

AMPLIFICADOR

Huerta Carmona Edith¹, Rodríguez Valdez Benjamín²

¹Departamento de Física, ESFM-IPN, México CDMX,

²Laboratorio de Física Avanzada, ESFM-IPN, México CDMX

E-mail: ehuertac1600@alumno.ipn.mx¹, brodriguezv1701@alumno.ipn.mx²

Resumen — En esta práctica se estudió experimentalmente el comportamiento del amplificador. En la primera parte del experimento se midieron los voltajes de entrada y salida para analizar la relación entre ambas variables y determinar si el sistema se comporta de manera lineal dentro del rango de operación. En la segunda parte se repitió el montaje, midiendo el factor de amplificación en función del voltaje aplicado. Estas mediciones permitieron determinar experimentalmente la ganancia del amplificador, observándose una tendencia de tipo exponencial.

Palabras Clave – Generador de pulsos, amplificador

Abstract — In this experiment, the linear behavior of the amplifier was experimentally studied. In the first part of the experiment, the input and output voltages were measured to analyze the relationship between both variables and determine whether the system behaves linearly within the operating range. In the second part, the setup was repeated, measuring the amplification factor as a function of the applied voltage. These measurements allowed the amplifier's gain to be experimentally determined, observing an exponential trend.

Keywords – Pulse generator, amplifier

I. INTRODUCCIÓN

1. Osciloscopio

El osciloscopio es una herramienta indispensable para observar la forma de las señales en función del tiempo, así como verificar la amplitud de los pulsos de entrada y de salida, y de esta manera garantizar que los módulos estén trabajando correctamente. El osciloscopio es el instrumento indispensable para observar los pulsos de entrada y de salida de los diversos módulos en el sistema para determinar si las formas de onda, amplitudes y tiempos son correctos.

2. Generador de pulsos

Los generadores de pulsos son instrumentos diseñados para producir un tren periódico de pulsos de igual amplitud. En ellos, la duración del tiempo de encendido puede ser independiente del tiempo entre pulsos. Sin embargo el tren de pulsos tiene la propiedad de estar encendido el 50% del tiempo y apagado el otro 50% del tiempo, a la onda se le llama onda cuadrada. El



Fig. 1: Montaje para análisis de linealidad



Fig. 2: Montaje para factor de amplificación con osciloscopio TEKTRONIX 7704A

generador de pulsos simula las señales que provienen de un detector de radiación, permitiendo calibrar el sistema, ajustar los rangos de ganancia y verificar el comportamiento lineal de la cadena sin usar una fuente radiactiva real. Se puede considerar que los generadores de onda cuadrada son una clase especial de generador de pulsos. [1]

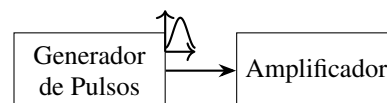


Fig. 3: Diagrama esquemático del sistema de medición utilizado en el experimento

3. Amplificador

Por un lado amplifica los pulsos relativamente pequeños que provienen del pre-amplificador hasta amplitudes suficientes para accionar mostradores o analizadores de altura de pulso; por otro lado, remodela el pulso de decaimiento lento del pre-amplificador en uno más estrecho para evitar la acumulación de pulsos a altas tasas de conteo y mejorar la relación señal/ruido. El factor de ganancia del amplificador puede variar desde $\times 1$ hasta $\times 1000$. Se controla mediante ajustes gruesos ($\times 2$, $\times 4$, $\times 8$) y finos, lo que permite calibrar la relación entre la amplitud del pulso de salida y la energía absorbida en el detector.[1]

4. Criterio de Chi-cuadrada

El método de Chi-cuadrada es una herramienta estadística utilizada para evaluar la concordancia entre los datos experimentales y un modelo teórico. Este método permite determinar si las fluctuaciones observadas en las mediciones se pueden atribuir al error estadístico o si indican algún error sistemático. Utilizando la siguiente ecuación se calcula

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\hat{\sigma}^2} \quad (1)$$

Si χ^2 es un valor pequeño, entonces los datos están cerca del valor esperado y si χ^2 es un valor grande, entonces los datos están muy dispersos.

