

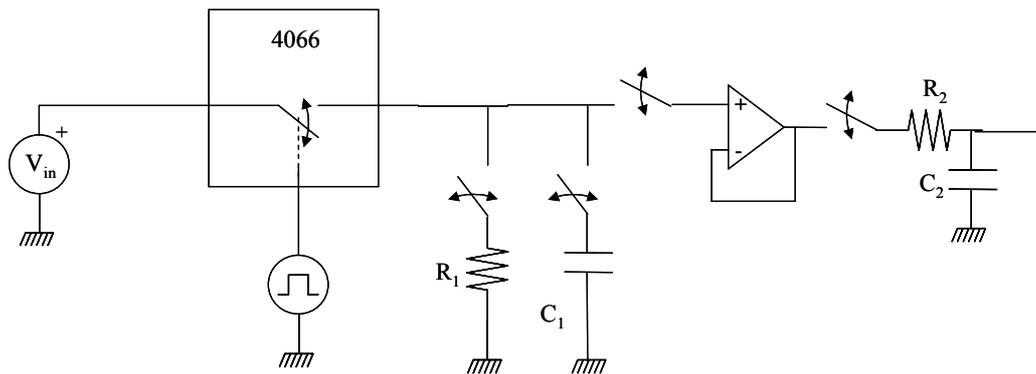
PRÁCTICA LTC-19: DIGITALIZACIÓN DE UNA SEÑAL *SAMPLE*

1.- Descripción de la práctica

Una señal periódica de 300Hz (f_1), constituida en cada período por una función *Sample* de 5V de amplitud y 12 KHz de frecuencia (f_2) se digitaliza mediante el circuito de la figura. Como señal de muestreo se utiliza una señal cuadrada de 0 a 5 voltios y 40 KHz de frecuencia (f_3). 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.
- Para el caso de un submuestreo a 20 KHz., el espectro de la señal muestreada y recuperada para ambos tipos 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 Ω
- 2 condensadores de 1 nF

3.- Estudio teórico

El estudio teórico de la práctica se realiza en el problema PTC0004-27

4.- Resultados

Apartado a)

