

Lab 6: Waveforming en Modulación Digital

Duvan Nicolas Gomez Diaz - 2202786

Erwin Mauricio Blanco Otero - 2184673

Camilo Andrés Barreto Jimenez - 2184260

https://github.com/duvangomez30/Com2_B1_G6

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Universidad Industrial de Santander

21 de Mayo del 2025

Abstract

During this lab, I had the opportunity to study how waveforming techniques are applied in digital communication systems, specifically through the use of the Raised Cosine filter and its variant, Root Raised Cosine. This type of filtering is key to improving data transmission efficiency and reducing errors related to inter-symbol interference (ISI). In the lab, I used GNU Radio software to simulate different scenarios with different filter configurations, observing how the signal is affected in time, frequency, and in its representation through constellations and eye diagrams. This experience allowed me to practically understand the importance of pulse shaping in digital communication, as well as how parameters such as the roll-off factor directly influence the quality of the received signal.

1. Introducción

La práctica se enfocó en la simulación de señales digitales utilizando técnicas de waveforming, con énfasis en el uso de filtros de Coseno Alzado y Raíz de Coseno Alzado, conocidos por su capacidad para mitigar la interferencia intersimbólica (ISI) [1]. Se utilizó GNU Radio para modelar distintos casos: desde señales sin filtrado hasta configuraciones con valores de beta variables, en un entorno libre de ruido y posteriormente en presencia de este. Se analizaron resultados en el dominio del tiempo y la frecuencia, evaluando el comportamiento de la señal mediante la densidad espectral de potencia (PSD), el diagrama de ojo y la constelación [2]. El experimento incluyó modulaciones como 8PSK y 16QAM para estudiar el impacto del filtrado en sistemas más complejos [3]. Finalmente, se compararon los efectos del filtro raíz

de coseno alzado, destacando su eficiencia en canales ruidosos aunque con ciertas limitaciones en la reducción del ISI [4].

2. Metodología

Para el desarrollo de esta practica se siguieron unas indicaciones, para ello se debian configurar algunos bloques de GNU RADIO con respecto a los parametros indicados.

Se Descargo el archivo de la guia, se implemento y se ajustaron los parametros de acuerdo a cada caso

2.1. Caso 1

- Filtro: Forma rectangular
- Ancho de banda (BW): $BW = \text{samprate} / 2$
- Ruido: Potencia cero

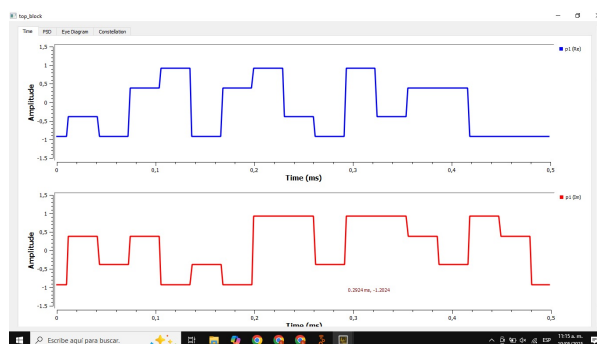


Figura 1. Señal en el tiempo caso 1. .

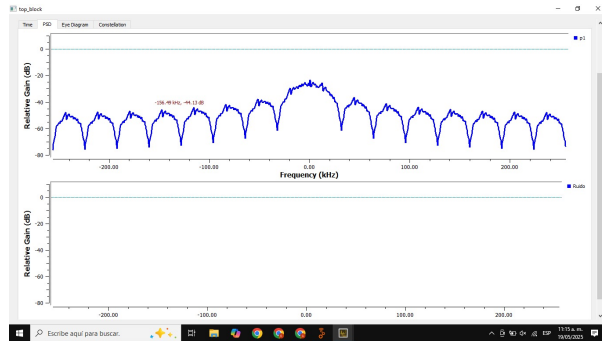


Figura 2. PSD caso 1. .

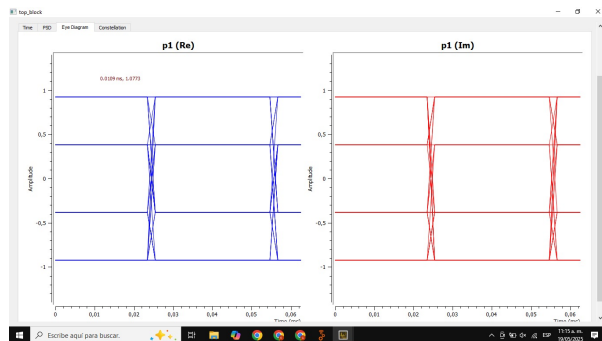


Figura 3. Diagrama de ojo caso 1. .

