

- Materia: Laboratorio 5.
- Alumnos: Colombo, Priscila
Giordano, Gonzalo.

Clase 1

- Se comenzó por realizar una comunicación con la computadora de forma remota.
- Se realizó una comunicación con los instrumentos conectados a la misma, seteandolos de la manera correcta.
- Así se graficó (voltaje vs tiempo)

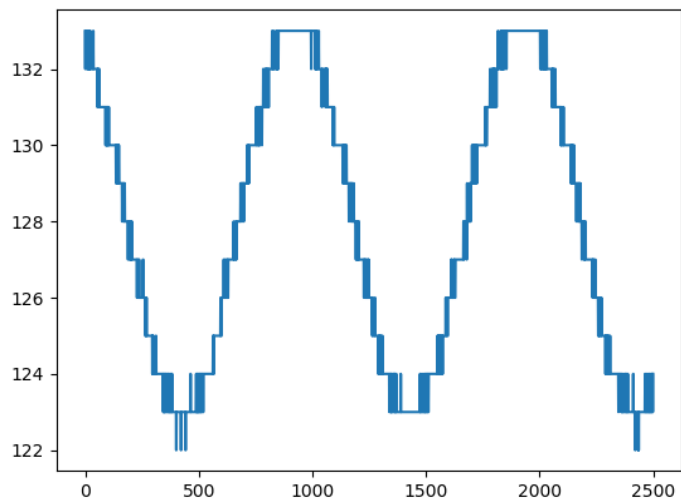


Figura 1: Gráfico del voltaje en función del tiempo cuando no estaba seteada la escala espacial del osciloscopio.

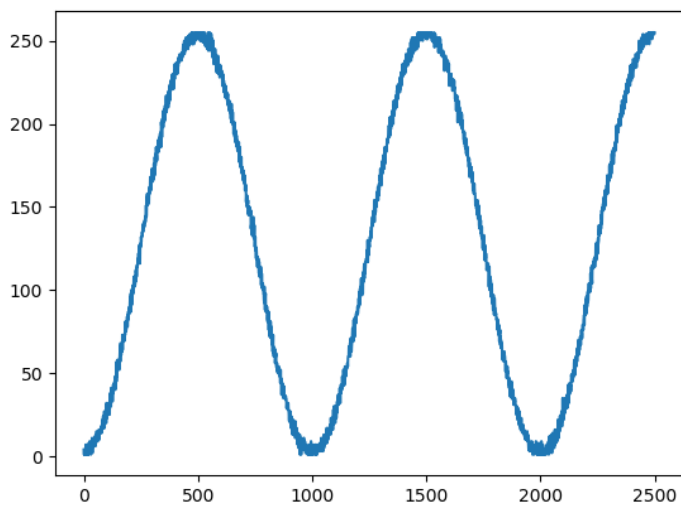


Figura 2: Gráfico del voltaje en función del tiempo con la escala espacial del osciloscopio seteada de manera “correcta”.

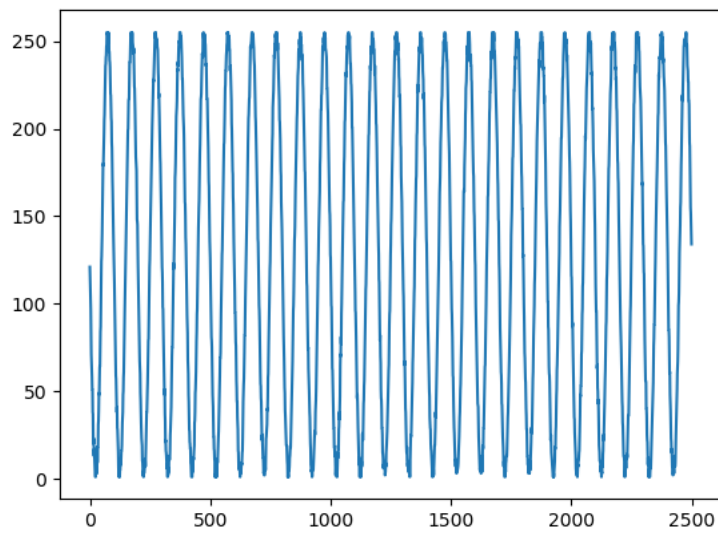


Figura 3: Gráfico del voltaje en función del tiempo con la escala espacial del osciloscopio seteada de manera “correcta” y cambiando la escala temporal.

- ➔ Luego, a partir de la importación de dos clases de python (una referida al osciloscopio y otra al generador de funciones), se procedió a hacer estos mismos gráficos de voltaje vs tiempo.