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

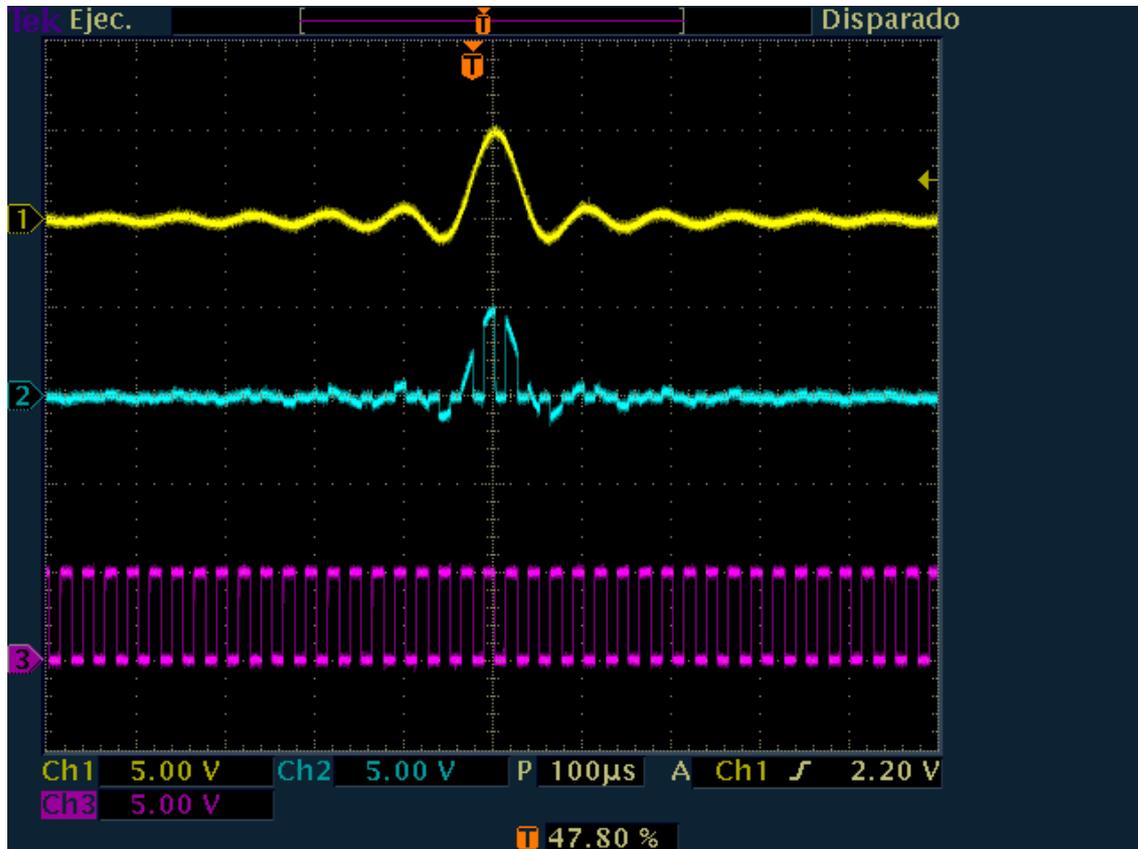


Figura 1. Muestreo de señas

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

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

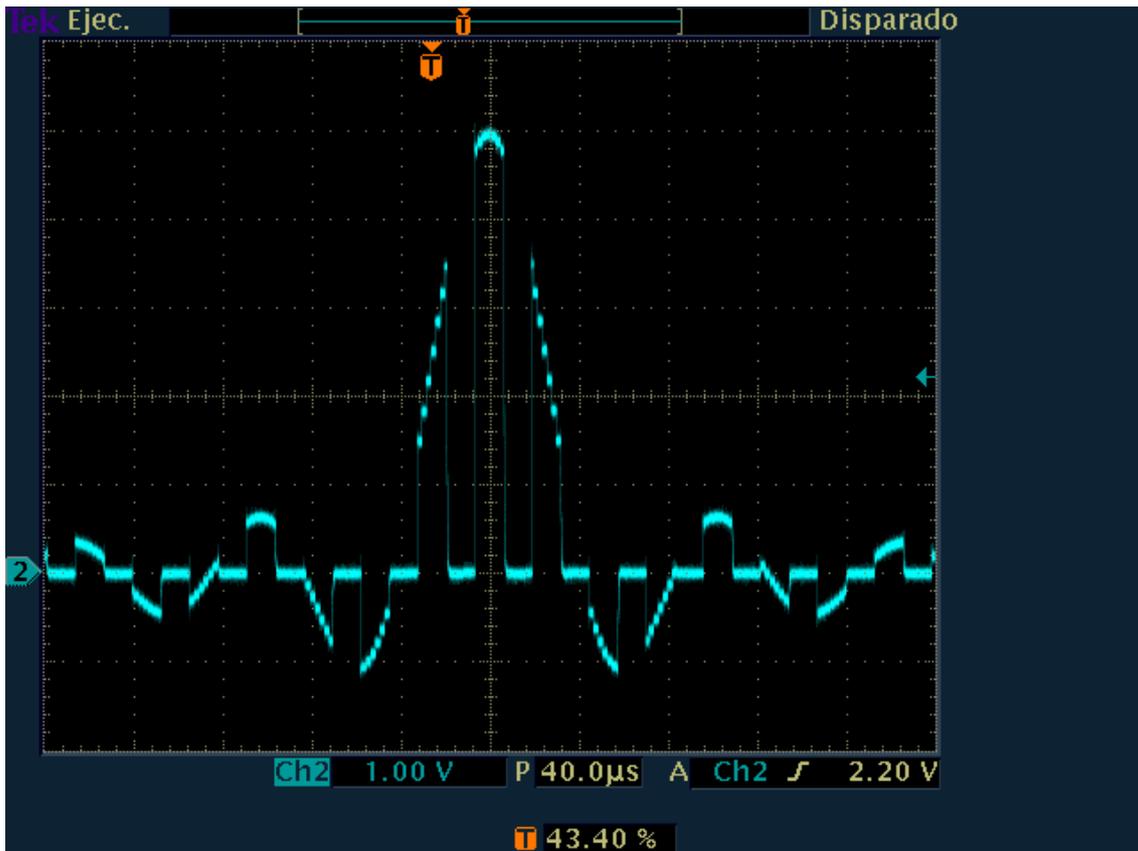


Figura 2. Señal muestreada (detalle)