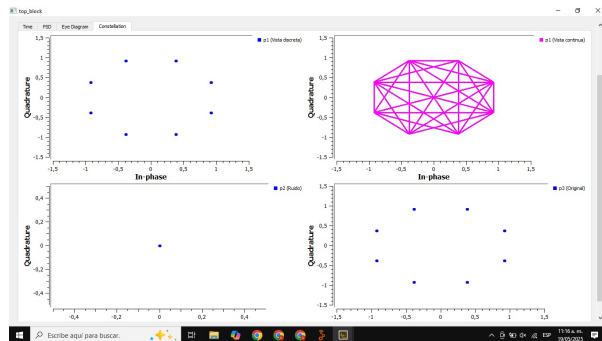


Figura 4. Diagrama de constelaciones caso 1.

- Se evidenció una señal con fuerte presencia de ISI en el diagrama de ojo. El espectro no está controlado, y los puntos en la constelación presentan mayor dispersión.

2.2. Caso 2

Para el caso dos se usaron ventallas rectangulares con filtrado, el ancho de banda del filtro era igual a RS se ajustaba la potencia del ruido en cero se observaba el fenómeno de interferencia intersimbólica (ISI) en la señal en el tiempo o en el diagrama de ojo.

- filtro paso bajo: BW filtro = Rs
- Ruido: Potencia cero

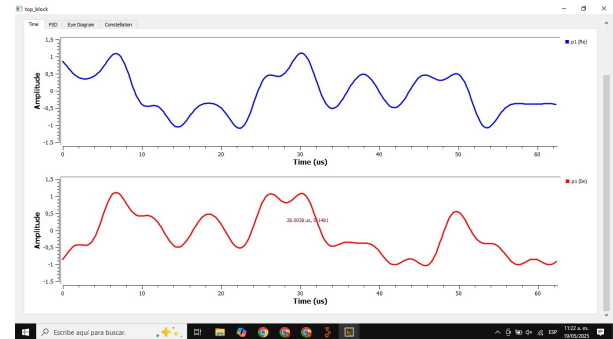


Figura 5. Señal en el tiempo caso 2. .

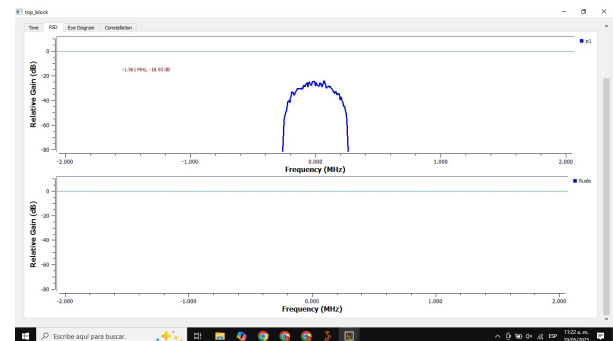


Figura 6. PSD caso 2. .

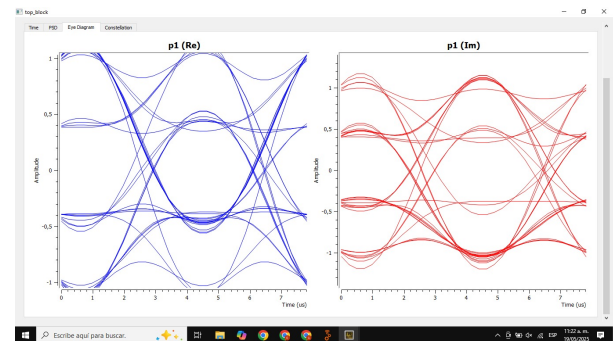


Figura 7. Diagrama de ojo caso 2. .

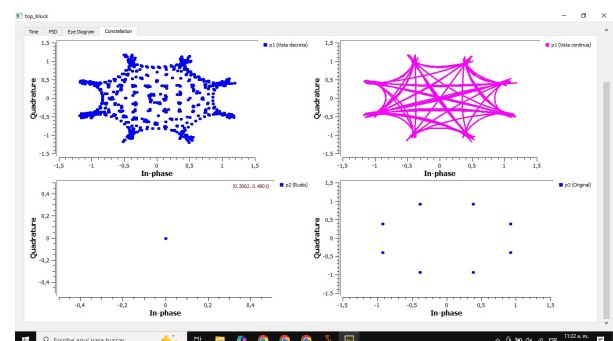


Figura 8. Diagrama de constelaciones caso 2. .

- Aunque el filtrado mejora el espectro en frecuencia, se mantiene el ISI. El diagrama de ojo aún muestra solapamiento entre símbolos, y la constelación no está bien definida.