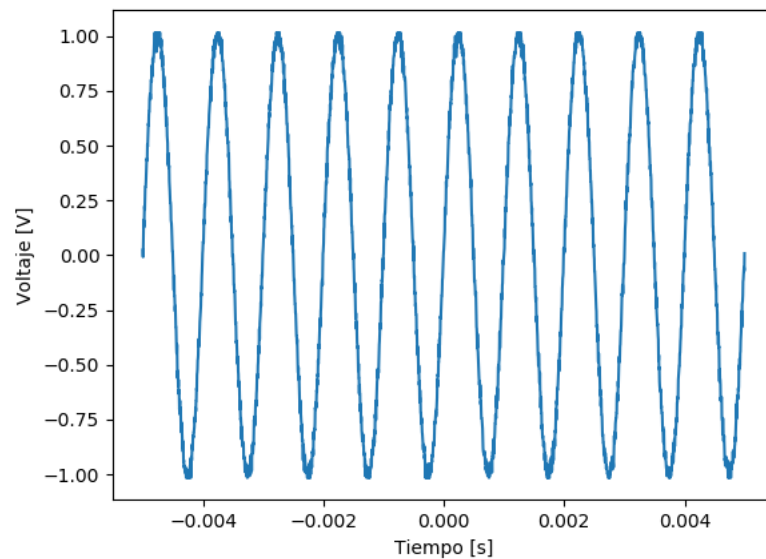


Figura 4: Gráfico del voltaje en función del tiempo a partir de la clase referida al osciloscopio.

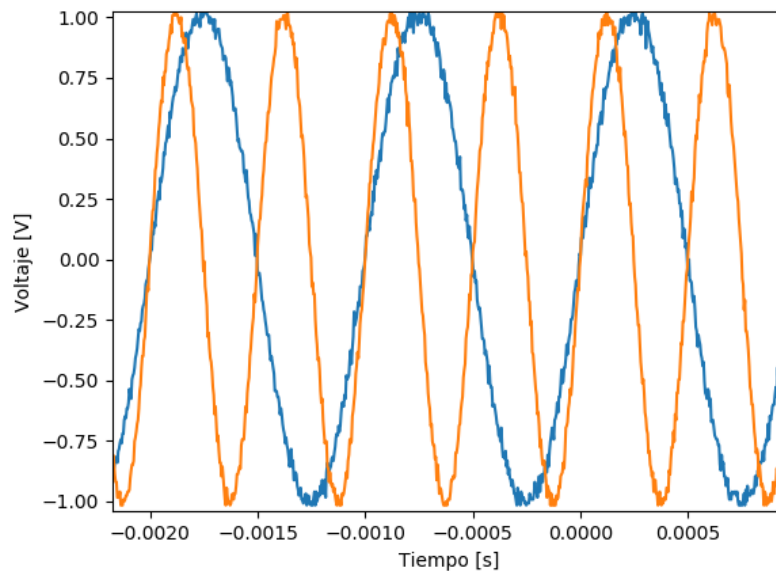


Figura 5: Gráfico del voltaje en función del tiempo a partir de un barrido de frecuencias (para 2 frecuencias) generado de acuerdo con la clase referida al generador de funciones, donde el ancho de campana mayor corresponde a una frecuencia de 1kHz y el ancho menor a una frecuencia de 2kHz.

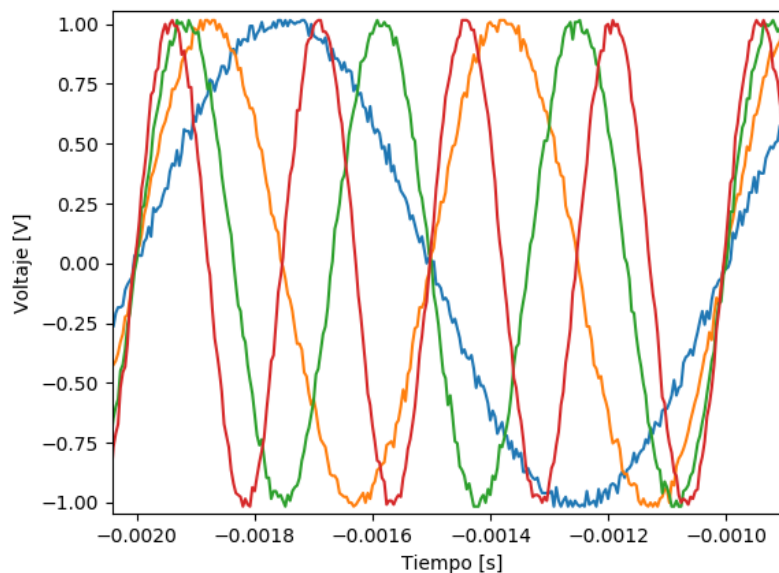
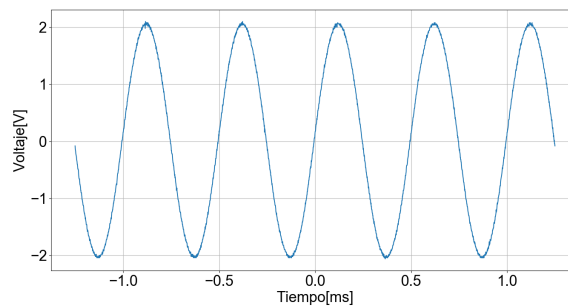
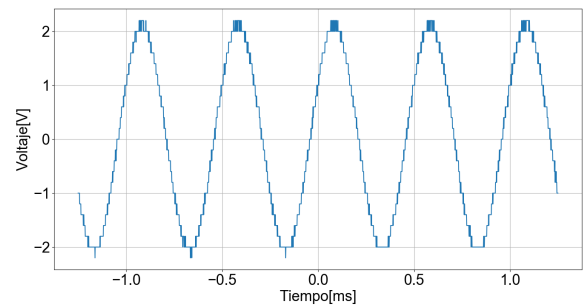
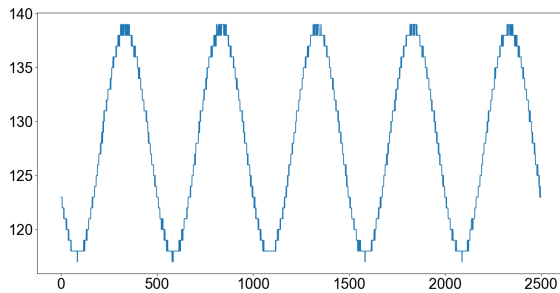