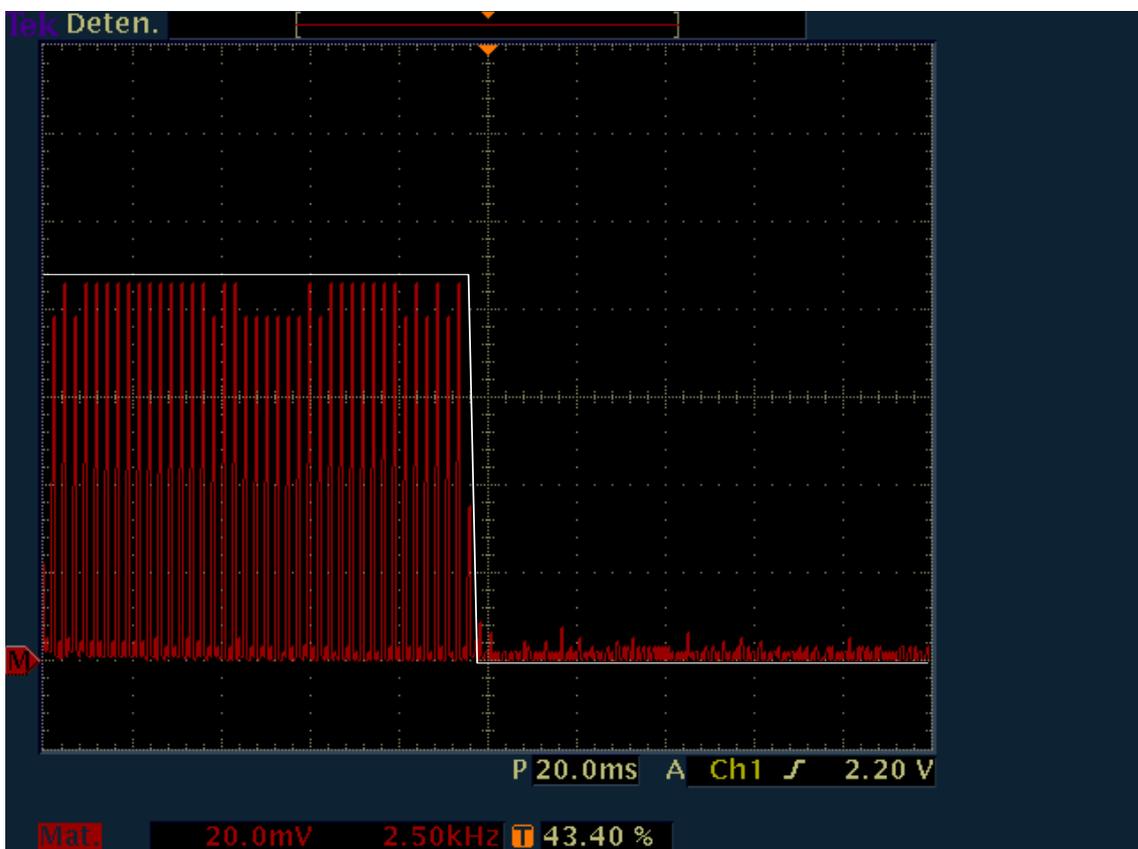


Figura 3. Espectro de la señal original

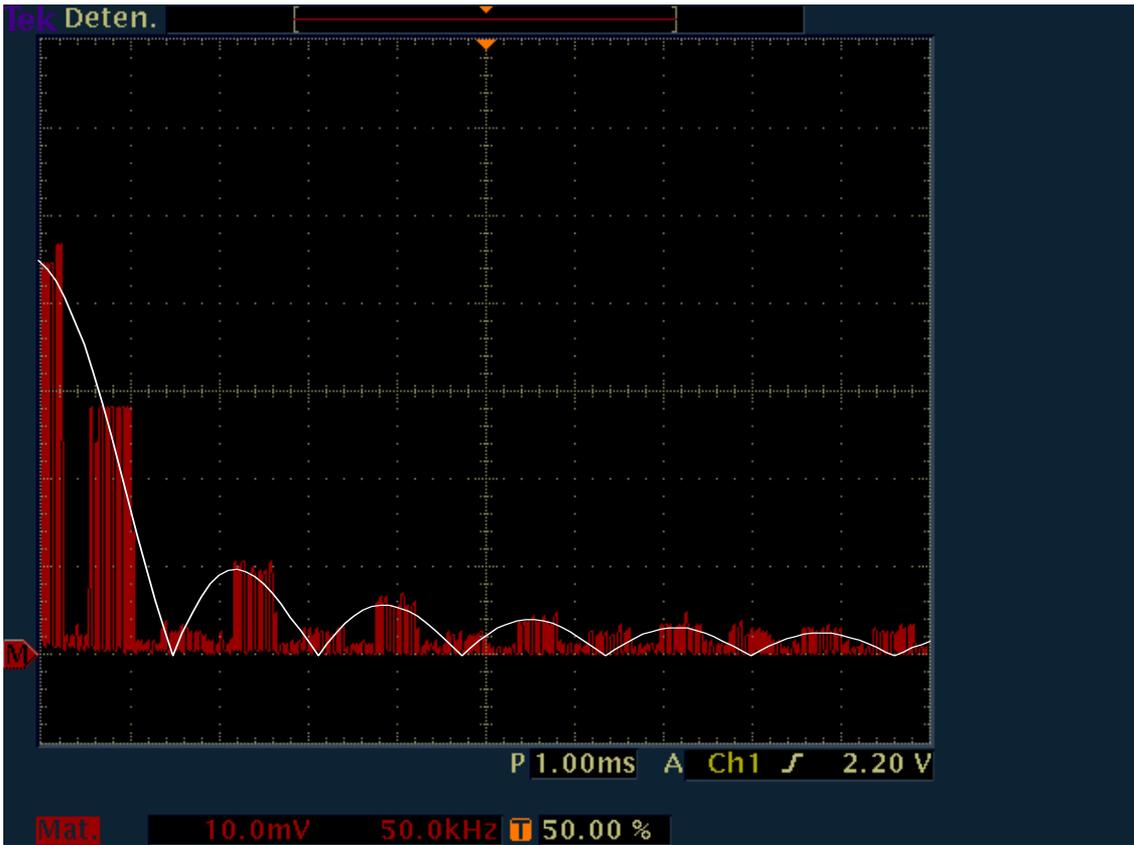


Figura 4. Espectro de la señal muestreada

Apartado b)

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

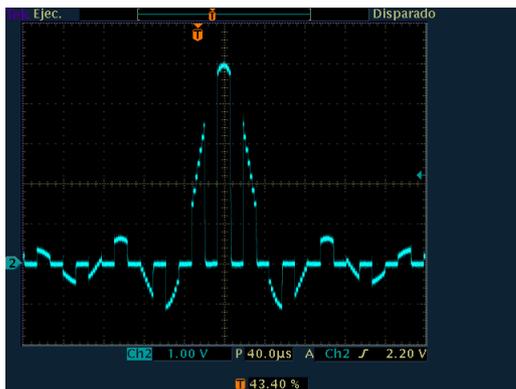


Figura 5. Señal muestreada ($dc=50\%$)

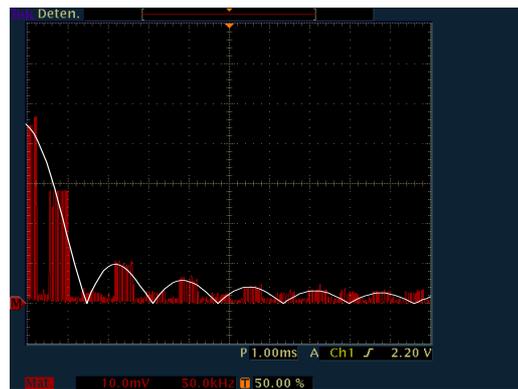


Figura 6. Espectro señal muestreada ($dc=50\%$)



Figura 7. Señal muestreada (dc=25%)

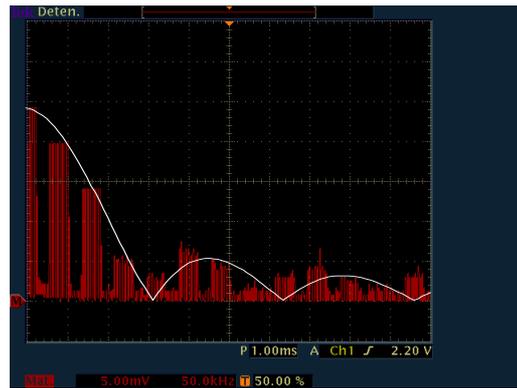


Figura 8. Espectro señal muestreada (dc=25%)

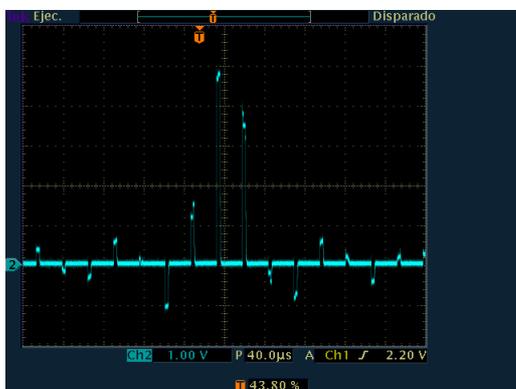


Figura 9. Señal muestreada (dc=12%)

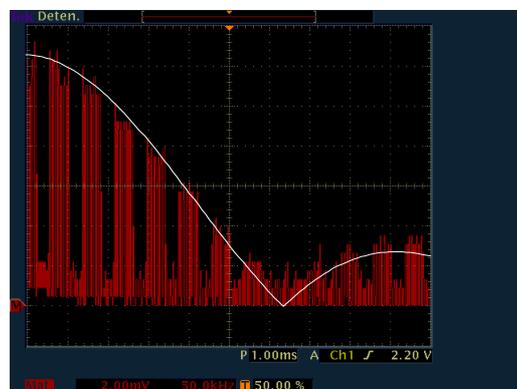


Figura 10. Espectro señal muestreada (dc=12%)

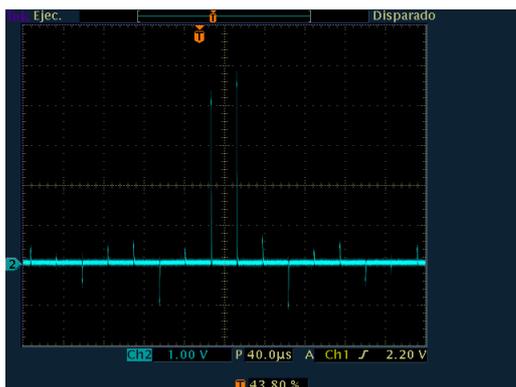


Figura 11. Señal muestreada (dc=1%)

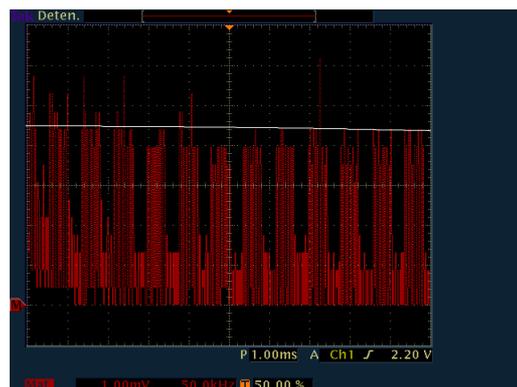


Figura 12. Espectro señal muestreada (dc=1%)

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.

