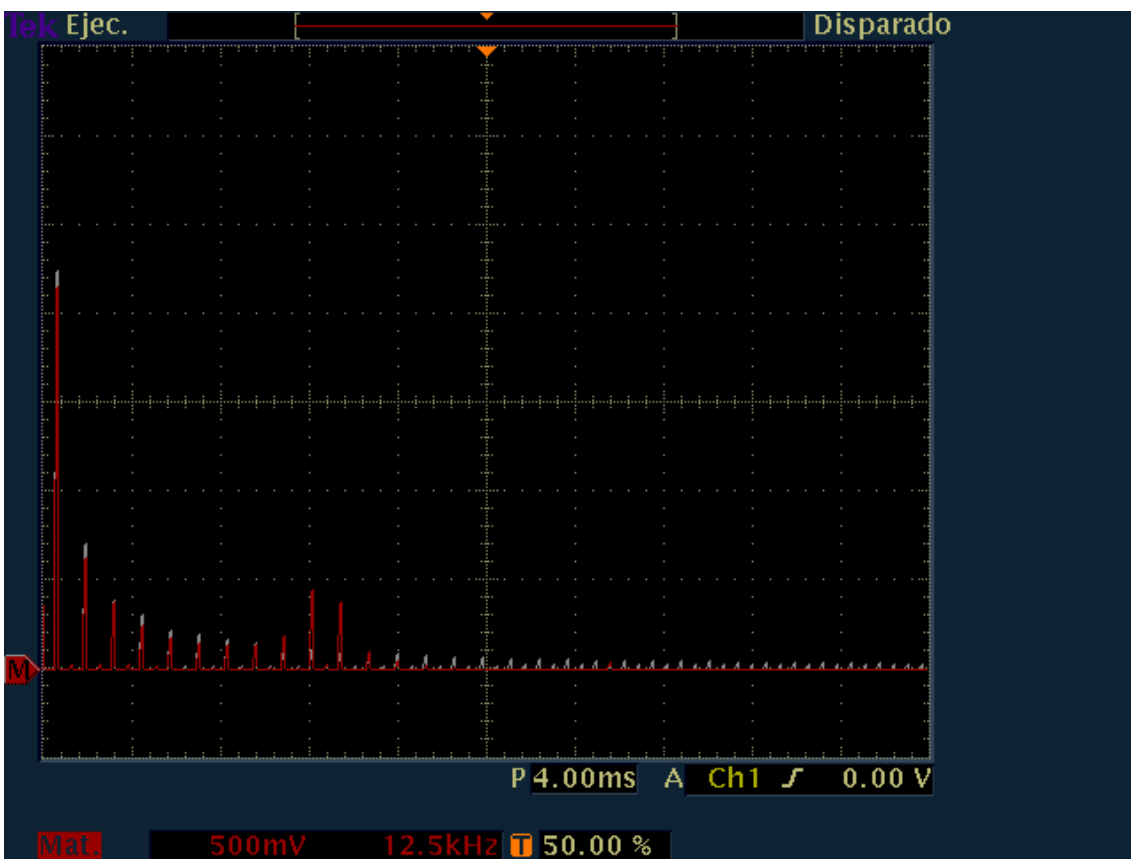


Figura 17. Espectro de la señal original (dividido por 2) y de la recuperada (muestreo natural)

Apartado e)

Si filtramos la señal muestreada (muestreo plano) mediante el mismo circuito recuperador (un simple circuito RC paso de baja de frecuencia de corte 15'9 KHz), podemos recuperar (aproximadamente) la señal original.

En la figura 18 se recogen la señal original y la recuperada. El espectro de la señal recuperada aparece en la figura 19. Los valores teóricos y experimentales de los armónicos de la señal recuperada, expresados en dBV, son los siguientes:

Armónicos	Teórico			Experimental
	Original	Original filtrado	Recuperado	Recuperado
2 KHz.	13.07 dBV	13.00 dBV	12.96 dBV	12.8 dBV
4 KHz.	-∞ dBV	-∞ dBV	-∞ dBV	-16.0 dBV
6 KHz.	3.52 dBV	2.95 dBV	2.62 dBV	2.4 dBV
8 KHz.	-∞ dBV	-∞ dBV	-∞ dBV	-17.6 dBV
10 KHz.	-0.91 dBV	-2.36 dBV	-3.27 dBV	-3.2 dBV
12 KHz.	-∞ dBV	-∞ dBV	-∞ dBV	-19.6 dBV
14 KHz.	-3.83 dBV	-6.32 dBV	-8.15 dBV	-7.6 dBV
16 KHz.	-∞ dBV	-∞ dBV	-∞ dBV	-22.0 dBV
18 KHz.	-6.02 dBV	-9.60 dBV	-12.71 dBV	-11.6 dBV
20 KHz.	-∞ dBV	-∞ dBV	-∞ dBV	-24.4 dBV

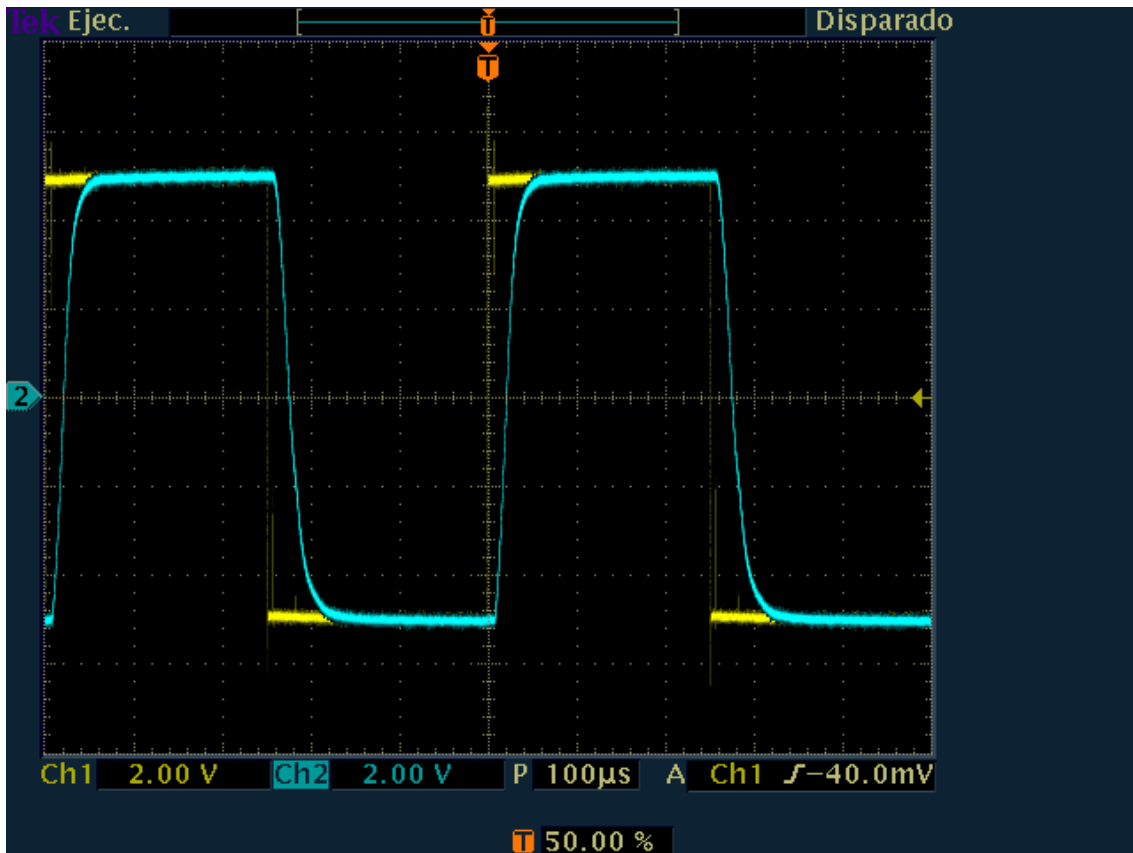


Figura 18. Señal original y recuperada (muestreo plano)