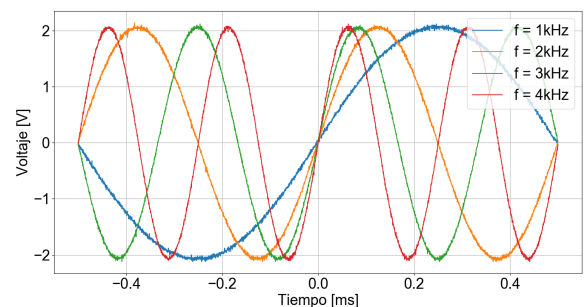
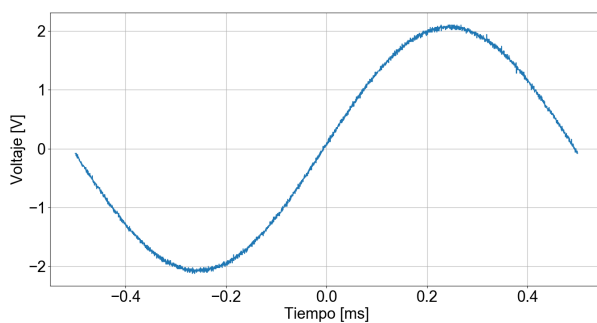
Figura 6: Gráfico del voltaje en función del tiempo a partir de un barrido de frecuencias (para 4 frecuencias) generado de acuerdo con la clase referida al generador de funciones, donde el ancho de campana mayor corresponde a una frecuencia de 1kHz y cada ancho sucesivo en menor tamaño corresponde a 1kHz más.

Clase 1 otra vez

- Se procedió de manera análoga a la explicada arriba, visualizando la pantalla del osciloscopio a través de python, transformando de la representación de bits (arriba a la izquierda) a una en voltaje y tiempo (arriba a la derecha). Luego se probaron distintas escalas verticales a fin de encontrar una en la que la onda sea suave.

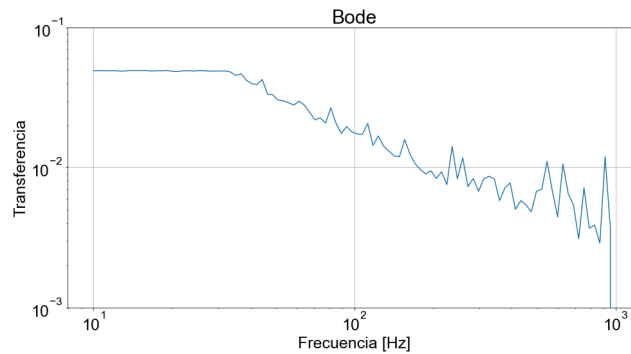


- Luego se exploró brevemente el control sobre el generador de funciones, variando la frecuencia de la onda emitida entre 1 y 4 kHz.

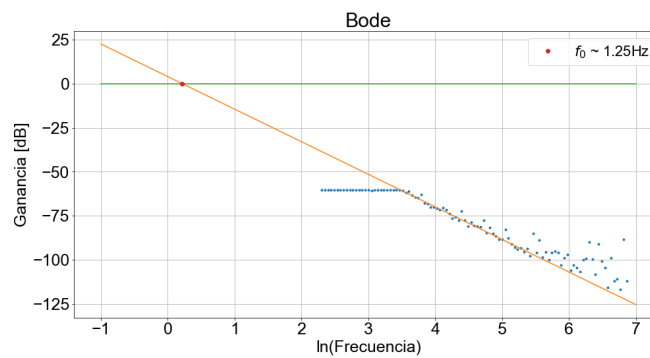


- Para finalizar, de manera sumamente precaria se realizó un paneo en frecuencias, a fin de caracterizar el circuito, adquiriendo las amplitudes emitidas e incidentes a partir del máximo en el gráfico de la onda para cada frecuencia (emplear una función que pregunte al osciloscopio el voltaje pico a pico o algún otro sería lo correcto, pero esta no fue encontrada). A partir de las amplitudes mencionadas se graficó la transferencia $T = V_{in}/V_{out}$. Notando posteriormente, en el análisis de los datos, que la meseta hacia la izquierda estaba relacionada con un seteo incorrecto de la escala del canal 2. Teniendo en cuenta esto, empleando una rutina que varíe la escala con la frecuencia y