Apartado c)

Cuando se realiza el muestreo plano la señal original y muestreada toman la forma de la figura 13. El espectro de la señal muestreada aparece en la figura 14

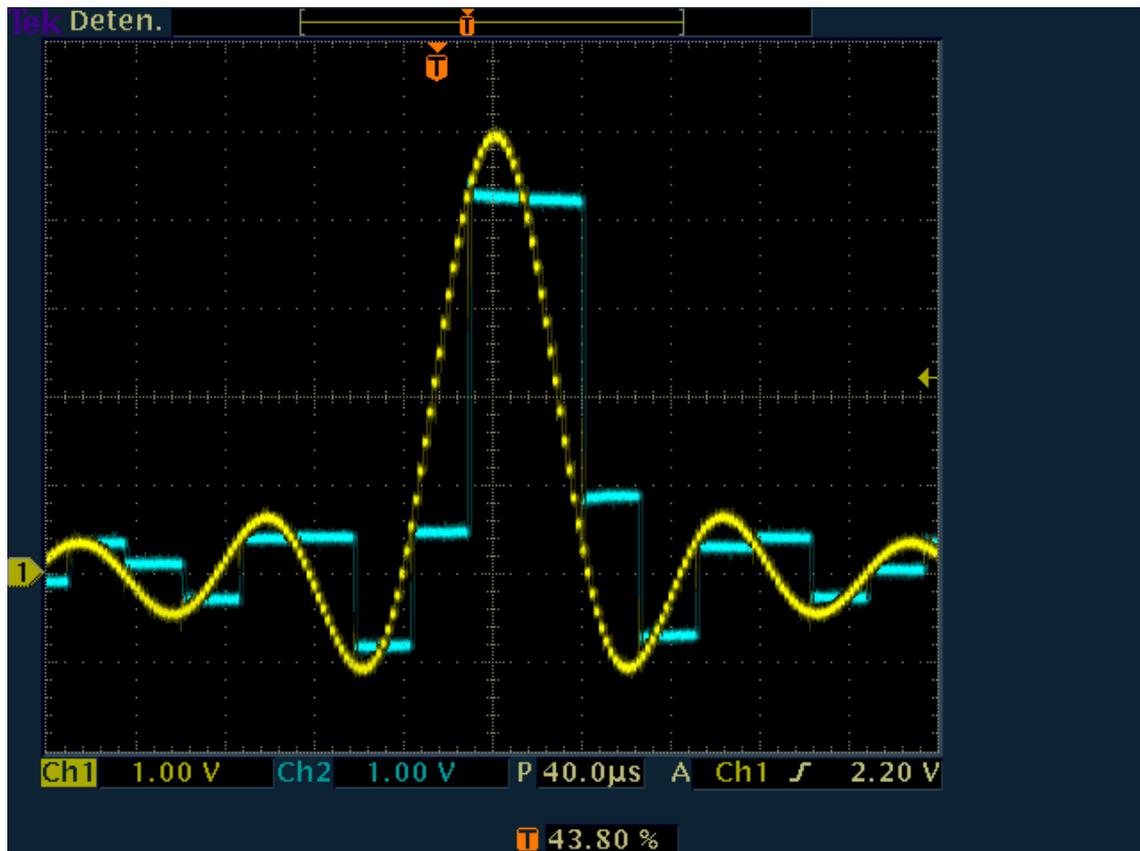


Figura 13. Señal original y muestreada (muestreo plano)

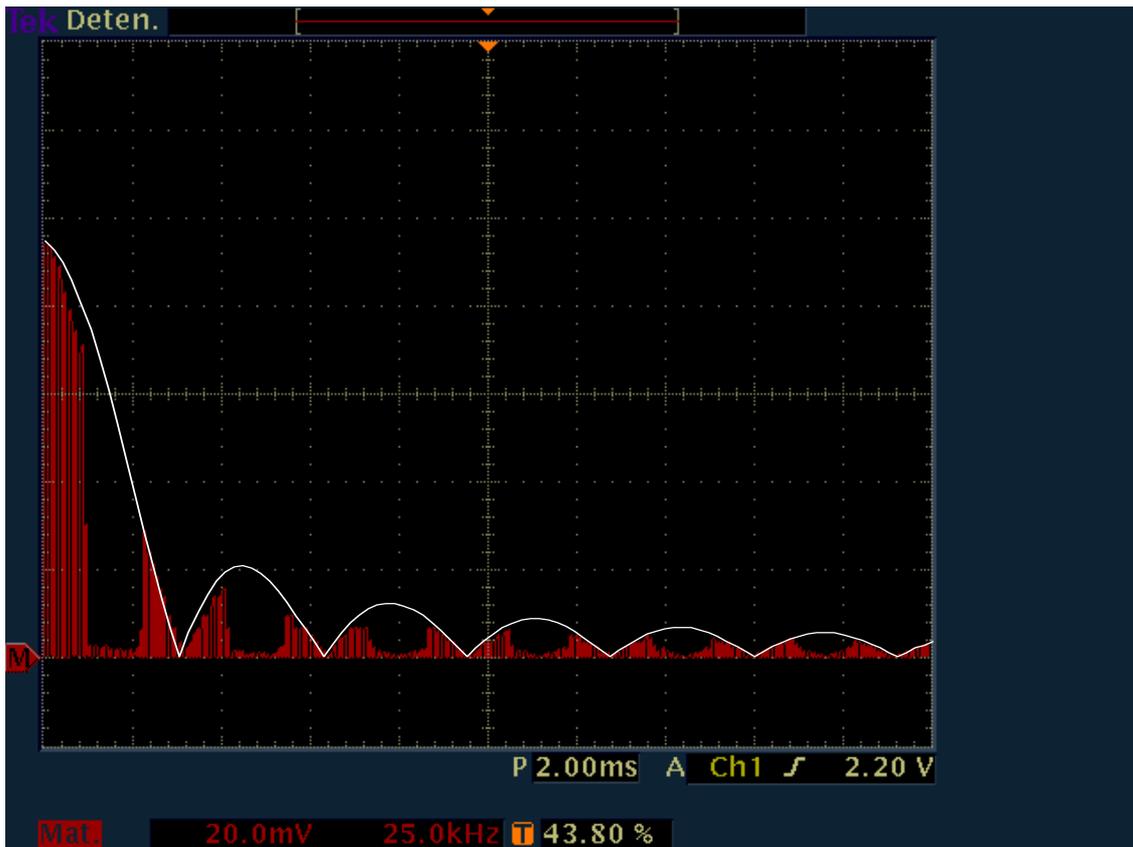


Figura 14. Espectro de la señal muestreada (muestreo plano)

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 15 se recogen la señal original y la recuperada. El espectro de la señal recuperada aparece en la figura 16.

