



**Universidad Nacional de Río Negro**

ESCUELA DE PRODUCCIÓN, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

## **Entregable N° 4**

Detección de múltiples Señales inmersas en ruido

**Alumno:** Mirko Manuel Pojmaevich

**Profesores:** Areta Javier, Marinsek Gonzalo

**Materia:** Procesos Estocásticos | **Código:** B5602

Fecha de entrega: 27 de octubre de 2022

Rev.	Fecha	Profesor	Nota

## Índice

<b>1. Ejercicios</b>	<b>2</b>
<b>2. Ejercicios 1, 2 y 3</b>	<b>3</b>
<b>3. Ejercicio 4</b>	<b>4</b>
<b>4. Ejercicio 5</b>	<b>4</b>
<b>5. Aumentar progresivamente el nivel de ruido</b>	<b>6</b>
<b>6. Optativos</b>	<b>14</b>
6.1. Aumentar L . . . . .	14
6.2. Calculo teórico del filtro . . . . .	16
6.3. Ruido no blanco . . . . .	16

## 1. Ejercicios

1. Crear dos secuencias aleatorias discretas  $S1$  y  $S2$  (valores  $+1$  y  $-1$ ) de largo  $L$  (aprox 100).
2. Generar dos vectores de datos fijos a transmitir  $X1$  y  $X2$ , de largo  $N$  (máximo largo 10). (Estos datos también valen  $+1$  y  $-1$ )
3. Generar los vectores a Transmitir  $T1$  y  $T2$ , los cuales constan en repetir las secuencias discretas  $S1$  y  $S2$ , multiplicadas por el valor del dato. Es decir si el dato a transmitir fuera  $[+1 -1 -1]$ , el vector  $T1$  sería  $[S1 -S1 S1]$  Los vectores a Transmitir tienen entonces un largo de  $L \times N$
4. Generar el vector de la señal recibida como  $R=T1+T2+\text{ruido blanco}$ . Con varianza variable (empezar con ruido casi nulo)
5. Obtener la correlación de  $R$  con  $S1$  usando la función "filter", es decir: definir como debe ser  $h1(n)$  tal que  $h(n)$  convolucionado con  $R$  sea la correlación entre  $R$  y  $S1$ . Hacer lo mismo para  $S2$
6. Graficar en un mismo ploteo, pero en gráficos separados:
  - la señal Recibida
  - el resultado de filtrar  $R$  con  $h1$  y  $h2$ .
  - identificar la posibilidad de obtener los datos  $X1$  y  $X2$  en base a la correlación.
7. Aumentar el nivel de ruido y verificar hasta que valor de ruido es posible seguir identificando las señales inmersas en ruido. Verificar como es la señal recibida visualmente y elaborar respecto a la posibilidad de detectar las señales

Optativos:

1. Modificar el tamaño de  $L$  y identificar que cambios produce
2. Calcular teóricamente el valor esperado de la salida del filtro. (Pista: son 3 valores)
3. Elaborar respecto a que sucedería si el ruido no fuera blanco

## 2. Ejercicios 1, 2 y 3

Tras definir los datos, las secuencias y los vectores a transmitir, se los plotea juntos, como se muestra en la figura 1. Las señales fueron renombradas, a los datos X1 y X2 se los llama d1 y d2 respectivamente. Las secuencias conservan el nombre, pero los mensajes T1 y T2, se los llama M1 y M2.

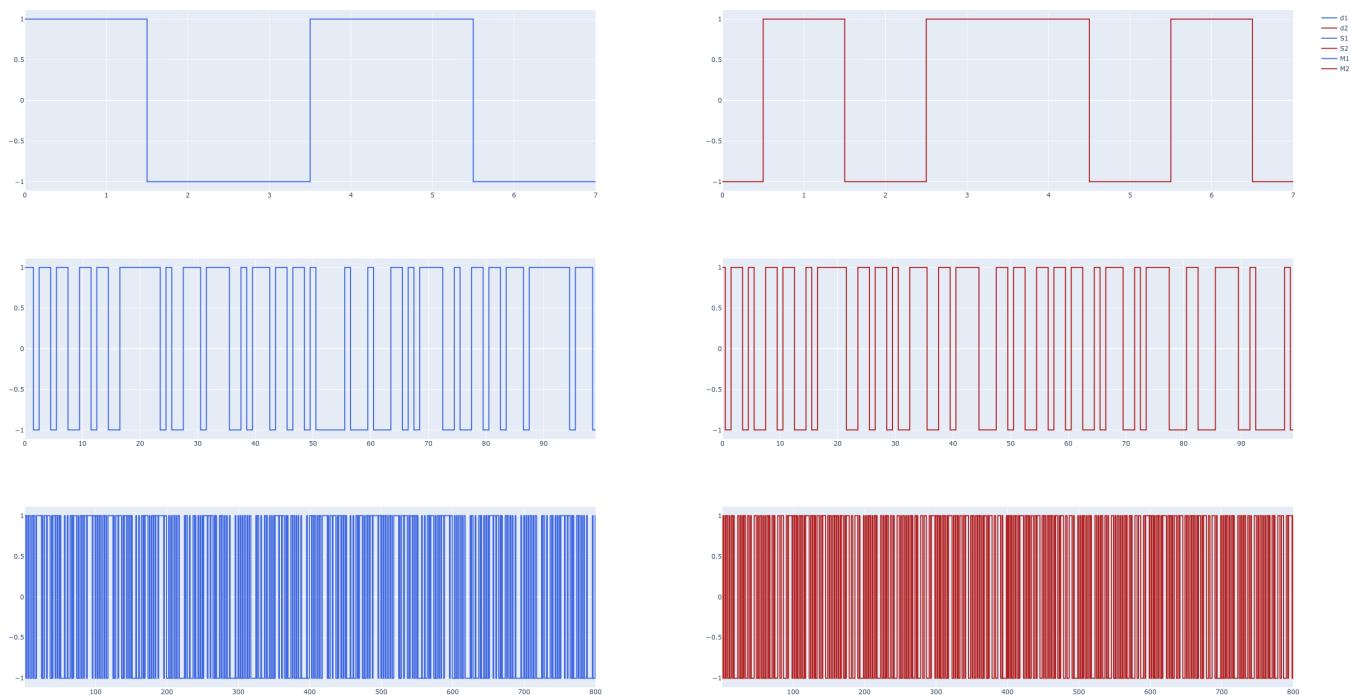


Figura 1: Datos a transmitir, secuencia de codificación y mensajes a codificados

### 3. Ejercicio 4

La primera señal recibida, con ruido aleatorio de magnitud menor a 0,1, se muestra en la figura 2

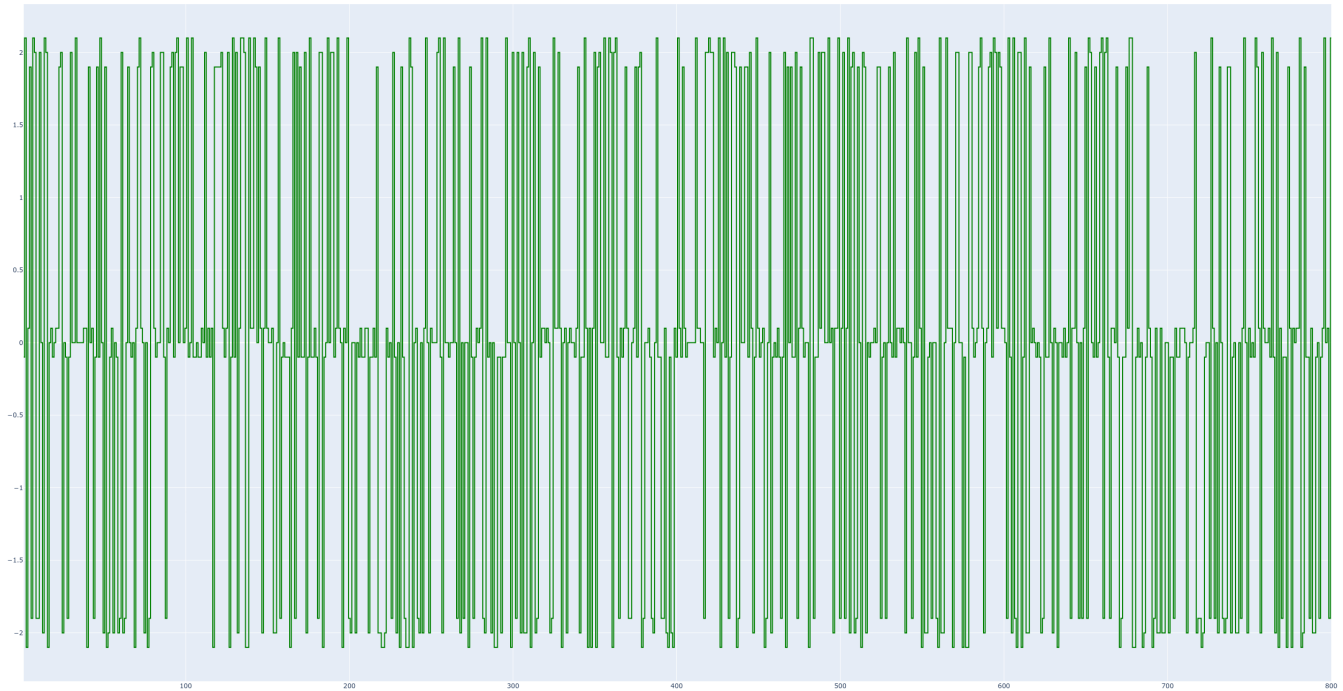


Figura 2: Transmisión con ruido aleatorio de magnitud menor a 0,1

### 4. Ejercicio 5

Las simulaciones fueron realizadas en Julia, lenguaje de programación que cuenta con una función filter de la que se desconocía al momento de simular, por lo que se realizó una convolución. Para que la convolución actuara como el calculo de la correlación se invirtió el orden de los elementos en el vector de la secuencia y se utilizó este vector invertido como respuesta al impulso de filtro teórico. En la ecuación 1 se muestra porque esta solución resulta en la correlación.