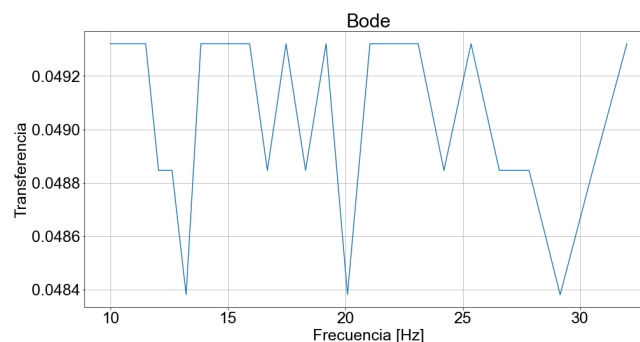
una función para preguntar el V_{pp} , (y la fase entre canales ya que estamos) puede realizarse el digresión diagrama de Bode correctamente.



- A partir de estos datos se estimó precariamente la frecuencia de corte, f_0 , mediante la abscisa del cruce entre la recta en la que se acomodan los datos hacia la derecha (en amarillo) y una constante para Transfencia igual a 1, o Ganancia igual a 0 (en verde). Obteniendo $f_0 \sim 1.25\text{Hz}$, lo que de la que se despeja una relación para la resistencia y la capacidad $RC \sim 0.1333\text{s}$.



- Digresión: al observar fluctuaciones en la meseta, en principio asociada a haber alcanzado el máximo de la escala del osciloscopio, se pone en duda su causa y con esta el valor inferido para f_0 , un nuevo análisis es requerido para caracterizar el circuito correctamente.



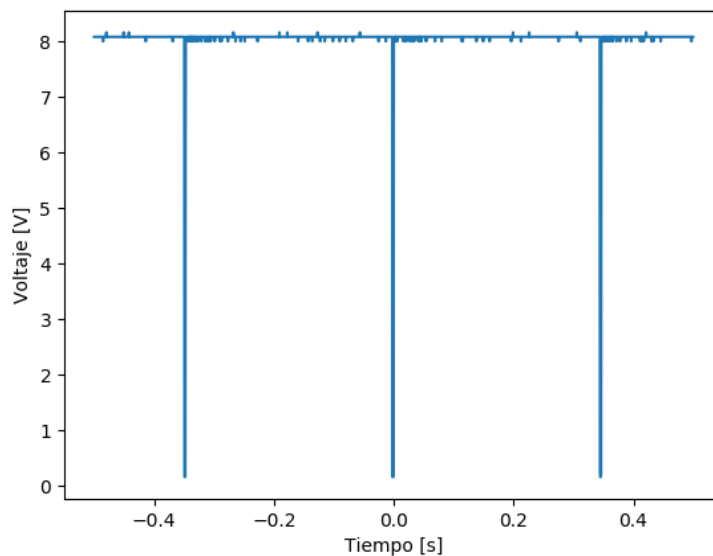
Conteo de fotones

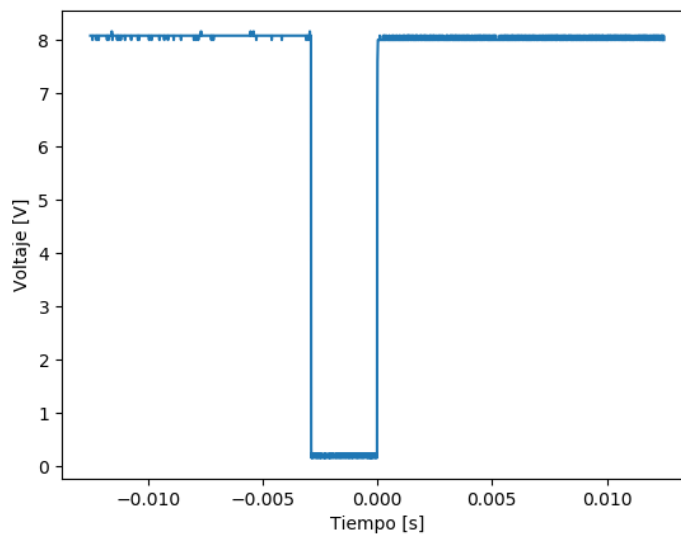
Día 1

Instrumentos:

- Osciloscopio Tektronix TDS 1002B
- 2 fuentes de voltaje DC power supply
- Fuente de alta tensión
- Láser de alta tensión
- 2 espejos
- Polarizador (menor intensidad = 51°)
- Lentes
- Disco + varilla + motor (6V)
- Fotogate (8V)
- Fotomultiplicador + pinhole
- Resistencia (100 ohm)

Se comenzó seteando el disco, el motor y el fotogate de forma que esto funcione de manera adecuada antes de prender el sistema completo. Es así que se conectaron dos fuentes de voltaje, una para el motor del disco y otra para el fotogate, seteando el voltaje de ambas en 6V y 8V, respectivamente. Prosiguiendo de esta forma se conectó el fotogate al osciloscopio donde se pudo medir los picos que generaba la varilla conectada al disco cada vez que cruzaba el láser del fotosensor.