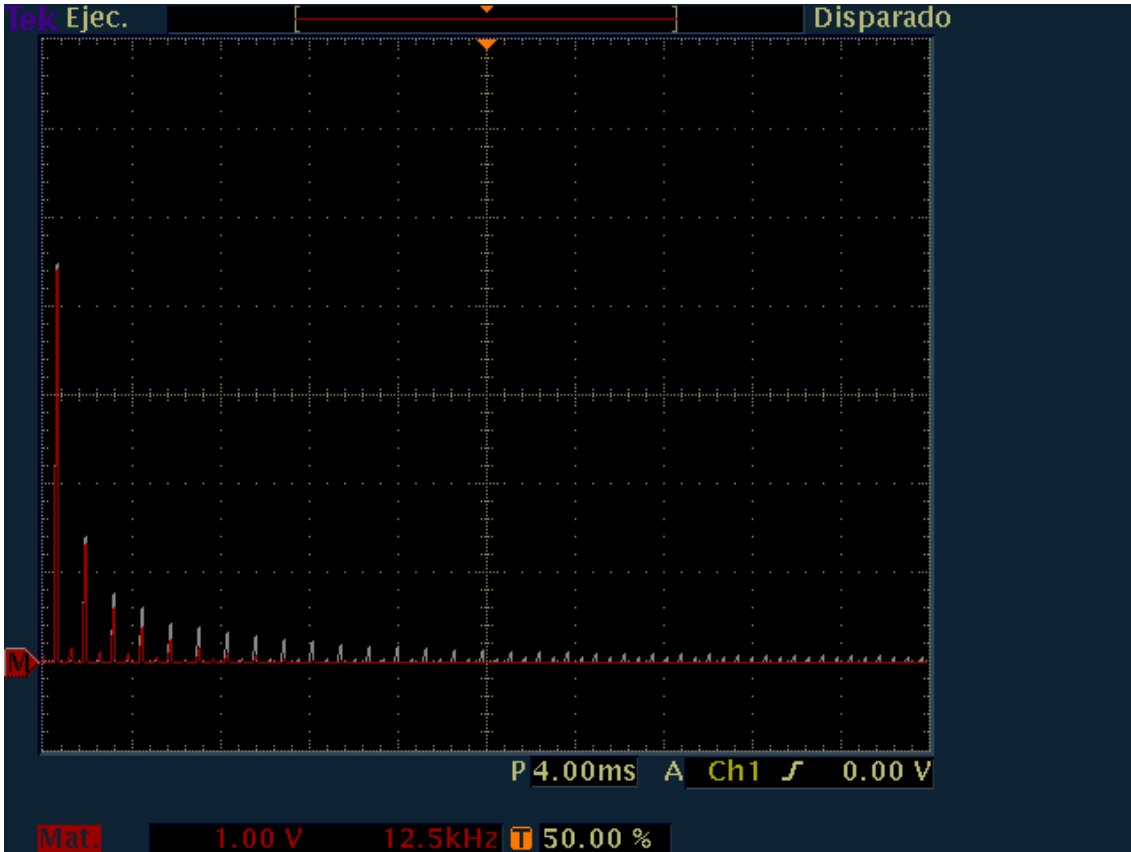


Figura 19. Espectro de la señal original y recuperada (muestreo plano)

Apartado f)

En las gráficas siguientes se representan las señales muestreadas y recuperadas, así como el espectro de la señal recuperada para distintos valores de la frecuencia de muestreo (f_s)

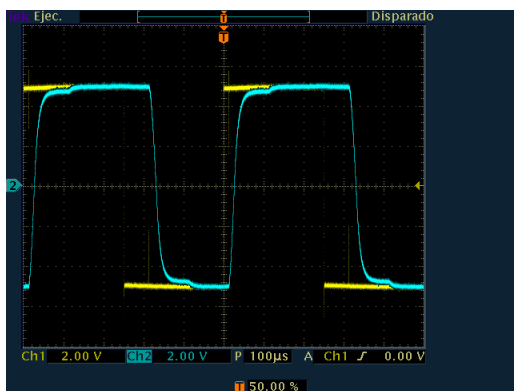


Figura 20. Señal original y recuperada ($f_s=10\text{Khz}$)