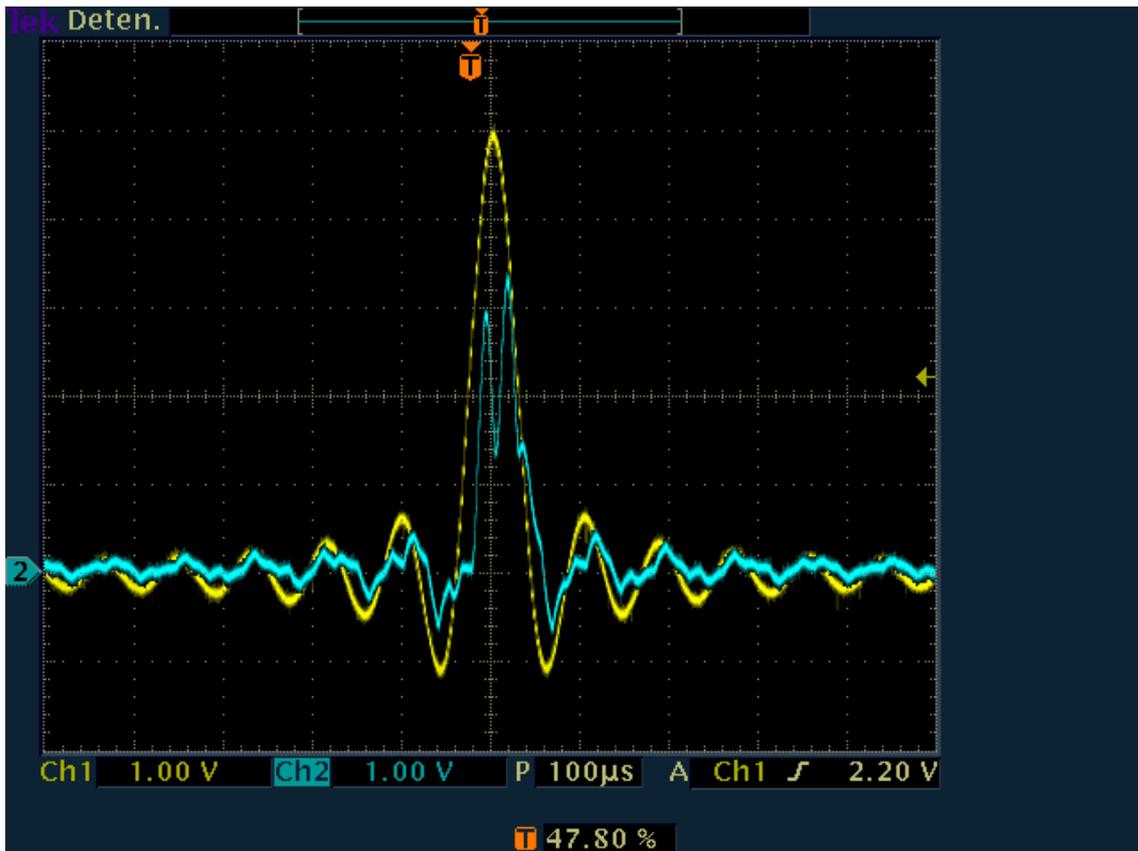


Figura 15. Señal original y recuperada (muestreo natural)

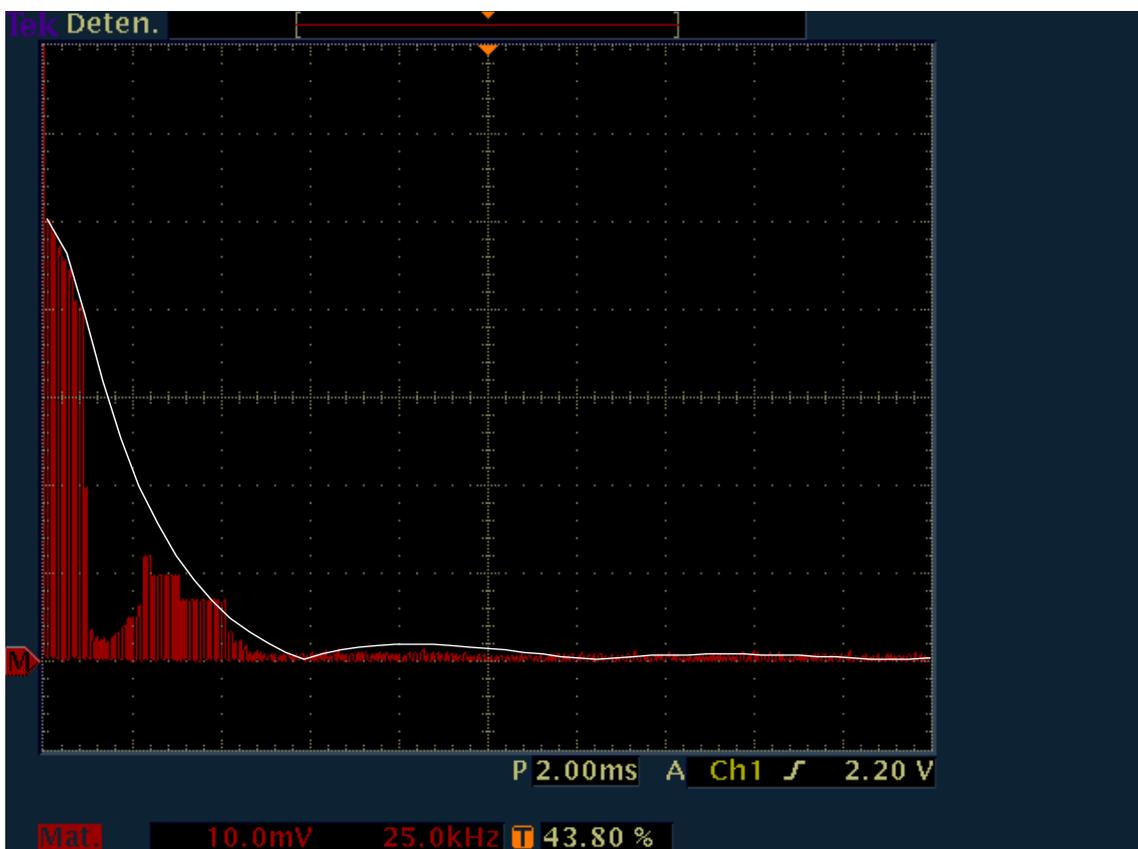


Figura 16. Espectro de la señal recuperada (muestreo natural)