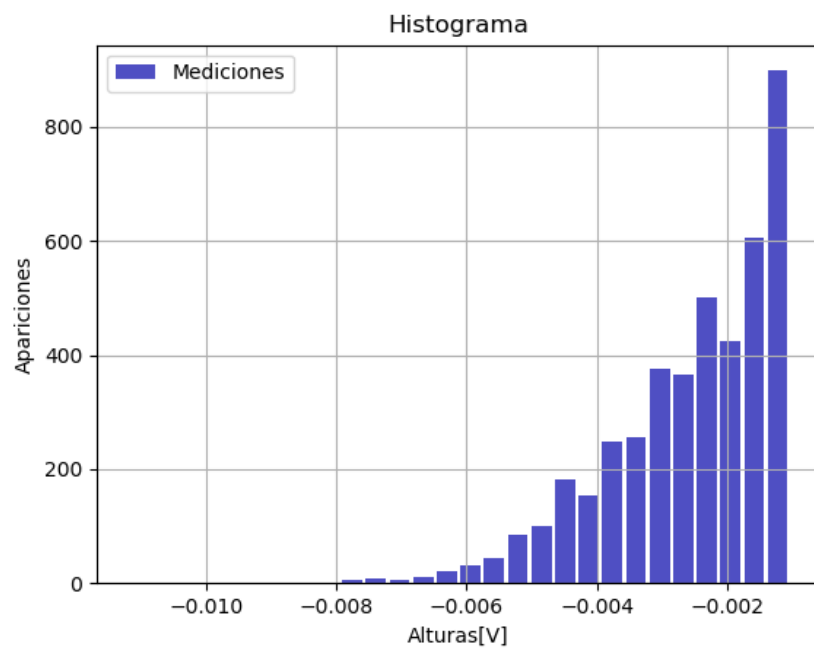




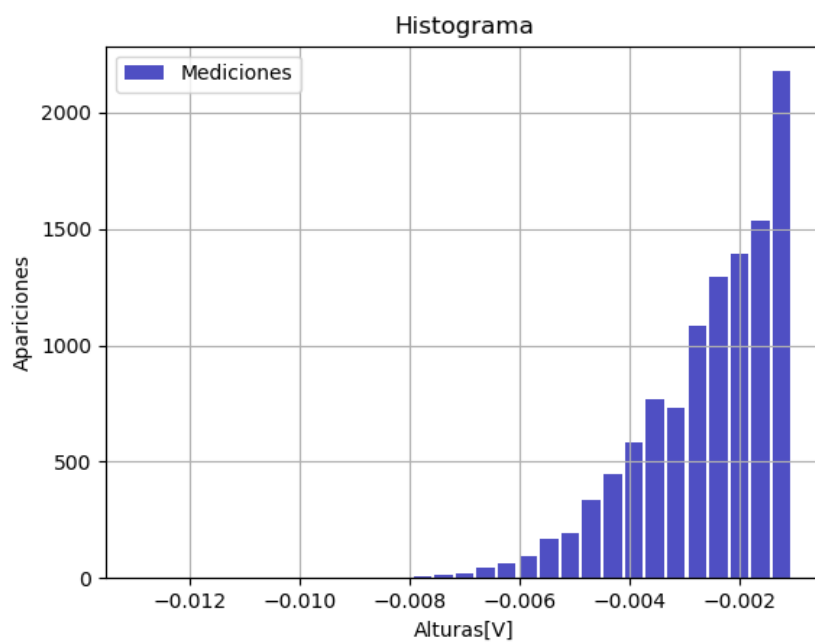
Luego, se procedió a conectar el fotomultiplicador a una fuente de alta tensión (-900V) como forma de alimentación de este, al mismo tiempo que se conectó al osciloscopio, para "ver" a los fotones, además de una resistencia en esta conexión, de inicialmente 100ohms, para medir la caída de voltaje.

De esta forma, al encender el láser y configurar el polarizador a 45° de su mínimo de intensidad, mediante los códigos de adquisición de datos dados en clase (presentes en el GitHub) se inició por graficar voltaje vs tiempo, viendo lo mismo que se observaba en el osciloscopio. A partir de esto, es que en función de la operación de Python `find_peaks`, se localizaron los picos de voltaje. La idea de esto es generar una estadística acerca de que picos corresponde a fotones y que otros picos corresponde a por ejemplo cuentas oscuras o ruido térmico.