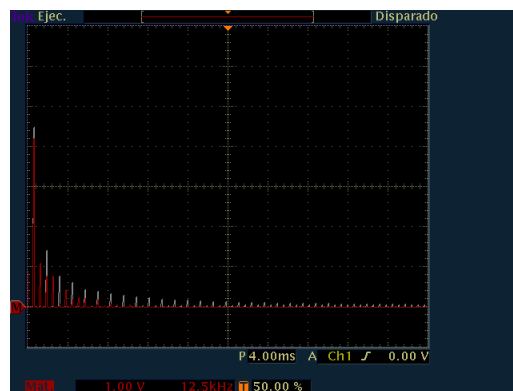


Figura 21. Espectro señal original y recuperada ($f_s=10\text{Khz}$)

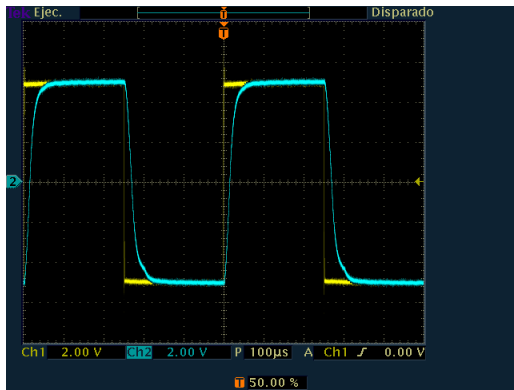


Figura 22. Señal original y recuperada (fs=20Khz)

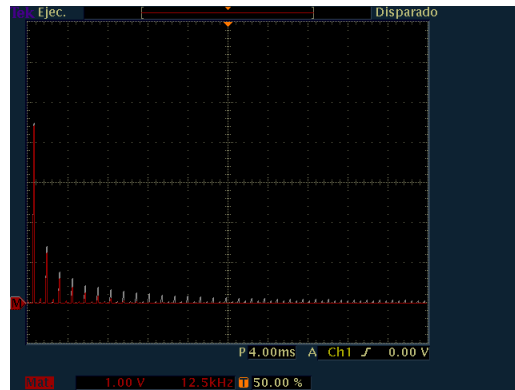


Figura 23. Espectro señal original y recuperada (fs=20Khz)

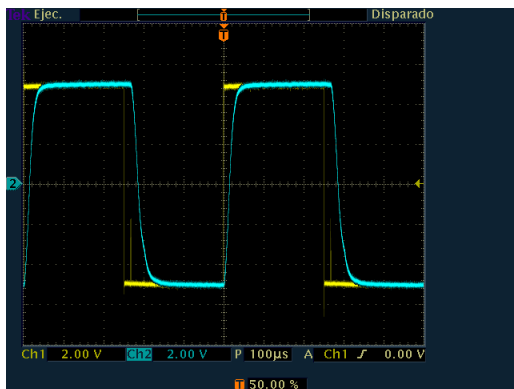


Figura 24. Señal original y recuperada (fs=30Khz)

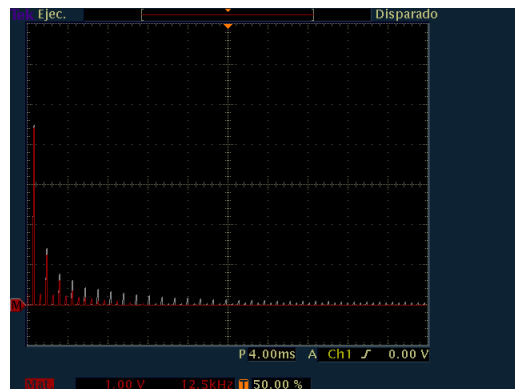


Figura 25. Espectro señal original y recuperada (fs=30Khz)

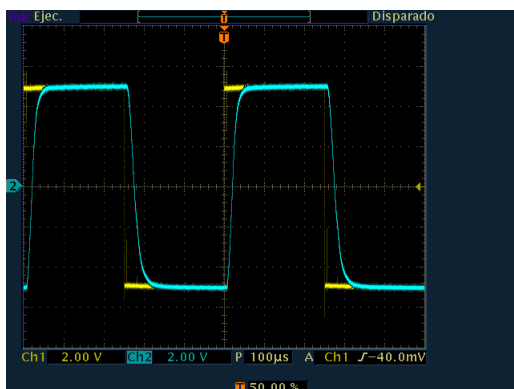


Figura 26. Señal original y recuperada (fs=40Khz)