$$\begin{aligned}
 T \star h(\tau) &:= \int_{-\infty}^{\infty} T^*(t) \cdot h(t + \tau) dt \\
 T * h(\tau) &:= \int_{-\infty}^{\infty} T(t) \cdot h(t - \tau) dt \\
 T(t) &= T^*(t) \because T(t) \in \mathbb{R} \\
 \therefore T * h(-\tau) &= T \star h(\tau)
 \end{aligned} \tag{1}$$

El resultado de este filtrado se puede apreciar en la figura 3

En la figura 3 se pueden apreciar 8 picos muy pronunciados en cada resultado. Si se comparan los picos de cada señal filtrada, con los datos iniciales en la figura 1, se puede apreciar como el orden de estos picos coincide con los datos iniciales.

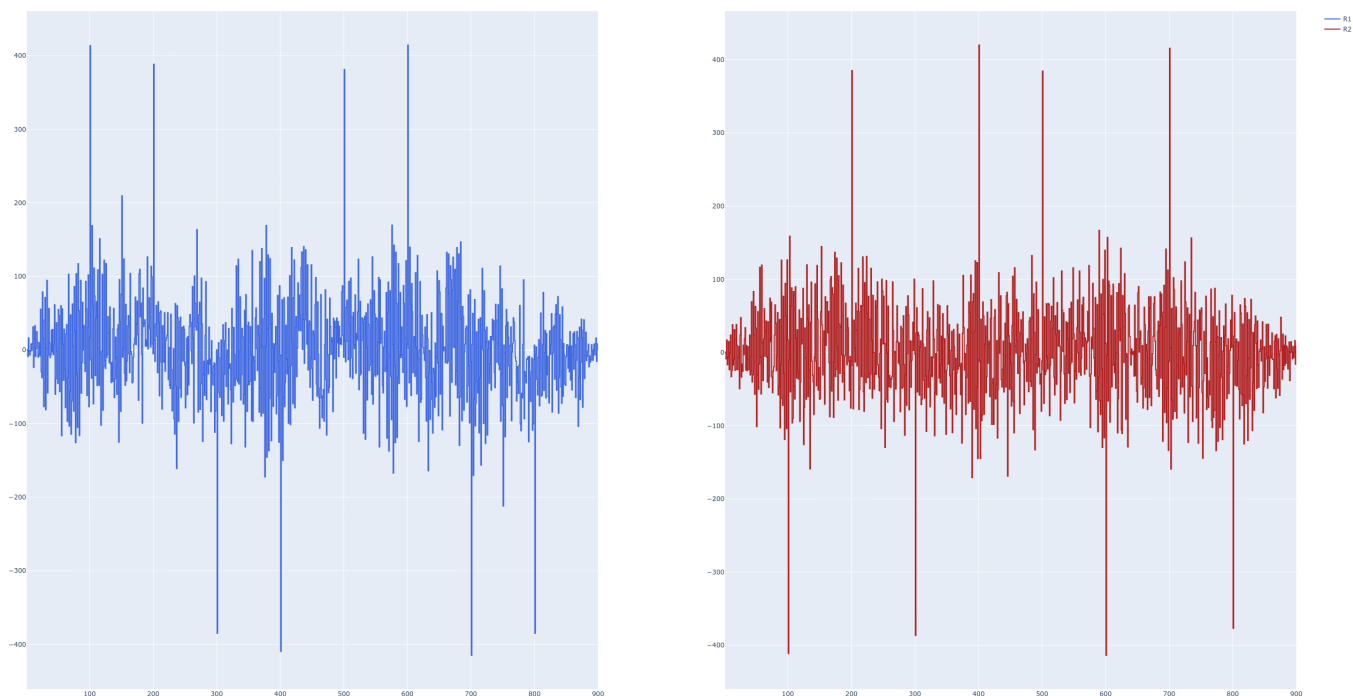


Figura 3: Señales obtenidas tras calcular la correlación de la transmisión con cada código

$$d_1 = [1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1,]; \quad d_2 = [-1, 1, -1, 1, 1, -1, 1, -1,]$$

Esto nos da la pauta de que filtrando podemos recuperar el mensaje, estableciendo dos umbrales y tratando los picos que sobrepasen el umbral superior como un 1 y los que caigan debajo del umbral inferior como -1.