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 17 se recogen la señal original y la recuperada. El espectro de la señal recuperada aparece en la figura 18.

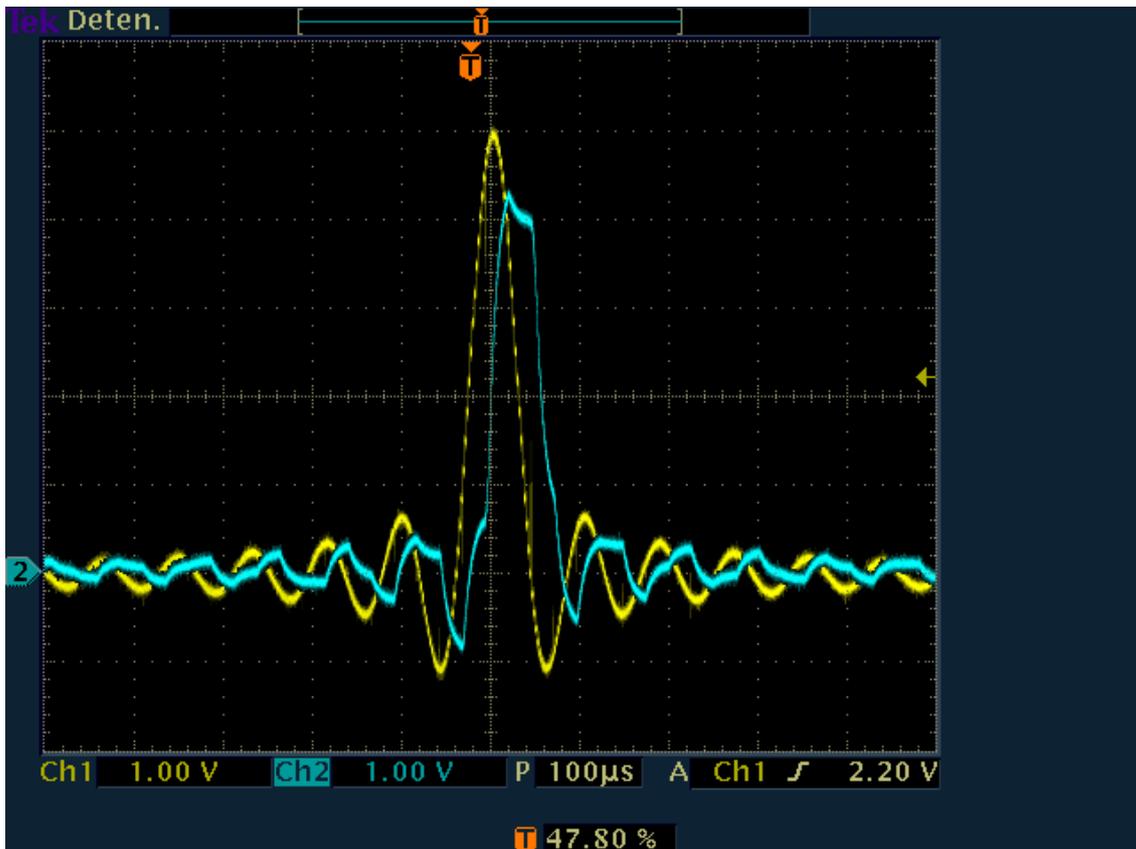


Figura 17. Señal original y recuperada (muestreo plano)