Luego, se configuró el polarizador a 10° de su mínimo, de manera de bajar la intensidad de láser, para observar qué sucedía, en esta ocasión con una escala temporal más grande de manera de distinguir los picos más importantes y mayor cantidad de estos, a partir de un umbral de 0,001V(escala temporal 10 microsegundos). A partir de la concatenación de varios arrays de picos, se logró conseguir una estadística de estos, en base a graficar un histograma de las alturas, que es lo que queríamos conseguir para hacer la distinción hablada antes. Así a partir de 200 imágenes capturadas del osciloscopio se consiguieron detectar 4327 picos con sus respectivas alturas, mostradas en el siguiente histograma(insertar histograma)



De esta forma, se concatenación 300 imágenes más, llegando a 10953 picos y se logró el siguiente histograma(insertar histograma)



(Plotear módulo de las alturas)

Día 2

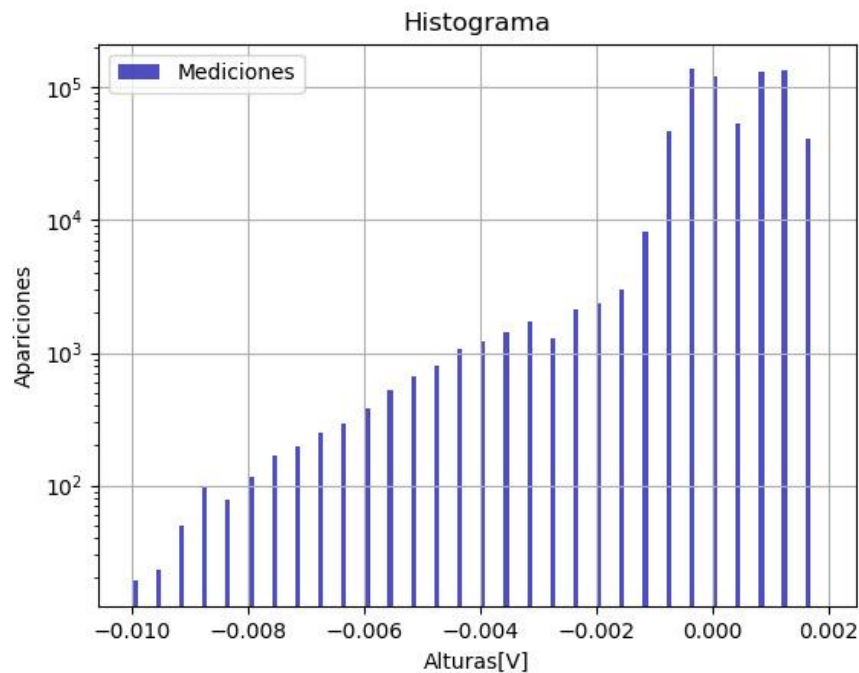
Cambio de características en los instrumentos.

- Motor (5V)

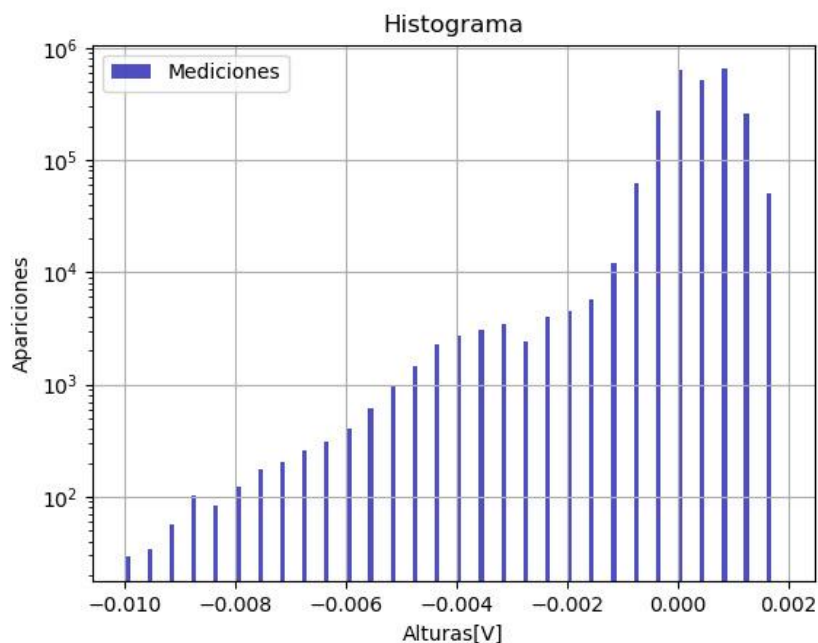
Comenzamos revisando el ancho de los pulsos vistos en el osciloscopio, a fin de poder seleccionar una escala temporal adecuada. Si tenemos 10 us en el osciloscopio entonces el muestreo es de 40ns exactamente el doble del ancho del pulso.

(En el osciloscopio: 2500 puntos y 10 cuadrados, cada cuadrado tiene 250 puntos, entonces la escala temporal nos dice cuánto ocupa un punto).