## 5. Aumentar progresivamente el nivel de ruido

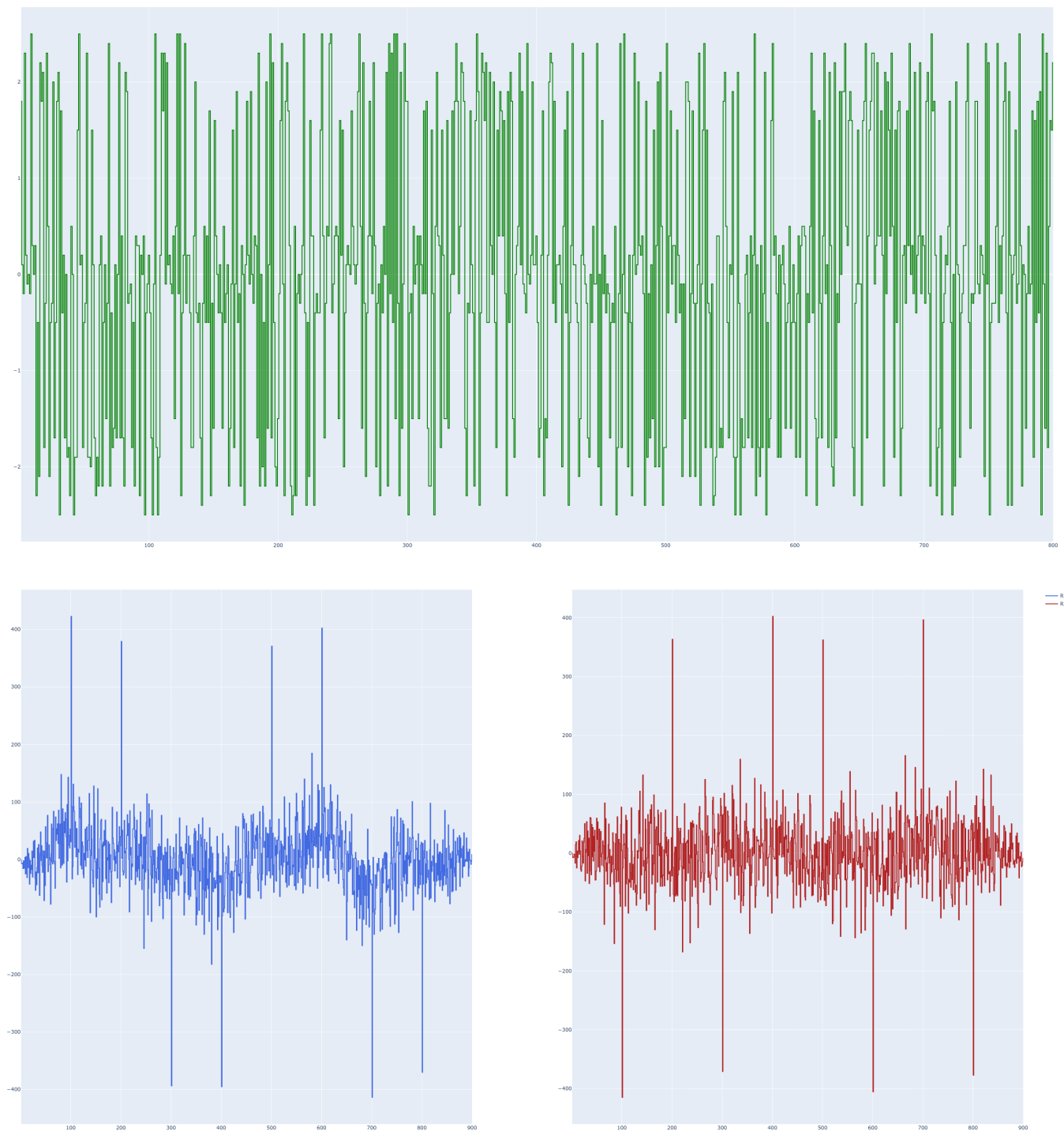


Figura 4: Transmisión y datos filtrados, con un ruido de magnitud menor a 0,5

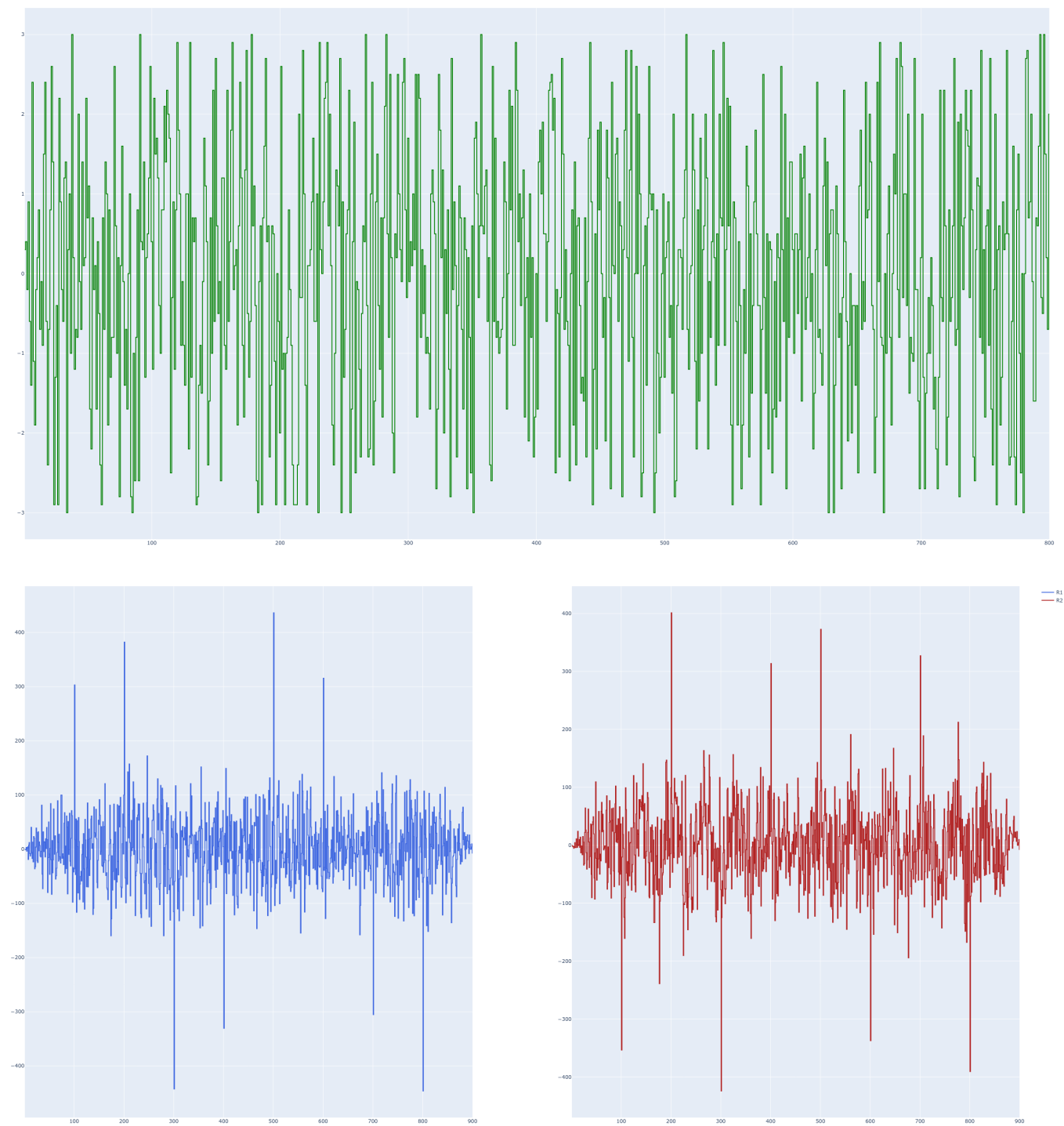


Figura 5: Transmisión y datos filtrados, con un ruido de magnitud menor a 1,0



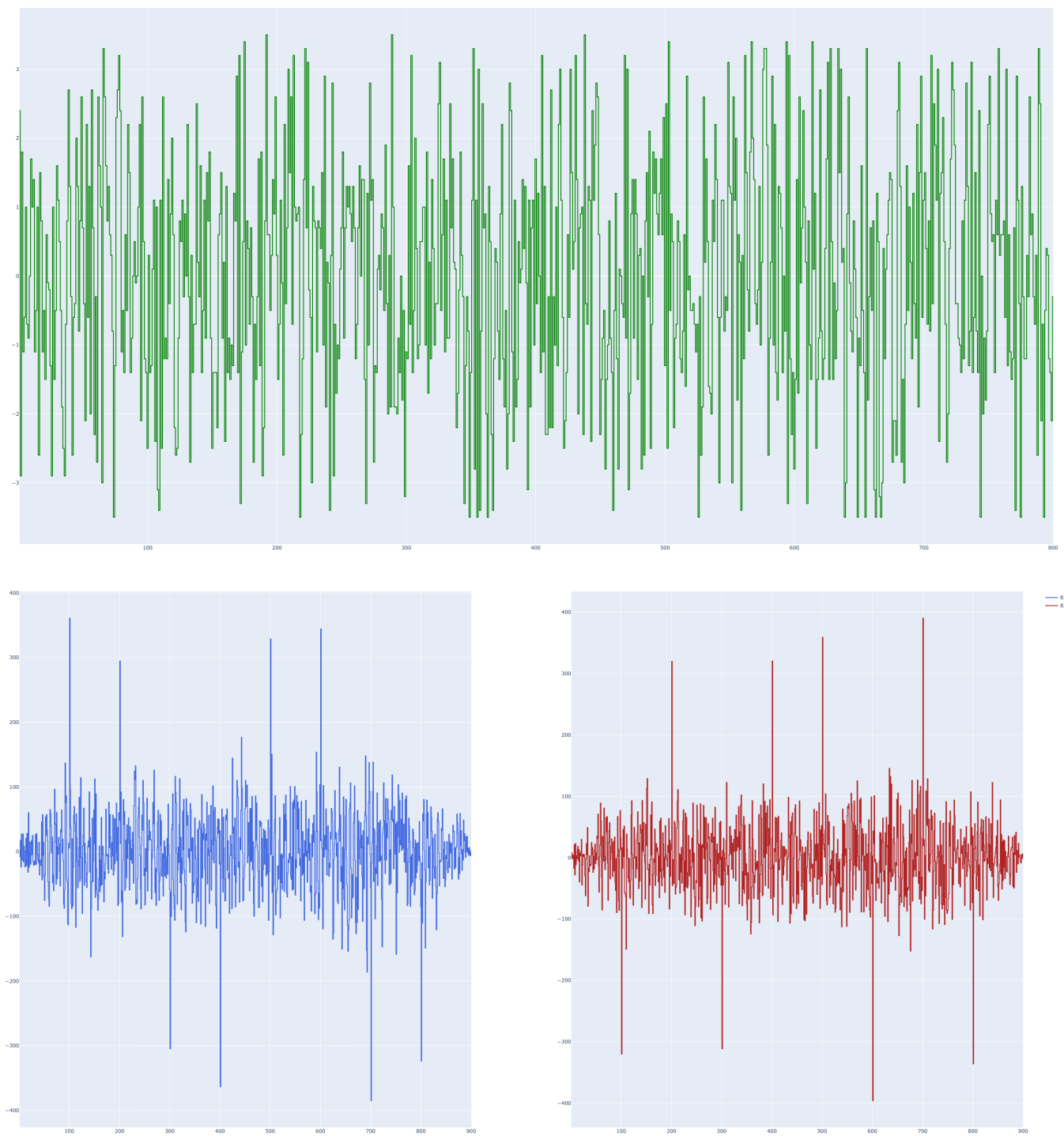


Figura 6: Transmisión y datos filtrados, con un ruido de magnitud menor a 1,5

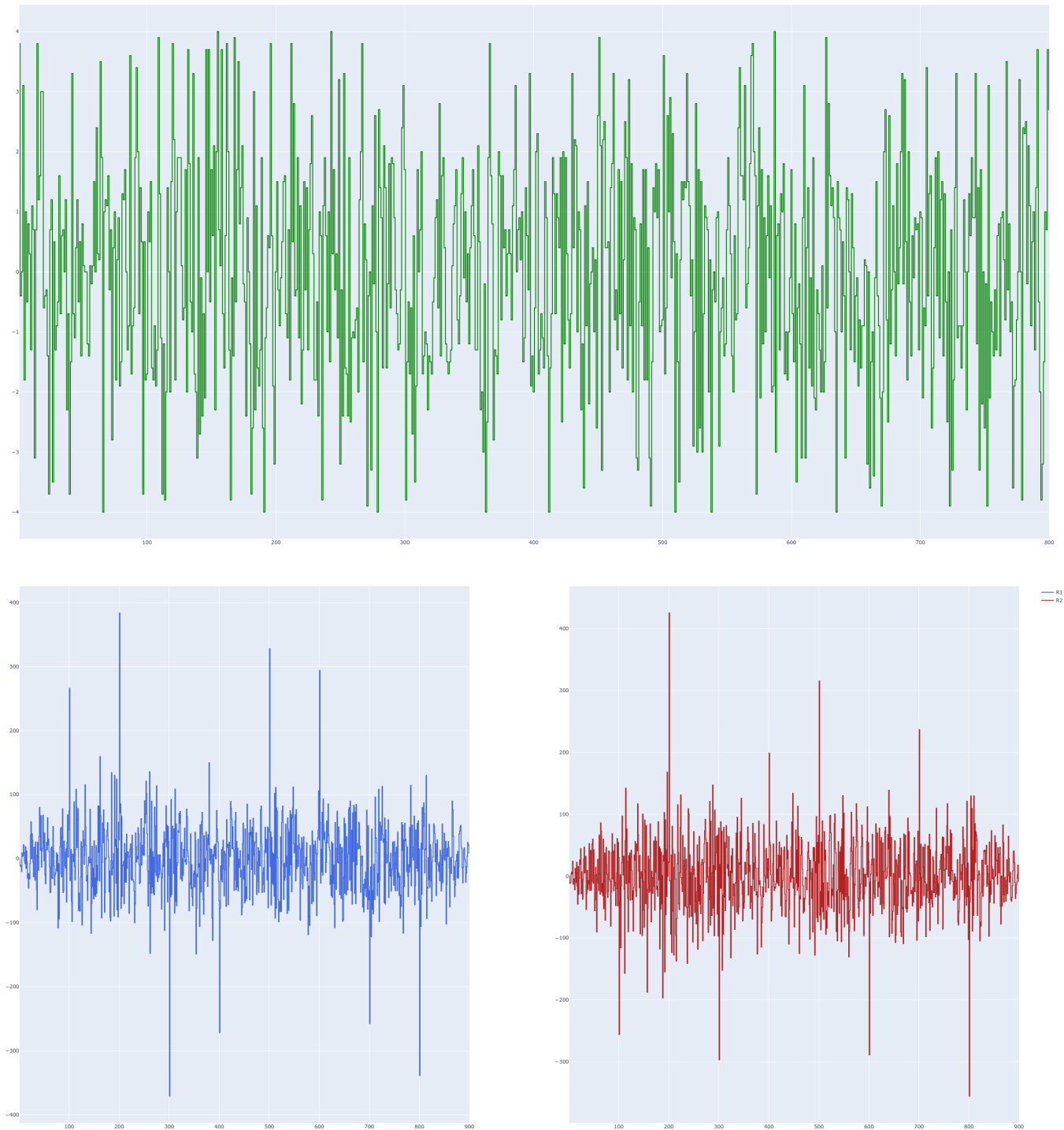


Figura 7: Transmisión y datos filtrados, con un ruido de magnitud menor a 2,0

En la figura 7 se ve como algunos datos ya no muestran un pico tan pronunciado, en relación a los picos de ruido. En este caso se ve como un pico negativo de ruido, cercano al segundo dato de la señal roja, tiene una magnitud similar al cuarto dato de la