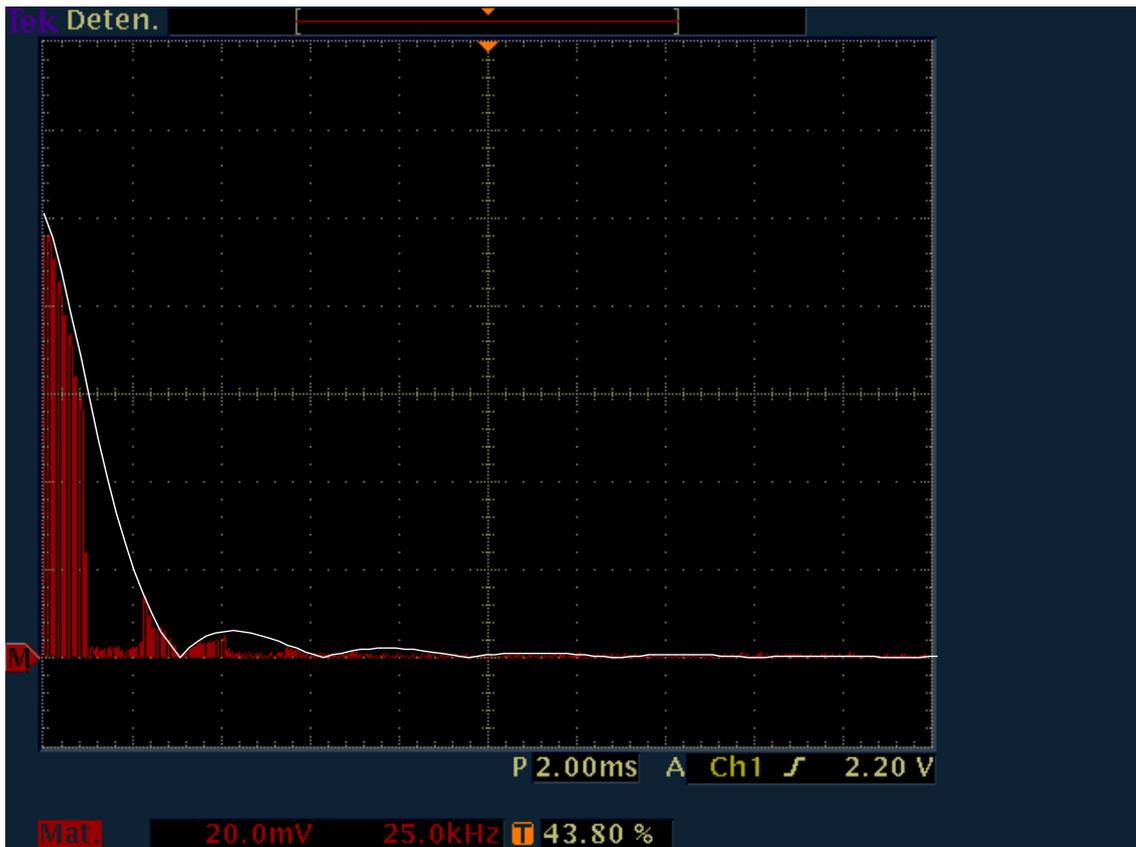


Figura 18. Espectro de la señal recuperada (muestreo plano)

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)

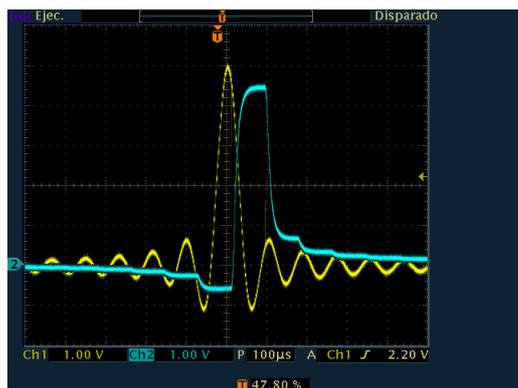


Figura 19. Señal original y recuperada ($f_s=10\text{Khz}$)

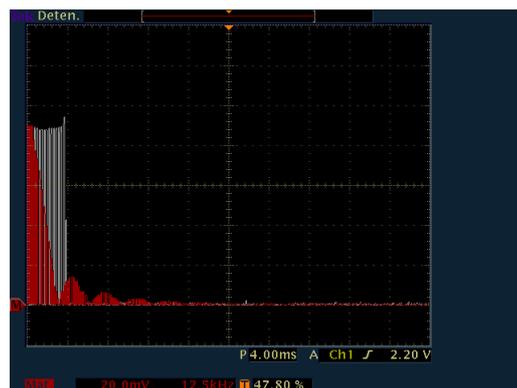


Figura 20. Espectro señal original y recuperada ($f_s=10\text{Khz}$)

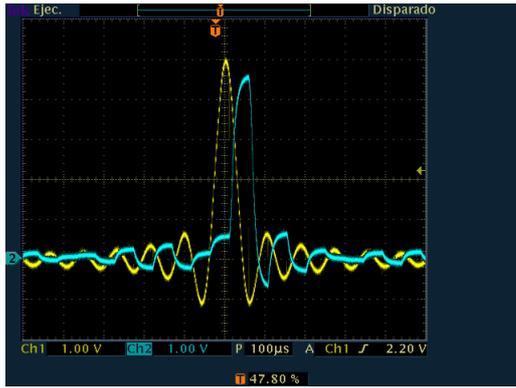


Figura 21. Señal original y recuperada (fs=20Khz)

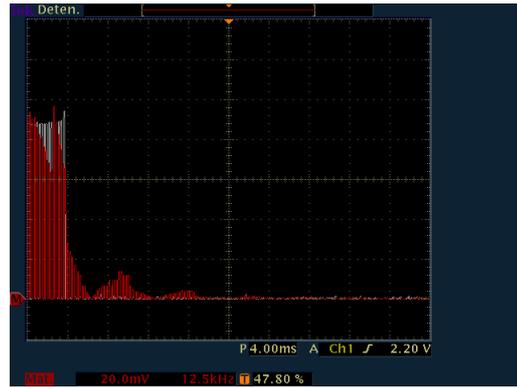


Figura 22. Espectro señal original y recuperada (fs=20Khz)

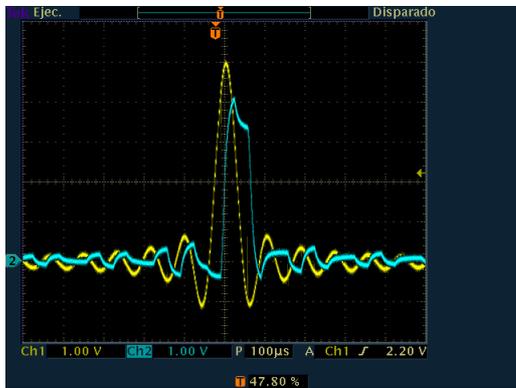


Figura 23. Señal original y recuperada (fs=30Khz)

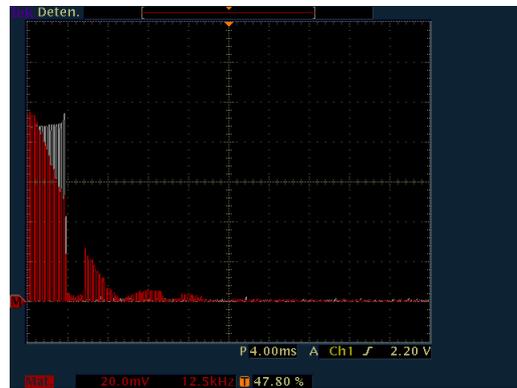


Figura 24. Espectro señal original y recuperada (fs=30Khz)

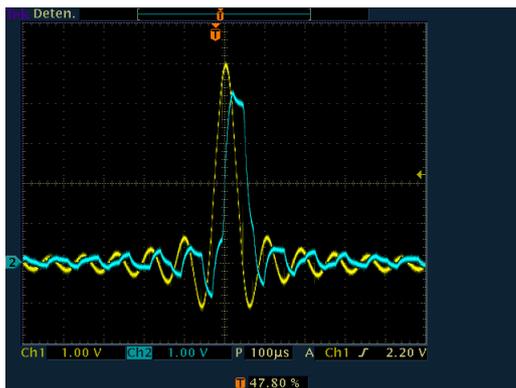


Figura 25. Señal original y recuperada (fs=40Khz)