Se prosiguió por volver a hacer una búsqueda de los picos de voltaje a partir de la función de python `finds_picks` para 1000 cuadros, esta vez no solo recopilando los picos negativos sino también los positivos, y luego concatenandolos se obtuvo:



Ahora graficando todos los puntos de los frames obtenemos:



ERROR. En realidad lo que teníamos que hacer era exactamente lo contrario, es decir, que la escala temporal tenía que ser mucho más chica que el ancho del pico. Entonces si tenemos 1 us en el osciloscopio entonces el muestreo es de $4\text{ ns} < 20\text{ ns}$ correspondiente al ancho del pico.

Se prosiguió por volver a hacer una búsqueda de los picos de voltaje a partir de la función de python `finds_picks` para 1000 cuadros, esta vez no solo recopilando los picos negativos sino también los positivos, y luego concatenandolos.

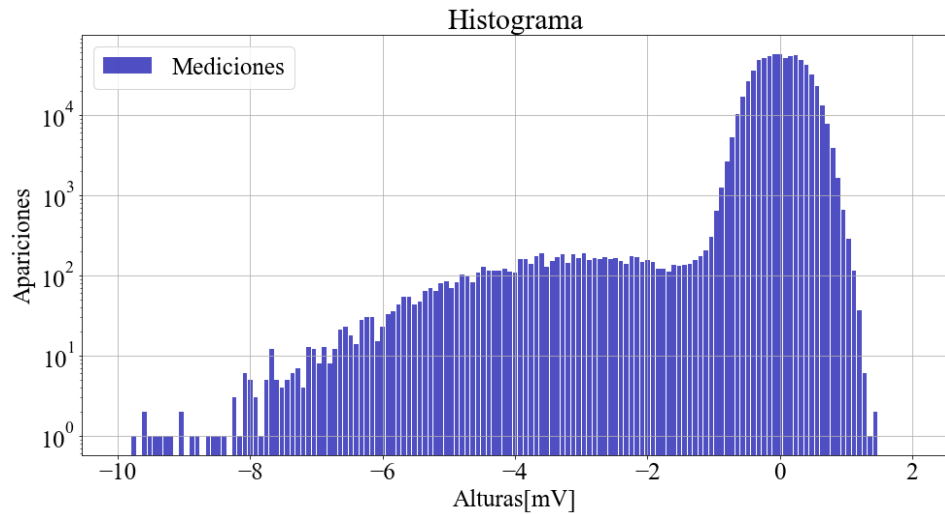
Se cerró el día 2 con una medición medianamente decente, nuevamente de 1001 pantallas, que tardó un poco menos de media hora. De esta se procedió a plotear un histograma para ubicar correctamente el umbral que separa los pulsos que queremos estudiar del fondo eléctrico y demás. Luego de pelear con el binarizado un buen rato se lo generó a partir de la resolución empleada para la medición, que en la escala de 2mV es de 0.08mV ($2/250$).

```
bins = np.arange(-10, 2, 0.08) + 0.04
```

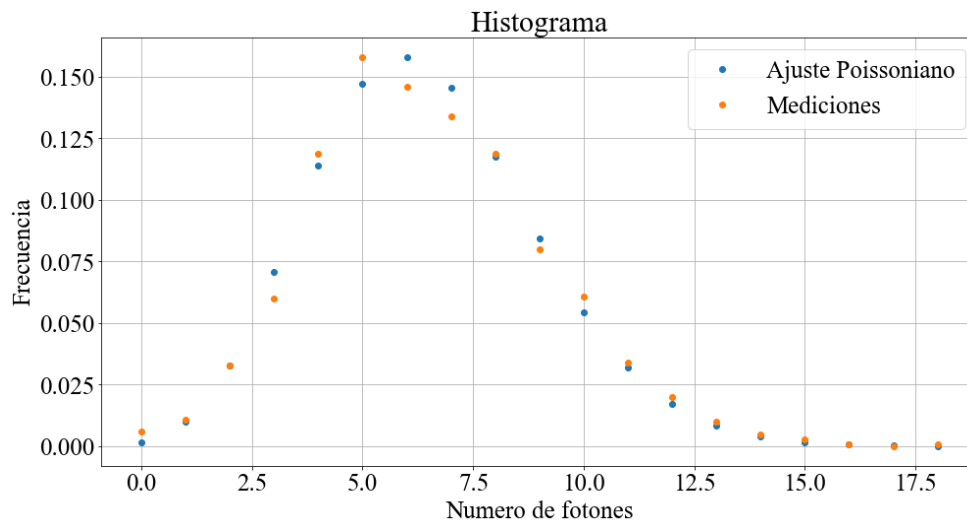
Con este histograma se fijó el umbral a ojo en 1.6mV (queda pendiente ajustar la parte del fondo con alguna distribucion y hacer un análisis un poco más preciso)

Luego se procedió a contar en cada pantalla guardada la cantidad de pulsos presentes, los cuales se asociaron a un fotón alcanzando el fotomultiplicador, tras normalizar los datos se realizó un ajuste con una distribución poissoniana, la cual parece aproximarse correctamente a los datos. La cantidad de pulsos asociada a fotones 6512 de los 707645 totales, quizá con una mayor cantidad de muestras la distribución termine de converger a una del tipo poissoniano como la propuesta. En este sentido, para mejorar la estadística, con unas 5000