2.3. Caso 3

En el caso 3 se utilizó la forma de coseno alzado, beta igual a 1, se ajustó la potencia del ruido igual a 0.

- Filtro: Coseno alzado
- Beta: 1
- Ancho de banda teórico: $BW = R_s/2 \times (1 + \beta)$
= R_s
- Ruido: Potencia cero

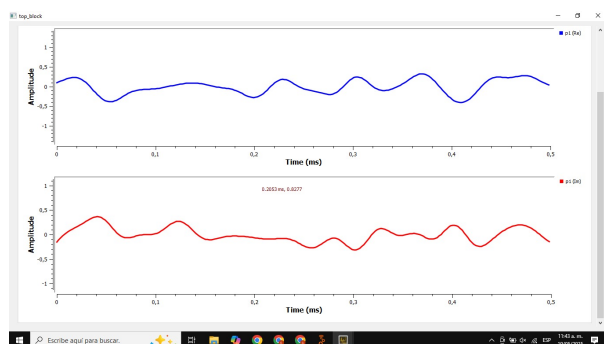


Figura 9. Señal en el tiempo caso 3.

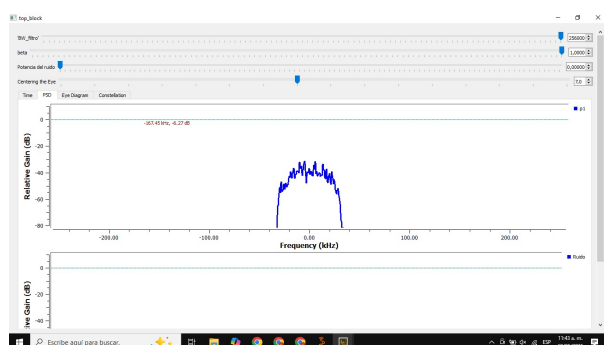


Figura 10. PSD caso 3.

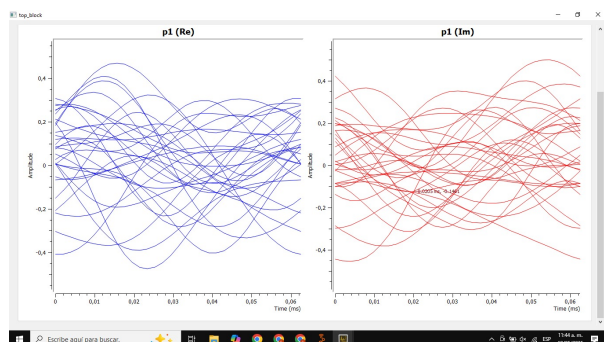


Figura 11. Diagrama de ojo caso 3.

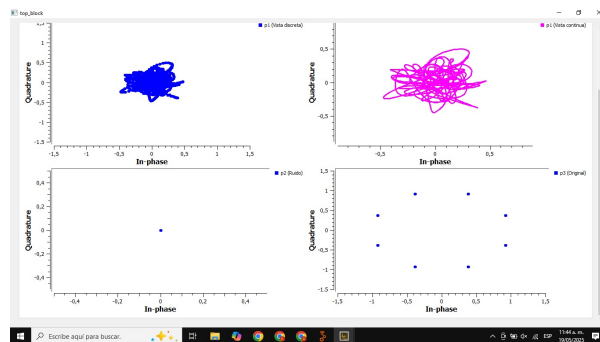


Figura 12. Diagrama de constelaciones caso 3.

- La apertura del diagrama de ojo mejora notablemente, indicando una reducción del ISI. La constelación presenta puntos bien definidos. El ancho de banda se alinea con el valor calculado.

2.4. Caso 4

En el caso 4 se utilizó la forma de coseno alzado, beta igual a 0, se ajustó la potencia del ruido igual a 0 y se observaban su respuesta en cada gráfica.

- Filtro: Coseno alzado
- Beta: 0
- Ancho de banda teórico: $BW = R_s/2 \times (1 + \beta)$
= $R_s/2$
- Ruido: Potencia cero

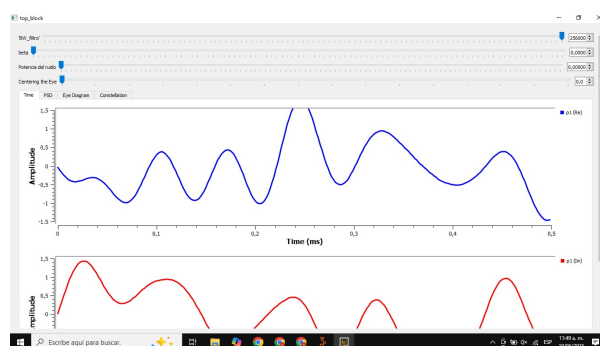


Figura 13 Señal en el tiempo caso 4.