misma señal. Para corroborar si este fenómeno era consistente, o si esta situación desfavorable fue fruto del azar, se repitió la simulación dos veces más.

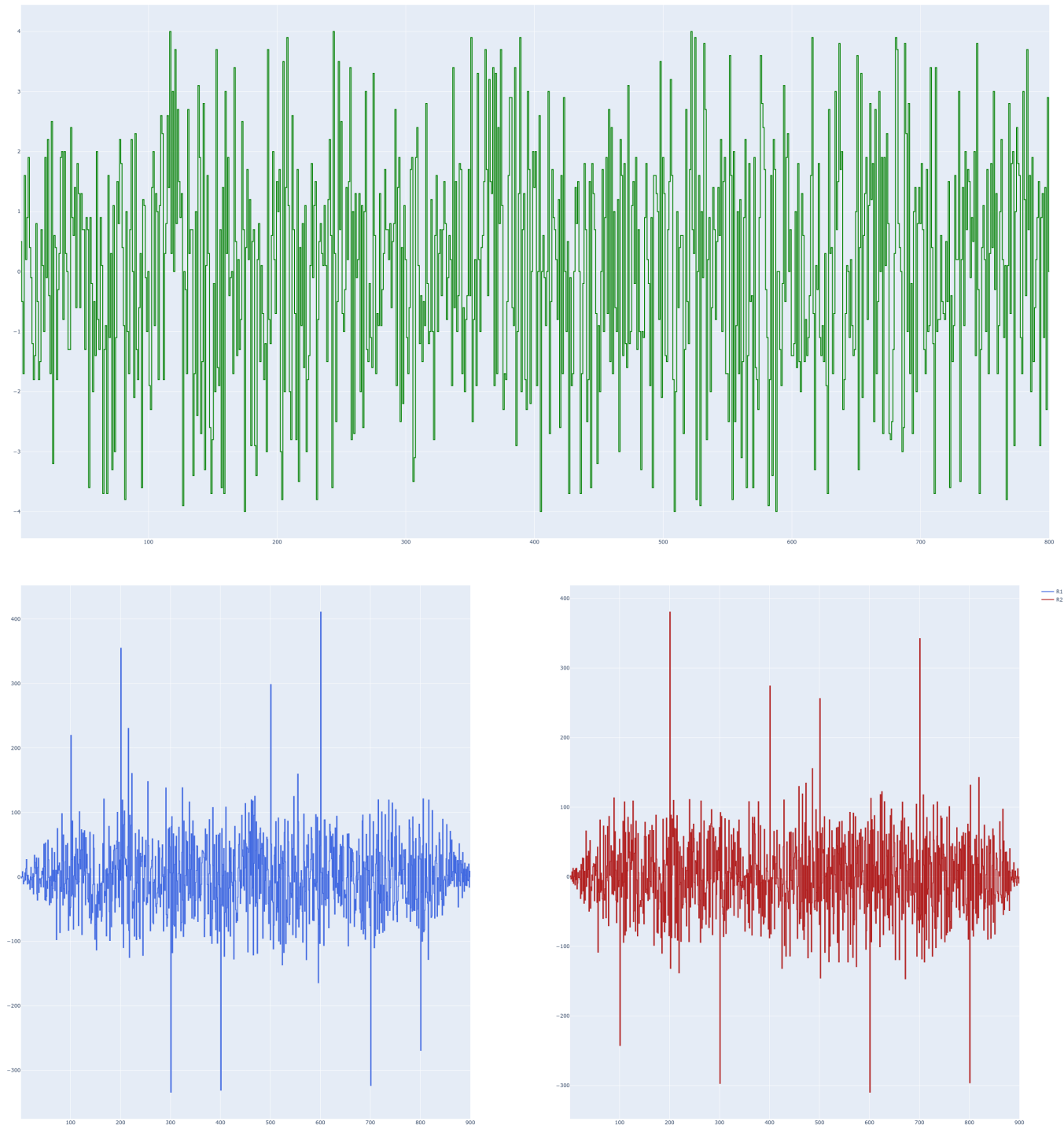


Figura 8: Transmisión y datos filtrados, con un ruido de magnitud menor a 2,0. Segundo intento

Tras repetir el experimento dos veces más, se obtuvieron las figuras 8 y 9. La figura 9 es alentadora, porque en ella existe umbral claro mediante el cual se podría reconstruir la señal. Ningún pico de ruido supera una amplitud de 200, el mas cercano ronda los 180 cerca del tercer dato de la señal azul, mientras que ningún dato cae por debajo de este umbral, siendo el más bajo el primer dato de la señal azul, el cual ronda los 220. Sin embargo, en la figura 8, se ve un pico de ruido cercano