5. Chauvenet

El criterio de Chauvenet es un método utilizado para identificar y eliminar datos atípicos (outliers) en un conjunto de mediciones. Este criterio se basa en la probabilidad de que una observación se aleje de la media en más de un cierto número de desviaciones estándar, bajo el supuesto de una distribución normal.

El procedimiento consiste en calcular la desviación normalizada de cada valor:

$$r_i = \frac{|(x_i - \bar{x})|}{\hat{\sigma}} \quad (2)$$

Luego, se determina la probabilidad P de obtener un valor con una desviación igual o mayor que r_i . Si el producto $P \times N < 0.5$, el dato se considera improbable y puede ser rechazado según el criterio de Chauvenet. Este método se utiliza en el análisis experimental para depurar mediciones que resulten de errores instrumentales o anomalías en los datos obtenidos. [2]

II. METODOLOGÍA

A. Linealidad del voltaje amplificado

Para la realización de la primera parte de esta práctica, se utilizaron los equipos mencionados en la tabla 1.

Primero se realizó la conexión del generador de pulsos al osciloscopio, usando cables de señal, esto para ajustar el voltaje y que no exceda los 2 Volts. Luego se realizó la conexión del Generador de pulsos, en la salida atenuada, esto para producir

TABLA 1
Equipo 1

| Equipo | Modelo | Marca | Número de serie |
|---------------------|---------|----------|-----------------|
| Generador de pulsos | 419 | ORTEC | 1386 |
| Osciloscopio | CS-1600 | KENWOOD | 8040054 |
| Amplificador | 212 | CANBERRA | 4821159 |

TABLA 2
Equipo 2

| Equipo | Modelo | Marca | Número de serie |
|---------------------|--------|------------|-----------------|
| Generador de pulsos | 204 | ORTEC | 403313 |
| Osciloscopio | 7704-A | TEKTRONICS | B173808 |
| Amplificador | CRC | MAP-II | M779 |

señales con amplitud controlada, a la entrada del amplificador y del amplificador CANBERRA, el cual se encarga de aumentar la amplitud de los pulsos eléctricos. En el amplificador se ajustaron las perillas de ganancia (determinan el grado de amplificación de la señal) recordando que el equipo Ingles trabaja con pulsos positivos, luego de la salida del amplificador se conecta a la entrada del osciloscopio KENWOOD (Fig. 1), con el cual se observaron los pulsos de entrada como los pulsos de salida, de esta manera fue posible comparar visualmente el incremento en la amplitud. Posteriormente se realizó exactamente el mismo procedimiento pero ahora con el amplificador NE (SERIE 4606), y de esta manera comparar el comportamiento de ambos amplificadores. Con ayuda del osciloscopio TEKTRONICS, se verificaron las amplitudes de los pulsos de entrada y salida de cada amplificador, obteniendo los datos de la Tabla 1.

B. Factor de amplificación

En esta segunda parte se llevó a cabo la determinación del factor de amplificación de distintos sistemas de medición, para así poder comparar el desempeño de los distintos módulos y/o equipos. Para el montaje experimental (Fig. 2) se utilizó el equipo mencionado en la tabla 2.

generador de pulsos ORTEC 204, el cual maneja señales negativas (Equipo francés), este se conectó a la entrada del amplificador de pulsos CRC MAP-II (SERIE M779). La salida del amplificador la observamos mediante el osciloscopio TEKTRONICS 7704-A (SERIE B173808), con el cual se tomaron los valores de voltaje correspondiente a cada nivel del factor de amplificación (F.A), que va desde 16 hasta 60. Este controla la ganancia del sistema.

Posteriormente se realizó el mismo procedimiento pero con otro osciloscopio TEKTRONICS TDS-210 y así mismo con un amplificador CRC MAP-II (SERIE M777). Finalmente se aplicó el criterio de Chauvenet para descartar valores atípicos en el amplificador MAP-II (SERIE M777).

III. RESULTADOS

III.I Comparación entre el voltaje de entrada y salida del amplificador variando los valores de la fuente generadora de pulsos.

III.II Resultados experimentales para el amplificador Canberra.