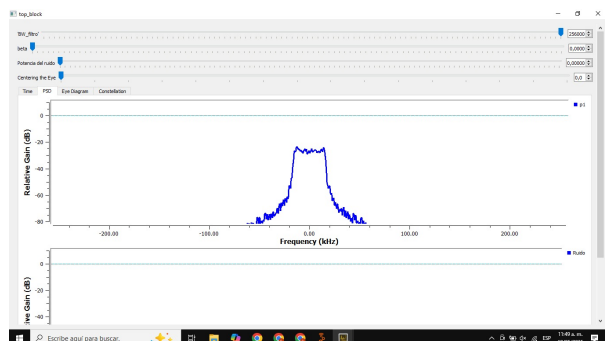


Figura 14. PSD caso 4. .

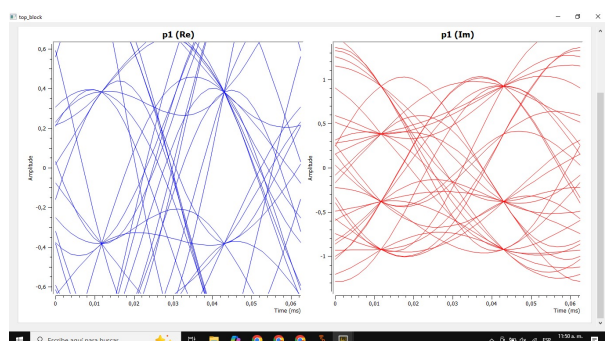


Figura 15. Diagrama de ojo caso 4. .

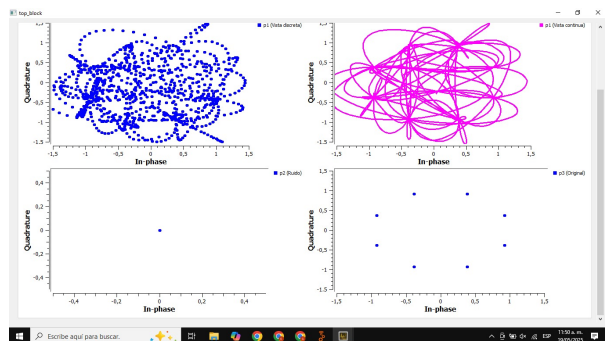


Figura 16. Diagrama de constelaciones caso 4. .

- Se logra una señal más contenida en frecuencia, pero el ISI se incrementa. El diagrama de ojo se estrecha y los puntos en la constelación comienzan a dispersarse.

2.5. Caso 5

- Filtro: Coseno alzado
- Beta: 0.5
- Ancho de banda teórico: $BW = R_s/2 \times (1 + \beta)$
- Ruido: Potencia cero

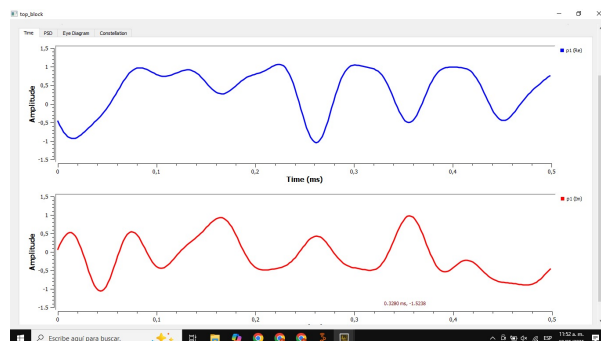


Figura 17. Señal en el tiempo caso 5. .

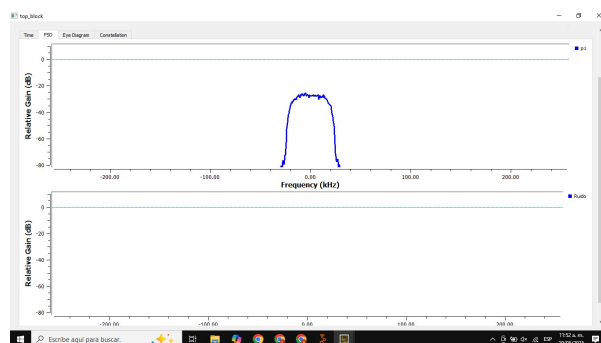


Figura 18. PSD caso 5. .