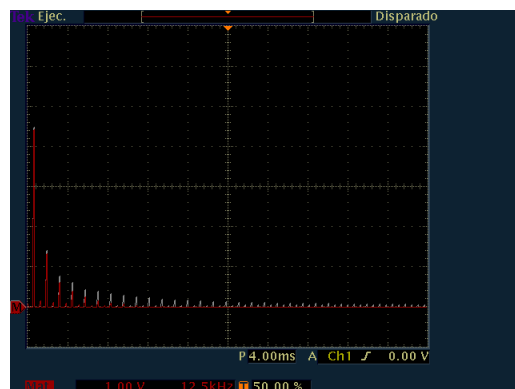


Figura 27. Espectro señal original y recuperada (fs=40Khz)

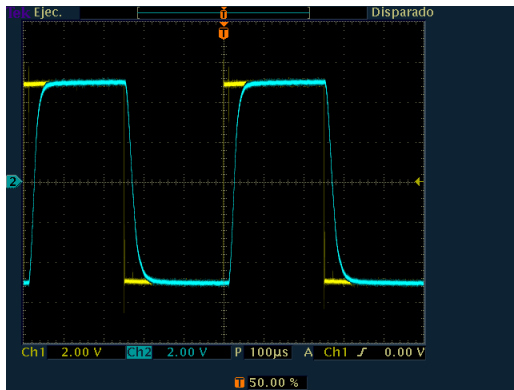


Figura 28. Señal original y recuperada (fs=50Khz)

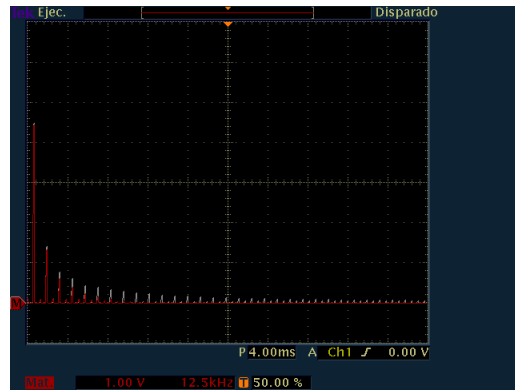


Figura 29. Espectro señal original y recuperada (fs=50Khz)

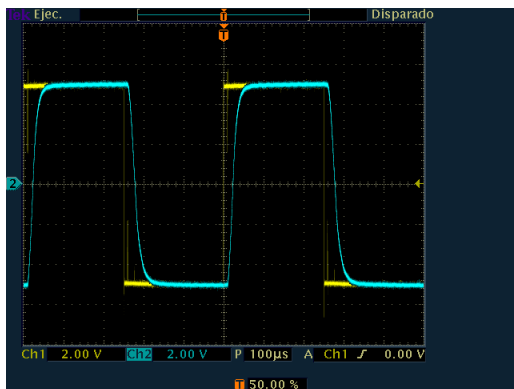


Figura 30. Señal original y recuperada (fs=60Khz)

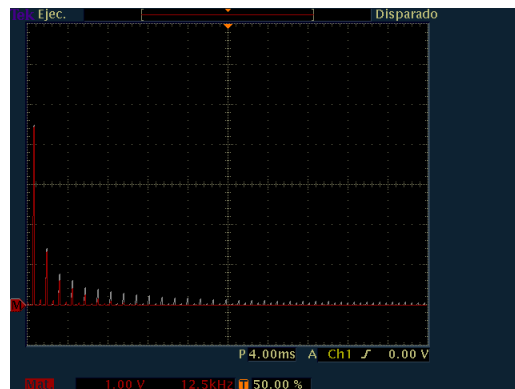


Figura 31. Espectro señal original y recuperada (fs=60Khz)