Los resultados de los datos medidos para el voltaje de entrada y de salida en mili-volts (mV) del amplificador de la marca Canberra se pueden observar en la Tabla (3).

TABLA 3
DATOS EXPERIMENTALES DEL AMPLIFICADOR CANBERRA
MODELO 212

| Voltaje de entrada (mV) | Voltaje de salida (mV) |
|-------------------------|------------------------|
| 16 | 154 |
| 36 | 400 |
| 56 | 600 |
| 80 | 820 |
| 100 | 1040 |
| 120 | 1250 |
| 140 | 1500 |
| 160 | 1700 |
| 180 | 1900 |
| 200 | 2100 |
| 220 | 2350 |
| 240 | 2500 |
| 260 | 2700 |
| 280 | 2900 |
| 300 | 3000 |
| 320 | 3300 |
| 340 | 3600 |
| 360 | 3800 |
| 370 | 4000 |
| 400 | 4200 |

observar que tiene un comportamiento lineal. Realizando el ajuste por mínimos cuadrados obtenemos que el ajuste lineal esta dado por,

$$V_{out} = (10.496 \pm 0.100)V_{in} + (-1.873 \pm 23.813) \quad (3)$$

donde V_{out} es el voltaje de salida y V_{in} el voltaje de entrada. Del ajuste se puede observar que el factor de amplificación en ese momento es de $F.A. = 10.496$ con un error de ± 0.100 y con una intersección en y en $y = -1.872mV \pm 23.813mV$, pudiendo notar que el generador de pulsos genera señales con una aproximación en el origen.

Notemos que el valor de $\sigma = 51.5283$ y el valor de $\chi^2 = 18$ el cual cumple el criterio de χ^2 ya que para 20 datos el valor critico es $\chi_{0.1,18}^2 = 25.989$, por lo cual

$$\chi^2 \leq \chi_{0.1,18}^2 \quad (4)$$

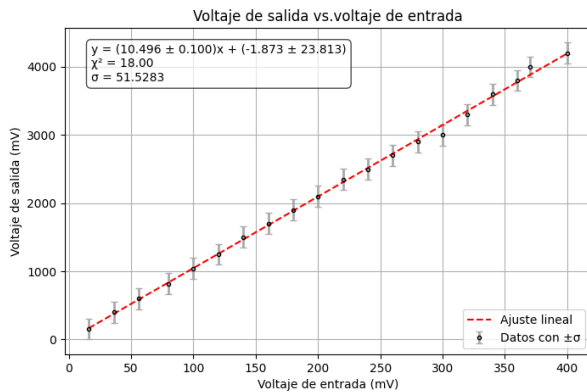


Fig. 4: Resultados experimentales para amplificador Canberra Modelo 212
Serie 4821159. Datos de la Tabla 3

Analizando los datos que se muestra en la Figura (4), se puede

III.II.1 Resultados experimentales para el amplificador Nuclear Enterprise

En la Tabla 4 se registran los datos medidos para el amplificador de la marca Nuclear Enterprise.

TABLA 4
DATOS EXPERIMENTALES DEL AMPLIFICADOR NUCLEAR
ENTERPRISE, MODELO 4606

| V entrada (mV) | V salida (mV) |
|----------------|---------------|
| 2.50 | 30 |
| 7.50 | 100 |
| 12.00 | 160 |
| 17.00 | 220 |
| 21.50 | 280 |
| 26.00 | 330 |
| 31.00 | 420 |
| 35.00 | 480 |
| 39.00 | 540 |
| 43.00 | 600 |
| 48.00 | 660 |
| 52.00 | 720 |
| 56.00 | 800 |
| 60.00 | 850 |
| 64.00 | 920 |
| 68.00 | 970 |
| 72.00 | 1040 |
| 76.00 | 1090 |
| 80.00 | 1150 |
| 84.00 | 1200 |
| 89.00 | 1270 |
| 94.00 | 1320 |
| 98.00 | 1350 |
| 103.00 | 1400 |
| 106.00 | 1450 |
| 110.00 | 1500 |
| 114.00 | 1600 |
| 118.00 | 1650 |
| 123.00 | 1700 |
| 127.00 | 1750 |
| 132.00 | 1800 |
| 136.00 | 1900 |
| 145.00 | 1950 |
| 150.00 | 2000 |
| 153.00 | 2050 |
| 155.00 | 2100 |
| 160.00 | 2200 |
| 164.00 | 2250 |
| 169.00 | 2300 |
| 172.00 | 2400 |
| 180.00 | 2500 |
| 190.00 | 2600 |
| 200.00 | 2700 |
| 205.00 | 2850 |
| 215.00 | 2950 |
| 225.00 | 3100 |
| 230.00 | 3200 |