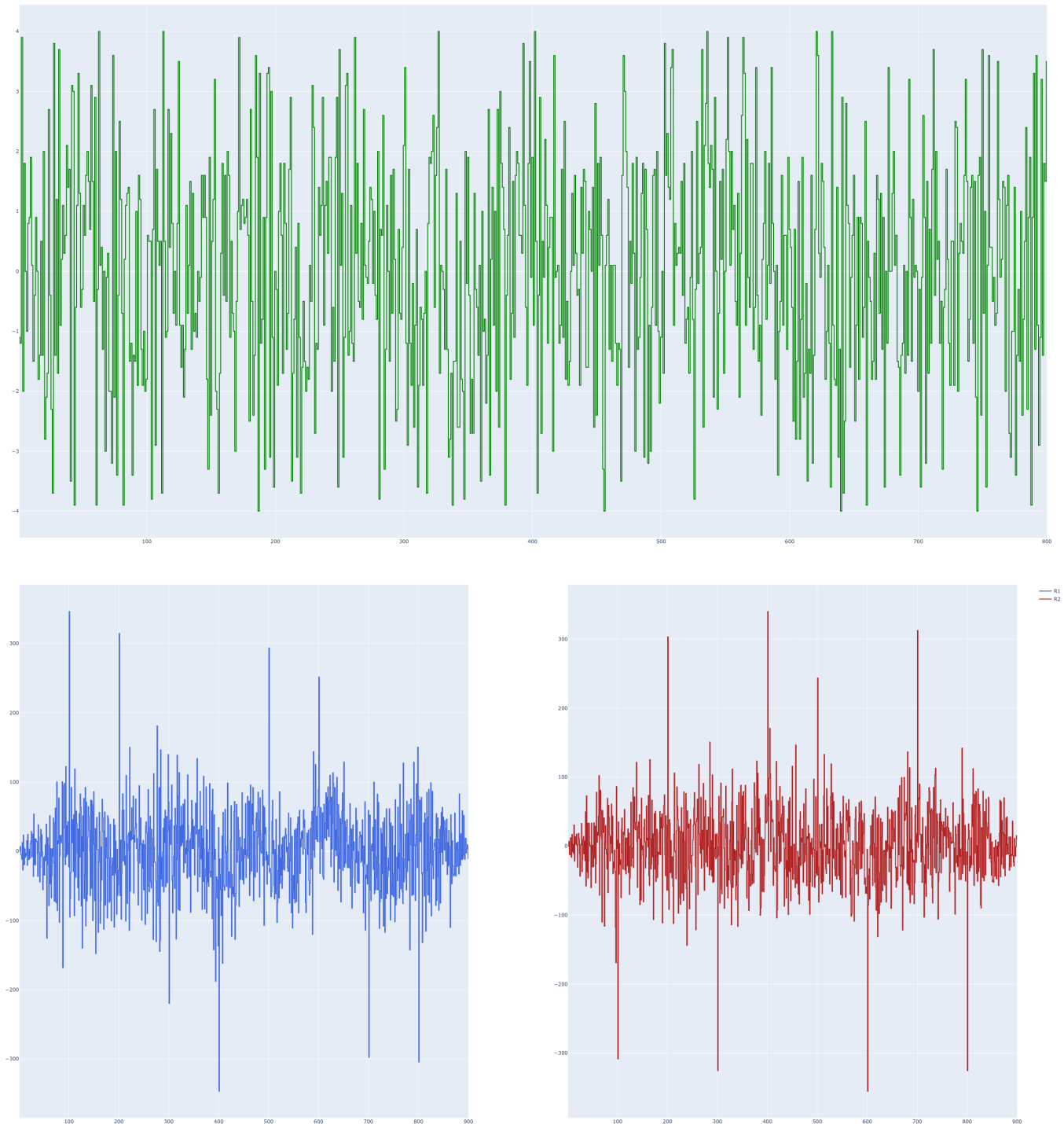


Figura 9: Transmisión y datos filtrados, con un ruido de magnitud menor a 2,0. Tercer intento

al segundo dato de la señal azul que supera en magnitud al primer dato de la misma señal. Esto podría intentar solucionarse estableciendo una ventana de tiempo entre picos y tomando el pico de mayor magnitud dentro de cada ventana. Aun así, formalizar este mecanismo excede el objetivo de este trabajo, por lo que se concluirá que, utilizando el método de los umbrales, un ruido con el doble de magnitud que los datos es el máximo que este sistema tolera.

$$S/N < 0,5 \quad (2)$$

Por curiosidad sobre como se deteriora la señal al seguir aumentando el nivel de ruido se repitió la simulación con una magnitud de ruido menor a 2,5.

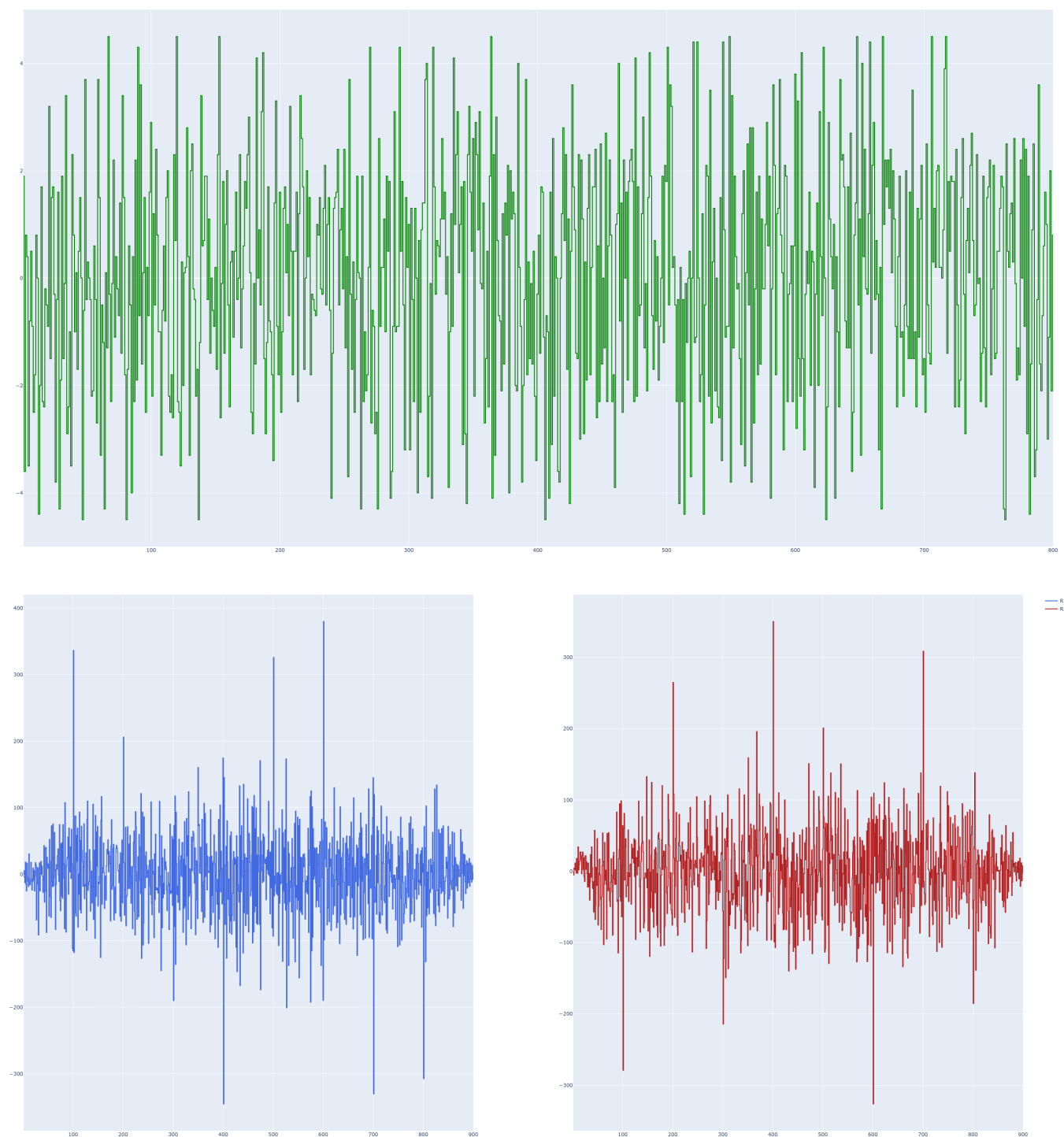


Figura 10: Transmisión y datos filtrados, con un ruido de magnitud menor a 2,5

Resulta muy llamativo como la mayoría de los picos pueden seguir siendo claramente diferenciados, el problema surge cuando se compara el pico de ruido máximo con el pico de dato mínimo.

## 6. Optativos

### 6.1. Aumentar L

Cambiando  $L = 100$  por  $L = 1000$ , obtenemos la figura 11.