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

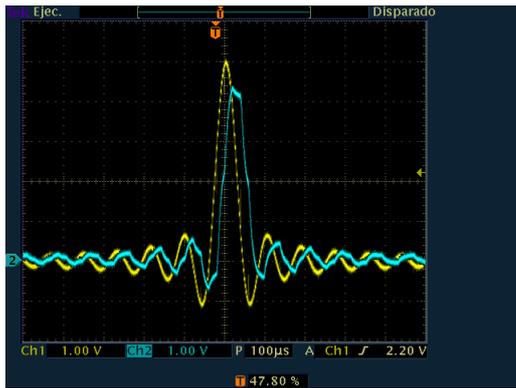


Figura 27. Señal original y recuperada (fs=50Khz)

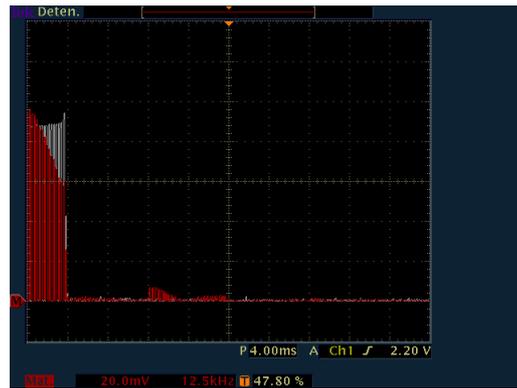


Figura 28. Espectro señal original y recuperada (fs=50Khz)

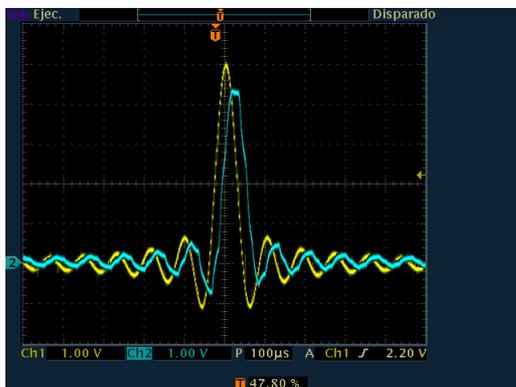


Figura 29. Señal original y recuperada (fs=60Khz)

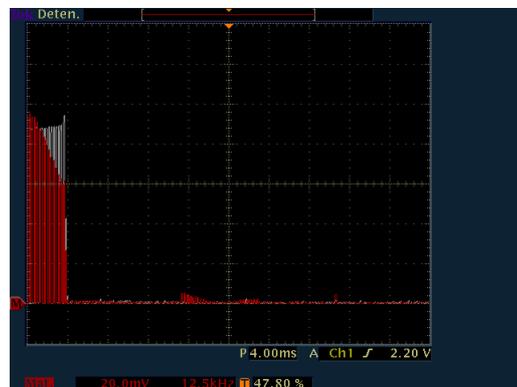


Figura 30. Espectro señal original y recuperada (fs=60Khz)

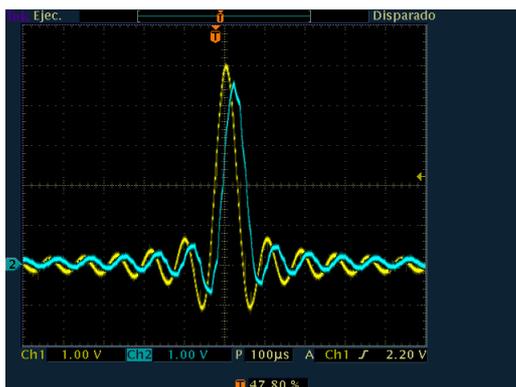


Figura 31. Señal original y recuperada (fs=70Khz)

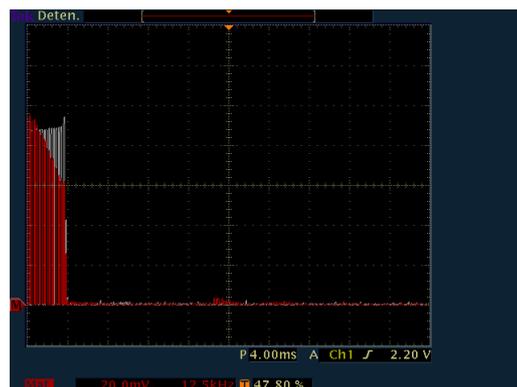


Figura 32. Espectro señal original y recuperada (fs=70Khz)

Para las frecuencias que no cumplen el teorema de muestreo (10 y 20 KHz) hay que señalar que la imagen obtenida en el osciloscopio hay que interpretarla con atención. En efecto, al no ser la señal original un único pulso sino un tren de pulsos, su espectro no es continuo sino discreto. Aunque visualmente pueda aparecer como aproximadamente un rectángulo en frecuencia, en realidad, si se observa con detalle se puede apreciar que

está formada por líneas espectrales (armónicos) muy próximas. En el caso de solape de los espectros por submuestreo, dependiendo de la precisión de la frecuencia del generador y del osciloscopio, puede que dos líneas espectrales de la misma frecuencia que se deberían superponer (y por tanto sumar), aparezcan una al lado de la otra, muy próximas en frecuencia pero no sumadas. Desde el punto de vista de potencia el resultado es prácticamente el mismo, pero visualmente no se aprecia el valor sumado del espectro debido al solape.

Apartado g)

Para el caso del submuestreo hacemos que el osciloscopio presente el espectro de modo continuo para paliar el efecto descrito en el párrafo anterior. En este caso tenemos en las figuras 33 y 34 el espectro para el muestreo natural y plano.



Figura 33. Espectro señal muestreo natural (experimental y teórico)

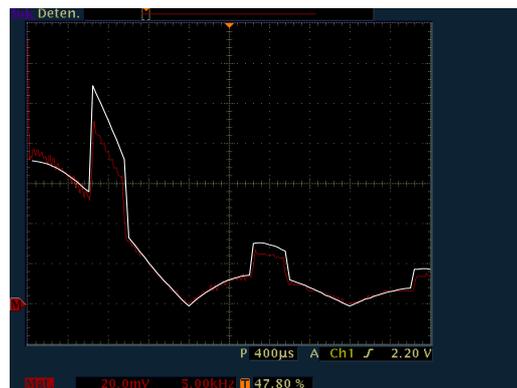


Figura 34. Espectro señal muestreo plano (experimental y teórico)

Igualmente, las figuras 35 y 36 muestran el espectro de la señal original y de la señal recuperada para el muestreo natural y plano respectivamente.



Figura 35. Espectro señal original y recuperada (experimental y teórico) con muestreo natural



Figura 36. Espectro señal original y recuperada (experimental y teórico) con muestreo plano