| V entrada (mV) | V salida (mV) |
|----------------|---------------|
| 240.00 | 3300 |
| 250.00 | 3450 |
| 260.00 | 3800 |
| 265.00 | 4000 |
| 275.00 | 4100 |
| 285.00 | 4200 |
| 290.00 | 4400 |
| 300.00 | 4500 |
| 310.00 | 4600 |
| 315.00 | 4800 |
| 325.00 | 4900 |
| 335.00 | 5000 |
| 340.00 | 5200 |
| 350.00 | 5300 |
| 365.00 | 5400 |
| 380.00 | 5500 |
| 390.00 | 5600 |
| 400.00 | 5800 |
| 410.00 | 5900 |
| 420.00 | 6000 |
| 425.00 | 6100 |
| 430.00 | 6200 |
| 440.00 | 6400 |
| 490.00 | 7000 |
| 540.00 | 7600 |
| 580.00 | 8400 |
| 620.00 | 8900 |

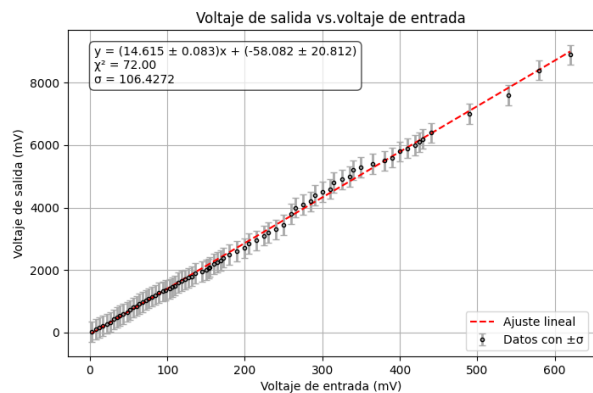


Fig. 5: Resultados experimentales para amplificador Nuclear Enterprise Modelo 4606 Serie 188-10-70. Datos experimentales de la Tabla 4

Con los resultados obtenidos se obtuvo la gráfica de la Figura (5), donde se observa un comportamiento lineal por parte de los datos, realizando el ajuste lineal correspondiente se obtiene que,

$$V_{out} = (14.615 \pm 0.083)V_{in} + (-58.082 \pm 20.812) \quad (5)$$

con este ajuste se puede verificar que el factor de amplificación en ese momento es de $F.A. = 14.615 \pm 0.083$ teniendo un corrimiento en de $-58.082mV \pm 20.812mV$ para el voltaje de salida (V_{out}), teniendo así que el amplificador puede generar unas señales de ruido al amplificar las señales.

Notemos que el valor de $\sigma = 106.4$ y el valor de $\chi^2 = 72$ el cual

cumple el criterio de χ^2 ya que para 74 datos el valor critico es $\chi_{0.1,72}^2 = 89.39$, por lo cual

$$\chi^2 \leq \chi_{0.1,72}^2 \quad (6)$$

III.III Análisis del factor de amplificación (F.A.)

III.III.1 Amplificador CRC MAP-II Serie M779 Y Osciloscopio TEKTRONICS 7704-A

El la Tabla (5) se muestra el factor de amplificación y el voltaje de salida del amplificador de la marca CRC serie M779 medidos con el osciloscopio TEKTRONICS serie 7704-A.