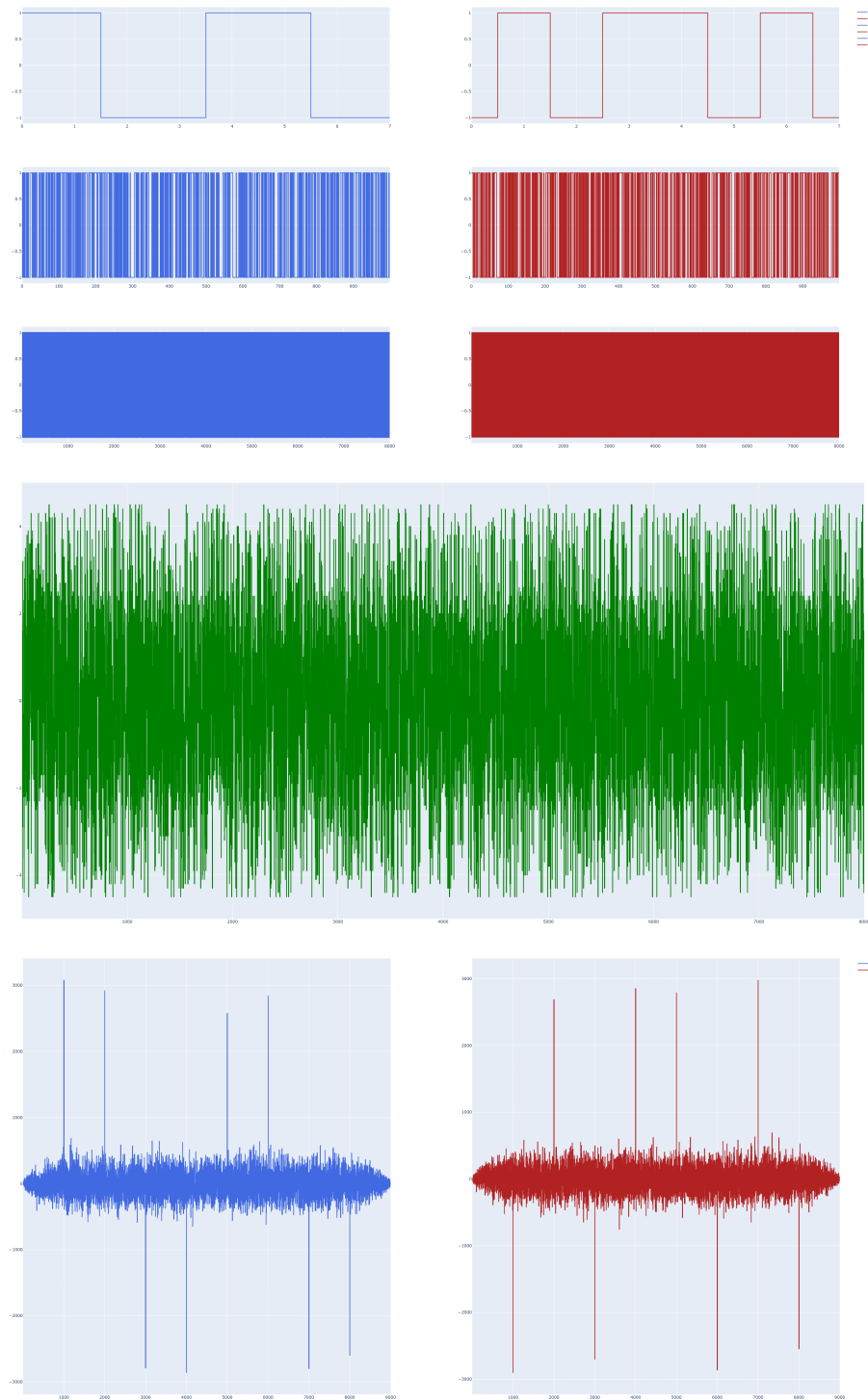


Figura 11: Señales, transmisión y datos filtrados, con un ruido de magnitud menor a 2,5. Con  $L=1000$

En este caso los picos de los datos se amplifican a tal punto que resulta posible aumentar el nivel de ruido significativamente. En la figura 12 se muestra esto mismo. Pudiendo identificar los datos utilizando umbrales con una  $S/N = 0,1$ .

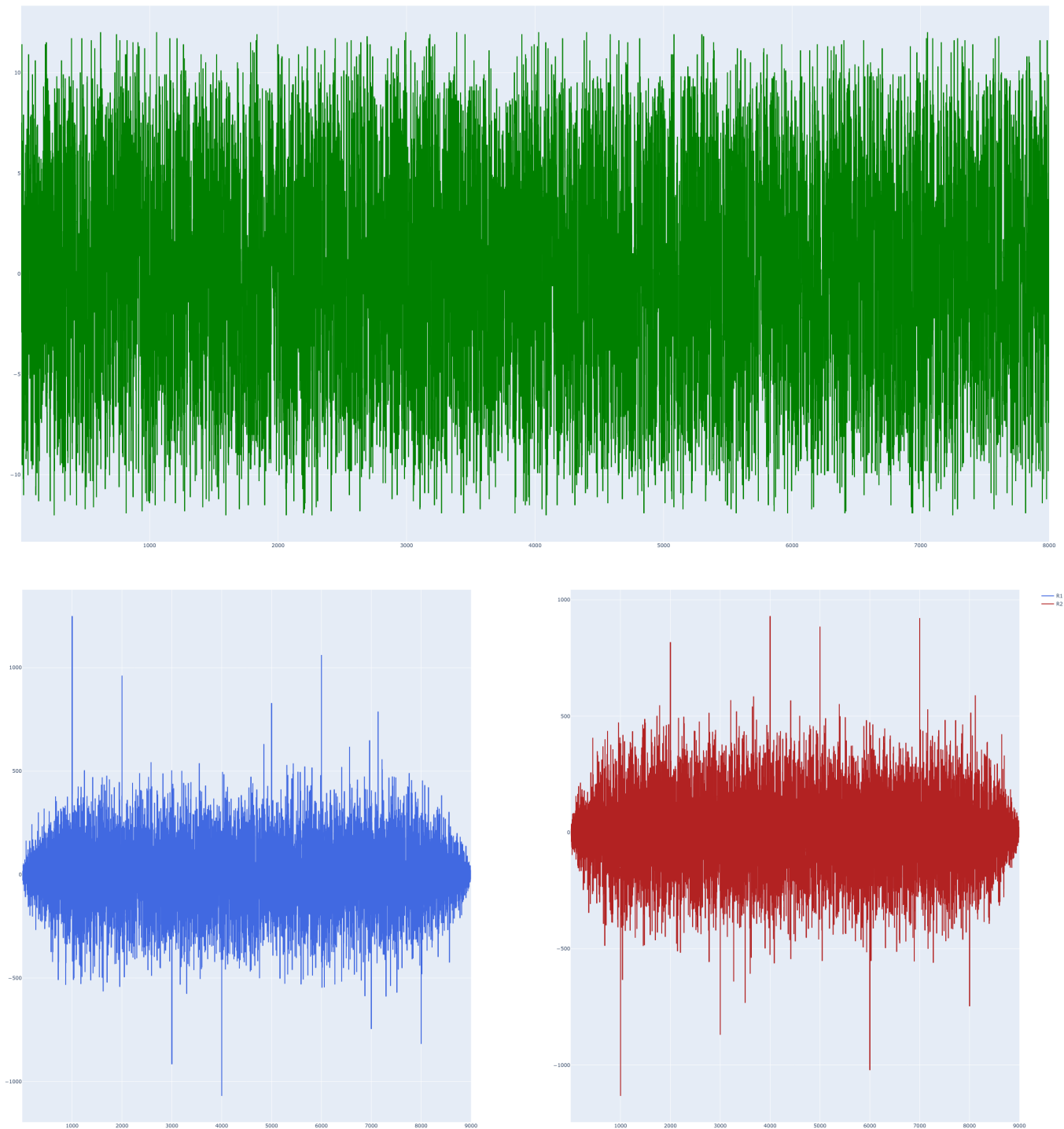


Figura 12: Transmisión y datos filtrados, con un ruido de magnitud menor a 10



## 6.2. Calculo teórico del filtro

$$\begin{aligned}
 M[n] &:= \sum_{i=0}^{N-1} d_i \cdot S[t - i \cdot L] \\
 T[n] &:= M[n] + N[n] \\
 T \star S[k] &= M \star S[k] + N \star S[k] \\
 N \star S[k] &= 0 \\
 M \star S[k] &= \sum_{i=0}^{N-1} d_i \cdot L \cdot \delta[n - \frac{L}{2} - i \cdot L] \\
 M \star S[k] &= \begin{cases} L & \text{si, } k = \frac{L \cdot i}{2} \wedge d_i = 1 \\ -L & \text{si, } k = \frac{L \cdot i}{2} \wedge d_i = -1 ; i \in \mathbb{Z} \\ 0 & \text{c.c.} \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Esto no coincide con lo visto en las simulaciones, ver ruido en lugar de 0 entre los datos es esperable ya que el calculo nos da el valor esperado, pero lo que encontramos es una realización. Lo que no es esperado es la magnitud de los picos, en ocasiones llegando a  $4 \cdot L$ . Se asume que se debe a algún artefacto de la función de convolución de Julia y se lo tendrá en cuenta para trabajos futuros.