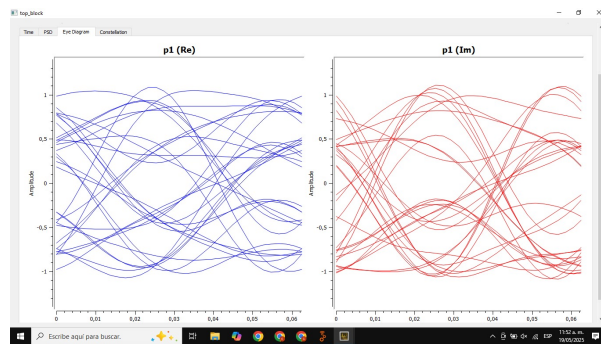


Figura 19. Diagrama de ojo caso 5. .

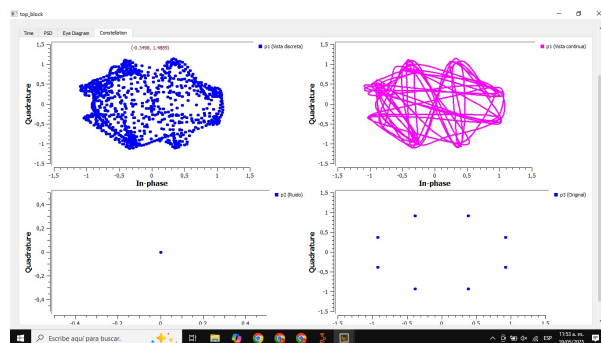


Figura 20. Diagrama de constelaciones caso 5. .

- Se obtiene un buen compromiso entre eficiencia espectral y apertura del diagrama de ojo. La conste-

lación se mantiene clara y los niveles de ISI son bajos.

pleados ayudaron a mitigar este efecto, resaltando su importancia en escenarios reales.

3. Analisis de resultados

Durante la ejecución de la práctica, se observaron diferencias significativas en el comportamiento de la señal según el tipo de waveforming utilizado y la configuración de parámetros como el filtro aplicado, el valor de beta, el tipo de modulación y la presencia o ausencia de ruido. Las representaciones gráficas obtenidas en el tiempo, la frecuencia, el diagrama de ojo y las constelaciones permitieron evaluar detalladamente el desempeño de cada configuración.

En los primeros casos, donde no se aplicó filtrado o se utilizaron formas rectangulares, fue evidente la presencia de interferencia intersimbólica (ISI), reflejada en un diagrama de ojo poco abierto y constelaciones dispersas. Al implementar filtros de coseno alzado con diferentes valores de beta, se observó una mejora notable en la apertura del diagrama de ojo y en la agrupación de los puntos de la constelación, lo cual indica una menor dispersión de los símbolos y una transmisión más confiable. El parámetro beta tuvo un papel crucial: un valor alto ($\beta=1$) amplió el ancho de banda pero permitió una mejor separación temporal entre símbolos, mientras que un valor bajo ($\beta=0$) redujo el ancho de banda a costa de un incremento del ISI.

El uso del filtro raíz de coseno alzado introdujo una ventaja al dividir la tarea de filtrado entre el transmisor y el receptor, sin embargo, como se evidenció en el diagrama de ojo, no existe un instante completamente libre de ISI, lo cual implica un compromiso entre eficiencia espectral y complejidad del receptor.

Finalmente, al introducir ruido y emplear modulaciones más densas como 16QAM, se apreció una degradación de la calidad de la señal, manifestada en la dispersión de las constelaciones. No obstante, los filtros em-

4. Conclusiones

- El uso de filtros Coseno Alzado y Raíz de Coseno Alzado resulta esencial para controlar el ancho de banda y mejorar la calidad de la transmisión, especialmente en sistemas digitales donde la interferencia intersimbólica puede comprometer la integridad de los datos
- El parámetro beta o roll-off tiene un impacto directo sobre el equilibrio entre eficiencia espectral y robustez ante errores, siendo una herramienta crítica en el diseño de sistemas de modulación digital.
- Las graficas, como el diagrama de ojo y la constelación, son herramientas clave para evaluar visualmente el desempeño del sistema y la presencia de ISI
- Aunque el filtro Raíz de Coseno Alzado mejora la transmisión en ciertos escenarios, no garantiza una completa eliminación del ISI, lo cual debe tenerse en cuenta.

Referencias

- [1] . S. M. Proakis, J. G., *Digital Communications (5th ed.)*. McGraw-Hill., 2008.
- [2] S. Haykin, *Communication Systems (4th ed.)*. Wiley. McGraw-Hill., 2001.
- [3] G. R. (s.f.), *Official Documentation*. <https://wiki.gnuradio.org/>.
- [4] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications (2nd ed.)*. Prentice Hall, 2001.