Con los datos medidos se observo que el crecimiento de las señal amplificada tiene un comportamiento exponencial, como se muestra en la Figura (6), con este resultado se realizo un cambio de variable, tal que $Y = \ln V$, siendo V el voltaje de salida del amplificador, obtenemos como resultado la Figura (7). De la Figura(7) se obtiene el ajuste lineal dado por,

$$\ln V = (0.1204 \pm 0.0007)F.A. + (-4.7575 \pm 0.0300) \quad (7)$$

donde (0.1204 ± 0.0007) representa el crecimiento exponencial del voltaje por unidad de $F.A.$ y (-4.7575 ± 0.0300) representa el \ln del voltaje cuando $F.A. = 0$ siendo $V_o = e^{-4.7575}V \approx 0$.

Notemos que el valor de $\sigma = 0.0529$ y el valor de $\chi^2 = 18$ el cual cumple el criterio de χ^2 ya que para 21 datos el valor critico es $\chi_{0.1,19}^2 = 27.204$, por lo cual

$$\chi^2 \leq \chi_{0.1,19}^2 \quad (8)$$

III.III.2 Amplificador CRC MAP-II Serie M779 Y Osciloscopio TEKTRONICS T05210

En la Tabla (6) se muestran los valores del voltaje de salida según el factor de amplificación medidas con el osciloscopio TEKTRONICS serie T05210.

En la Figura (8) se puede observar que el comportamiento de los datos es exponencial, Haciendo un cambio de variable de tal modo que $\ln V = Y$ tenemos como resultado la Figura (9) donde el ajuste lineal esta dado por,

$$\ln(V) = (0.1147 \pm 0.0004)F.A. + (-4.4744 \pm 0.0160) \quad (9)$$

Notando así que el voltaje crece de forma exponencial con un factor de (0.1147 ± 0.0004) por unidad del $F.A.$ y tiene un voltaje de inicio en $V_o = e^{-4.4744} = 0.01139V$ el cual es un voltaje muy bajo y puede ser causado por el ruido de la señal.

Notemos que el valor de $\sigma = 0.1257$ y el valor de $\chi^2 = 18$ el cual cumple el criterio de χ^2 ya que para 21 datos el valor critico es $\chi_{0.1,19}^2 = 27.204$, por lo cual

$$\chi^2 \leq \chi_{0.1,19}^2 \quad (10)$$

TABLA 5
DATOS EXPERIMENTALES DEL AMPLIFICADOR CRC MAP-II SERIE M779 Y OSCILOSCOPIO TEKTRONICS 7704-A

| Factor de amplificación | Voltaje de salida (V) |
|-------------------------|-----------------------|
| 60 | 11.60 |
| 58 | 9.00 |
| 56 | 7.20 |
| 54 | 6.00 |
| 52 | 4.80 |
| 50 | 3.40 |
| 48 | 2.80 |
| 46 | 2.20 |
| 44 | 1.80 |
| 42 | 1.30 |
| 40 | 1.10 |
| 38 | 0.80 |
| 36 | 0.60 |
| 34 | 0.50 |
| 32 | 0.40 |
| 30 | 0.32 |
| 28 | 0.24 |
| 26 | 0.20 |
| 24 | 0.16 |
| 22 | 0.12 |
| 20 | 0.10 |

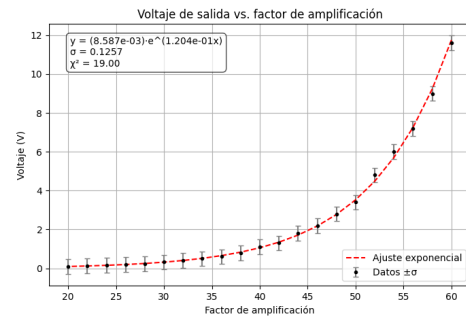


Fig. 6: Resultados experimentales obtenidos para el amplificador CRC MAP-II y el osciloscopio TEKTRONICS 7704-A. Datos de la Tabla 5

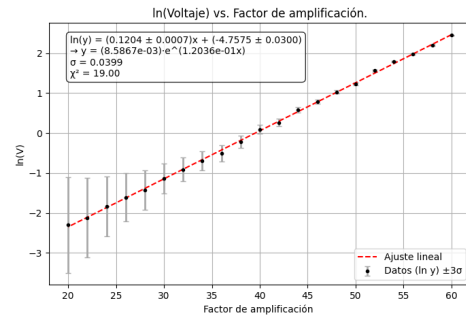


Fig. 7: Ajuste lineal de los resultados experimentales para el amplificador CRC MAP-II y el osciloscopio TEKTRONICS 7704-A. Datos de la Tabla 5