## 6.3. Ruido no blanco

Como las secuencias son generadas aleatoriamente y se esperaría que sean blancas, que el ruido no sea blanco no debería traer consecuencias. Conociendo las secuencias esto cambia, porque ahora podemos conocer el valor medio de cada secuencia, el cual probablemente sea distinto de 0. Esto causa que en la practica esperemos ver, aproximadamente, el ruido escalado por la media de secuencia. Por ejemplo, si nuestro ruido fuera un seno determinístico, con un periodo significativamente mayor a  $L$ , esperaríamos ver este mismo seno escalado se propagarse a la salida. Para probar esto se realizó una simulación con un ruido sinusoidal determinístico, que se muestra en la figura 13.

Este ruido sinusoidal, produjo la transmisión que se muestra en la figura 14. La cual una vez filtrada resultó en la figura 15.

Se puede apreciar como los picos de los datos persisten claramente, a pesar del ruido sinusoidal. El poder reconocerlos depende de si estos ocurren sobre un pico o un valle del seno. En la figura 15, pareciera que solo los picos positivos se pueden recuperar, pero tras una inspección mas cuidadosa, como la que se muestra en la figura 16, se puede ver como todos los picos resaltan sobre el seno. La información de estas señales se podría recuperar con un notch que elimine este seno. Un filtro pasa-altos no funcionaría porque al perder la componente de continua no se podría diferenciar un 1 de un -1. Esto filtrado se puede apreciar en la figura 17. Para obtener esta figura se utilizó un filtro elimina banda, butterworth de orden seis. Las frecuencias con las que se parametrizó el filtro fueron 0,015 y 0,025, se llegó a ellas de la siguiente manera.