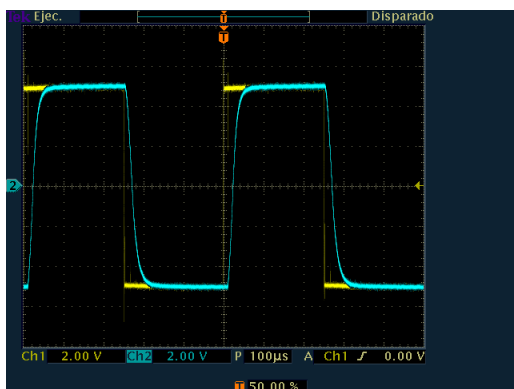


Figura 32. Señal original y recuperada (fs=70Khz)

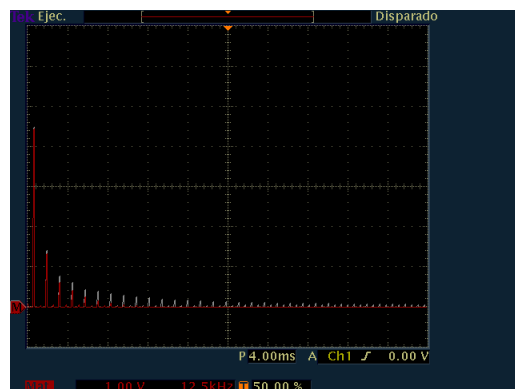


Figura 33. Espectro señal original y recuperada (fs=70Khz)

En las tablas siguientes se estudia el comportamiento para frecuencias de 10 a 70 KHz.

Arm.	Orig. (dBV)	Filt. (dBV)	Recup. (10Khz)		Recup. (20Khz)		Recup. (30Khz)	
			Teor.	Exp.	Teor.	Exp.	Teor.	Exp.
2 KHz.	13.07	13.00	13.33	12.4	13.35	12.8	12.94	12.8
4 KHz.	-∞	-∞	-1.44	0.8	-∞	-18.0	-9.73	-10.8
6 KHz.	3.52	2.95	-0.10	-1.6	3.57	2.4	2.37	2.4
8 KHz.	-∞	-∞	-1.36	-1.2	-∞	-20.0	-9.78	-11.2
10 KHz.	-0.91	-2.36	-∞	-21.6	-1.84	-3.2	-4.01	-3.6
12 KHz.	-∞	-∞	-4.12	-5.2	-∞	-22.4	-10.39	-12.4
14 KHz.	-3.83	-6.32	-9.17	-14.4	-6.08	-7.6	-9.69	-9.2
16 KHz.	-∞	-∞	-10.88	-12.4	-∞	-24.8	-11.40	-13.6
18 KHz.	-6.02	-9.60	-9.26	-12.8	-9.57	-11.6	-15.54	-14.4
20 KHz.	-∞	-∞	-∞	-25.2	-∞	-26.4	-12.70	-15.6

Arm.	Orig. (dBV)	Filt. (dBV)	Recup. (40Khz)		Recup. (50Khz)		Recup. (60Khz)		Recup. (70Khz)	
			Teor.	Exp.	Teor.	Exp.	Teor.	Exp.	Teor.	Exp.
2 KHz.	13.07	13.00	12.96	12.8	12.98	12.8	12.98	12.8	12.99	12.8
4 KHz.	-∞	-∞	-∞	-16.0	-∞	-18.8	-∞	-16.8	-∞	-24.4
6 KHz.	3.52	2.95	2.62	2.4	2.74	2.4	2.80	2.4	2.84	2.4
8 KHz.	-∞	-∞	-∞	-17.6	-∞	-18.4	-∞	-18.0	-∞	-23.6
10 KHz.	-0.91	-2.36	-3.27	-3.2	-2.94	-3.2	-2.76	-3.2	-2.65	-3.2
12 KHz.	-∞	-∞	-∞	-19.6	-∞	-18.8	-∞	-20.0	-∞	-23.6
14 KHz.	-3.83	-6.32	-8.15	-7.6	-7.47	-7.6	-7.12	-7.6	-6.90	-7.6
16 KHz.	-∞	-∞	-∞	-22.0	-∞	-19.6	-∞	-22.4	-∞	-24.0
18 KHz.	-6.02	-9.60	-12.71	-11.6	-11.53	-12.0	-10.92	-11.6	-10.56	-11.6
20 KHz.	-∞	-∞	-∞	-24.4	-∞	-20.8	-∞	-24.8	-∞	-25.2