TABLA 6
 DATOS EXPERIMENTALES DEL AMPLIFICADOR CRC MAP-II SERIE
 M779 Y OSCILOSCOPIO TEKTRONICS T05210

| Factor de amplificación | Voltaje de salida (V) |
|-------------------------|-----------------------|
| 60 | 11.00 |
| 58 | 9.00 |
| 56 | 7.00 |
| 54 | 5.60 |
| 52 | 4.40 |
| 50 | 3.60 |
| 48 | 2.80 |
| 46 | 2.20 |
| 44 | 1.80 |
| 42 | 1.40 |
| 40 | 1.10 |
| 38 | 0.90 |
| 36 | 0.70 |
| 34 | 0.54 |
| 32 | 0.44 |
| 30 | 0.36 |
| 28 | 0.28 |
| 26 | 0.22 |
| 24 | 0.18 |
| 22 | 0.14 |
| 20 | 0.12 |

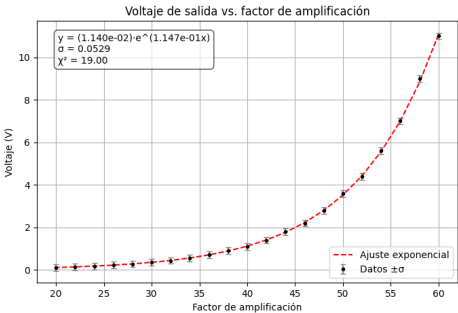


Fig. 8: Resultados experimentales para el amplificador CRC MAP-II sSerie
 M779 y el osciloscopio TEKTRONICS T05210. Datos experimentales de la
 Tabla 6.

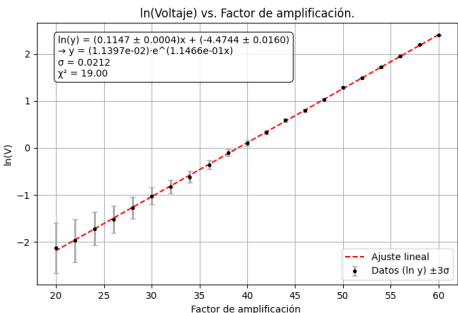


Fig. 9: Ajuste lineal para los resultados experimentales para el amplificador
 CRC MAP-II sSerie M779 y el osciloscopio TEKTRONICS T05210. Datos
 experimentales de la Tabla 6.

TABLA 7
 DATOS EXPERIMENTALES DEL AMPLIFICADOR CRC MAP-II SERIE
 M777 Y OSCILOSCOPIO TEKTRONICS T05210

| Factor de amplificación | Voltaje de salida (V) |
|-------------------------|-----------------------|
| 60 | 0.90 |
| 58 | 0.70 |
| 56 | 0.60 |
| 54 | 0.48 |
| 52 | 0.36 |
| 50 | 0.28 |
| 48 | 0.24 |
| 46 | 0.18 |
| 44 | 0.14 |
| 42 | 0.12 |
| 40 | 0.10 |
| 38 | 0.08 |
| 36 | 0.06 |
| 34 | 0.05 |
| 32 | 0.04 |
| 30 | 0.03 |
| 28 | 0.02 |

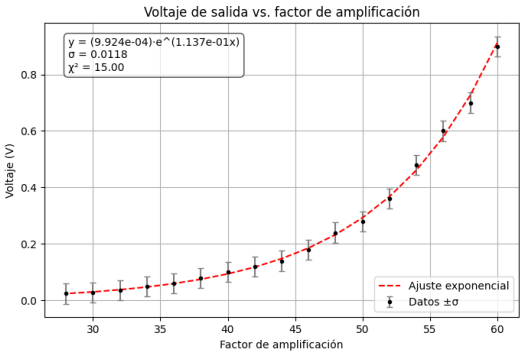


Fig. 10: Resultados experimentales para el amplificador CRC MAP-II sSerie
 M777 y el osciloscopio TEKTRONICS T05210. Datos experimentales de la
 Tabla 10.