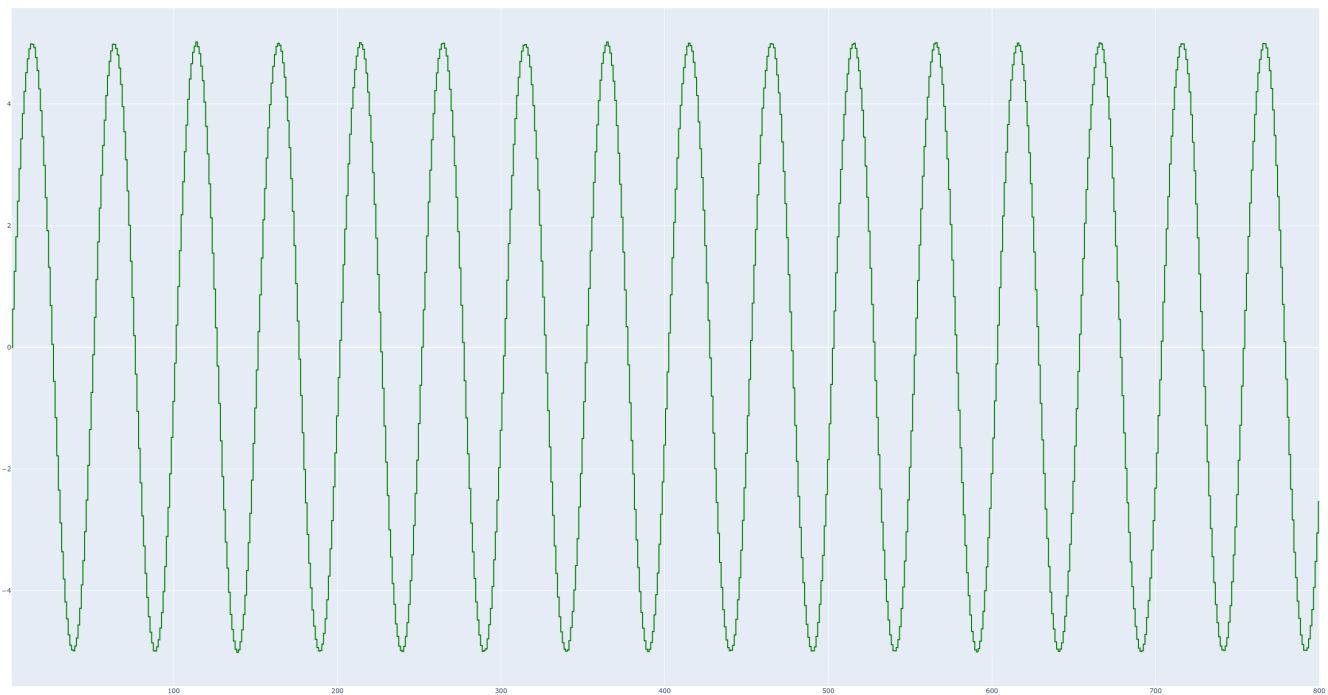


Figura 13: Ruido sinusoidal determinístico, con amplitud 10

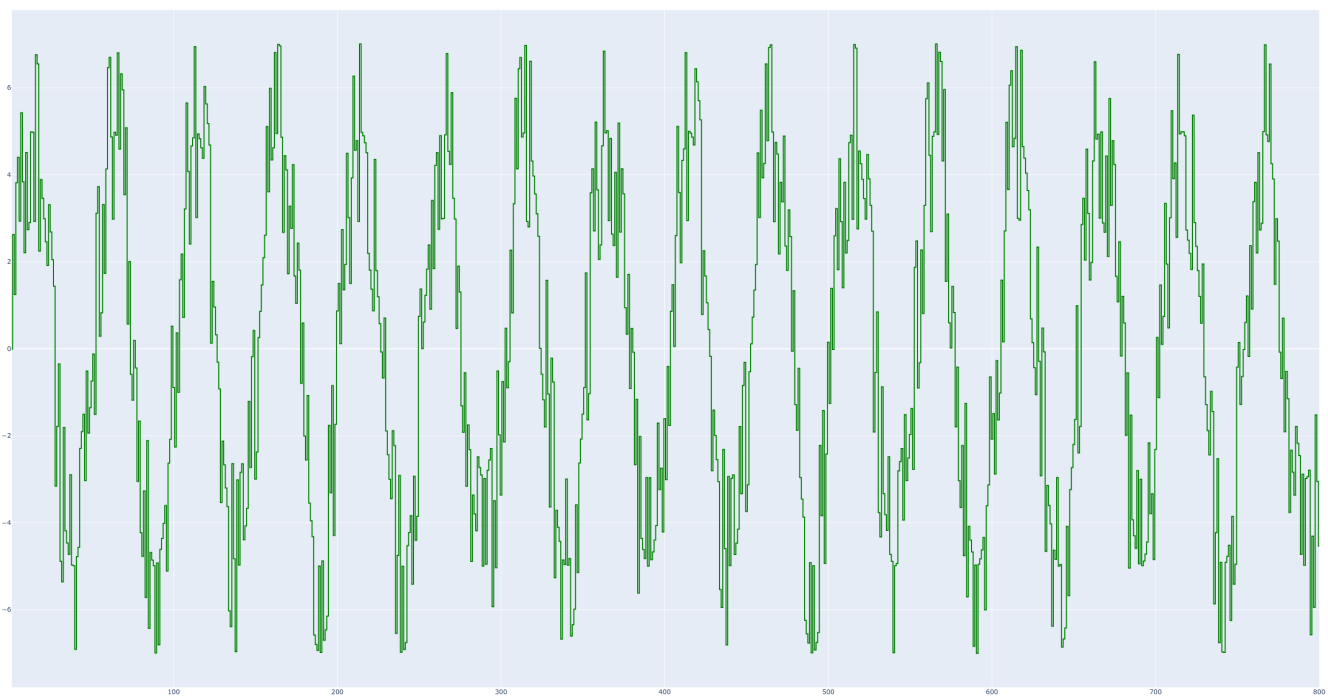


Figura 14: Transmisión con ruido sinusoidal determinístico, con amplitud 10

N° de muestras = 800

N° de periodos = 16

$$f_{señal} = \frac{16}{800}$$
$$= 0,02$$

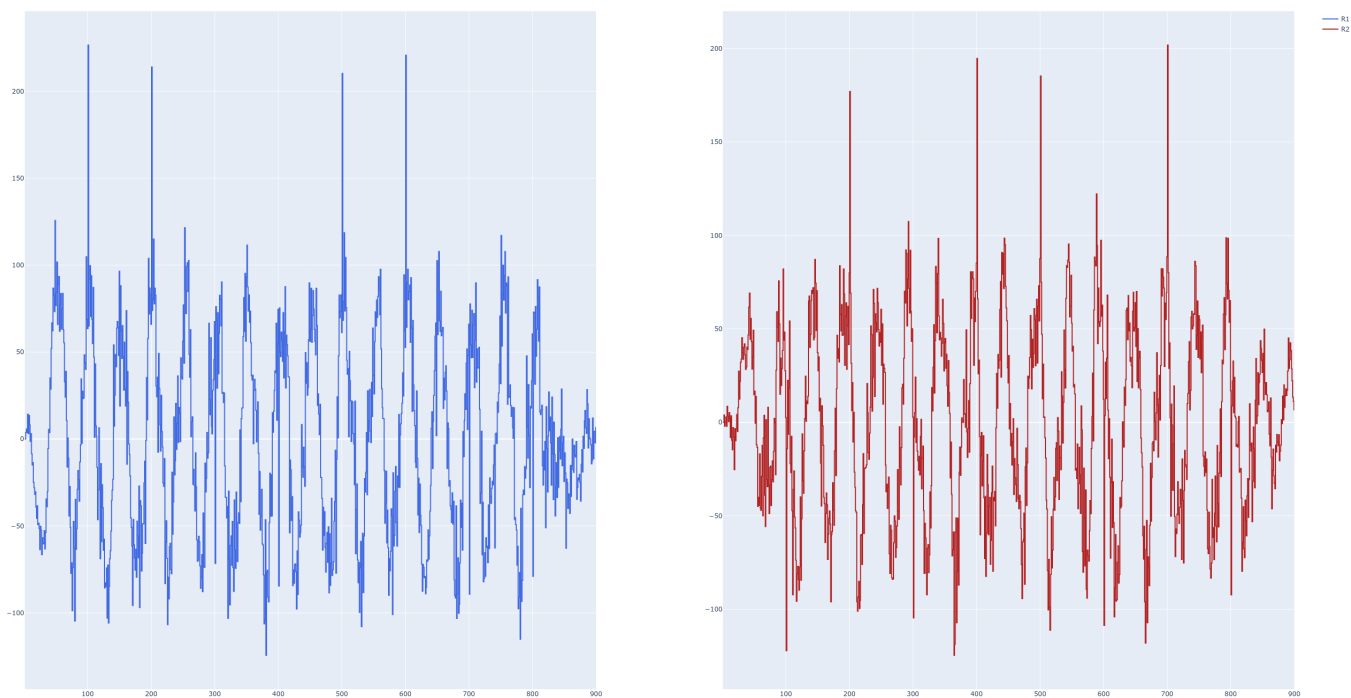


Figura 15: Señales filtradas de una transmisión con un ruido sinusoidal de amplitud 10

El valor 0,005 se eligió arbitrariamente.

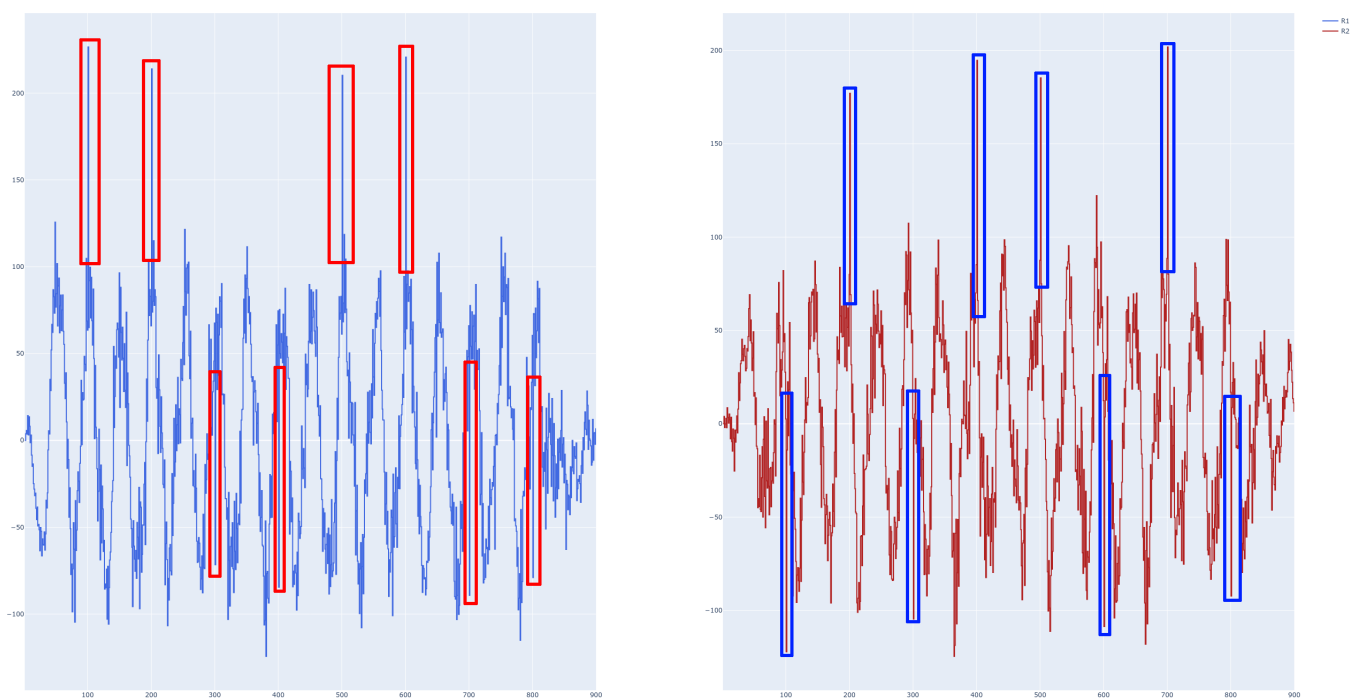


Figura 16: Detalle de los picos ocultos en los valles del ruido sinusoidal

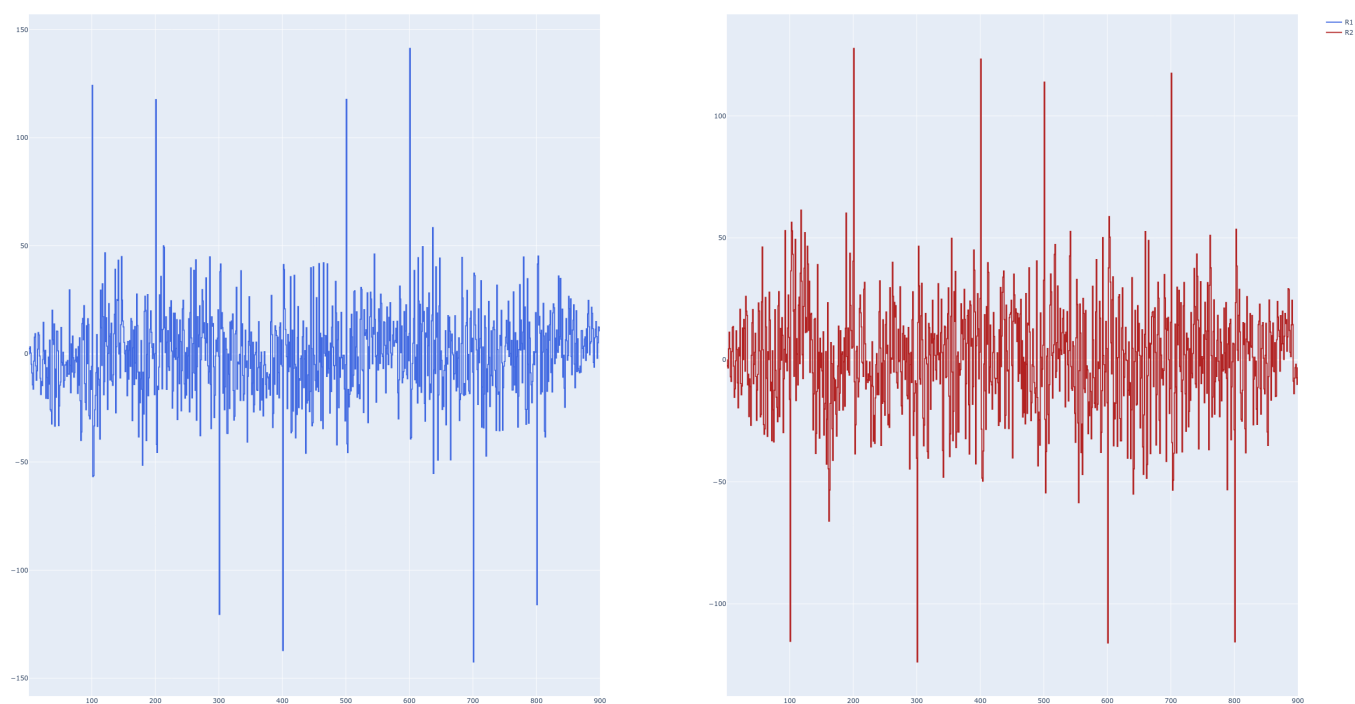


Figura 17: Señales recuperadas tras filtrar el ruido sinusoidal con un notch