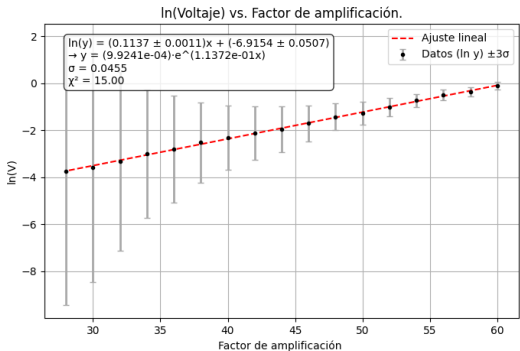


Fig. 11: Ajuste lineal para los resultados experimentales para el amplificador
 CRC MAP-II sSerie M777 y el osciloscopio TEKTRONICS T05210 Datos
 experimentales de la Tabla 10.

III.III.3 Amplificador CRC MAP-II Serie M777 y osciloscopio TEKTRONICS T052210

En la Tabla (7) se tiene el registro de los datos del factor de amplificación y el voltaje de salida para el amplificador CRC serie M777.

Al graficar los datos se obtiene como resultado la Figura (10) donde se puede observar que los datos experimentales tienen un comportamiento exponencial, al hacer el cambio de variable adecuado obtenemos como resultado la Figura (7) y con esto obtenemos el ajuste lineal dado por,

$$\ln V = (0.1137 \pm 0.0011) F.A. + (-6.9154 \pm 0.0507) \quad (11)$$

teniendo así que 0.1137 ± 0.0011 es el factor de crecimiento exponencial del voltaje por unidad de factor de amplificación y $V_o = e^{-6.9154} = 0.000992V \approx 0$ es el voltaje de salida inicial cuando el factor de amplificación es 0 teniendo así que hay un poco de ruido generado por el amplificador.

Notemos que el valor de $\sigma = 0.0118$ y el valor de $\chi^2 = 15$ el cual cumple el criterio de χ^2 ya que para 17 datos el valor critico es $\chi_{0.1,15}^2 = 22.307$, por lo cual

$$\chi^2 \leq \chi_{0.1,15}^2 \quad (12)$$

IV. CONCLUSIONES

Los resultados experimentales obtenidos permitieron corroborar que los amplificadores presentan comportamientos adecuados para su uso, aproximándose a los resultados esperado y dando señales con poco ruido.

Para la primera parte del experimento se pudo observar que el amplificador de Canberra al tener un factor de amplificación menor con respecto al amplificador de Nuclear Enterprise genero menor ruido teniendo un ruido menor.

Para la segunda parte del experimento se observo que los amplificadores MAP-II amplifican el voltaje de forma exponencial, donde tanto el serie M779 y el serie M777 tienen una constante de amplificación similar y de forma similar para ambos modelos de los osciloscopios TEKTRONICS obtenemos resultados acordes con poco error.

Notando que la constante de amplificación es similar, concluimos que tanto los módulos como los equipos (francés e inglés) son adecuados para las mediciones que se desee obtener en alguna practica futura.

REFERENCIAS

- [1] Tsoulfanidis, N. S. (1995). *Measurement and Detection of Radiation* (2.a ed.)
- [2] Bevington, P.R., Robinson, D.K. (2003). *Data reduction and error analysis for the Physical sciences* (3rd ed.)
- [3] Brofferio, S. (s.f.). *Introduction to Electronic Signal Analysis*. Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). Recuperado 22 de octubre de 2025, de https://mobydick.mib.infn.it/brofferio/didattica/exportec/ORTEC01_introduction_-_Electronic_-_Signal_-_Analysis.pdf

- [4] W. Zech, W. (s.f.). *Experiments in Nuclear Science*. University of Notre Dame. Recuperado 23 de octubre de 2025, de <https://www3.nd.edu/~wzech/Application-Note-AN34-Experiments-Nuclear-Science-Experiment-1.pdf>