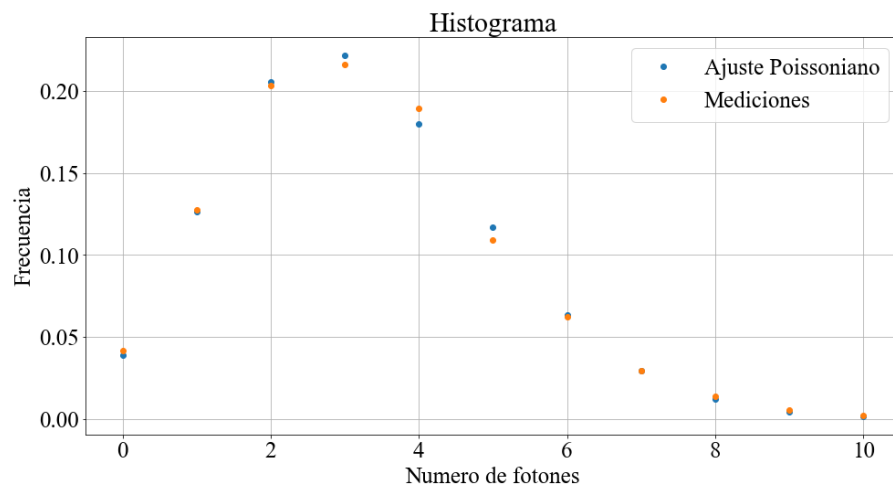
muestras por ejemplo, hay que realizar mediciones largas para el osciloscopio y el tiempo de clase. Comparando la “suavidad” de la curva de las mediciones en los histogramas de abajo para un menor tiempo de exposición (y por lo tanto mas datos) se observa una mayor suavidad y convergencia lo que se interpreta como que una mayor cantidad de pantallas son requeridas para hacer la estadística (~5000).



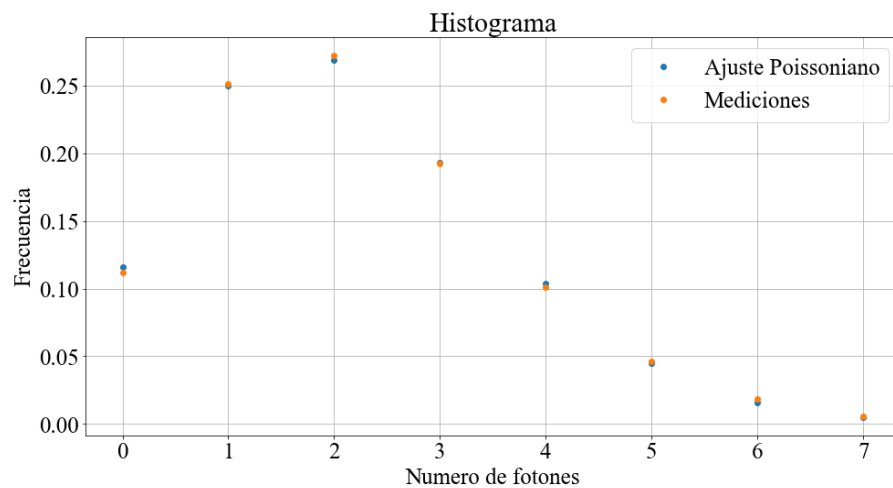
Histograma picos por altura



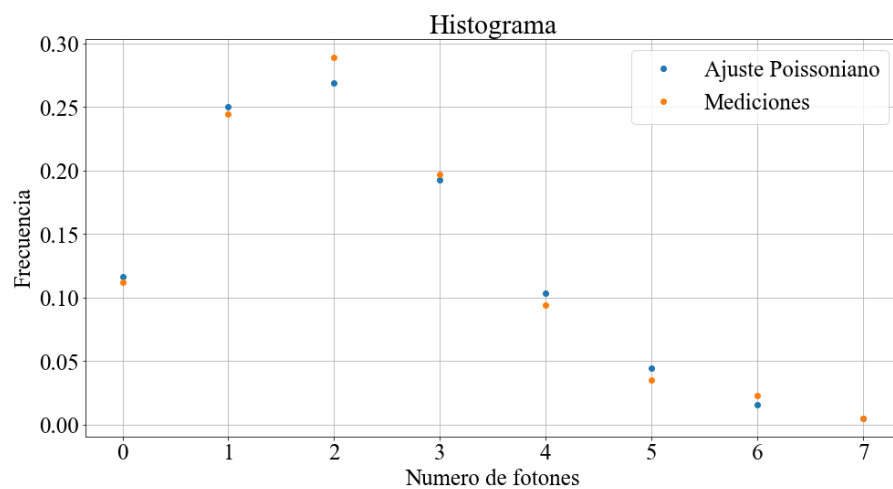
Histograma ventana 10us



Histograma ventana 5us



Histograma ventana 3.332us



Histograma ventana 3.332us pero solo 1001 datos

Día 3

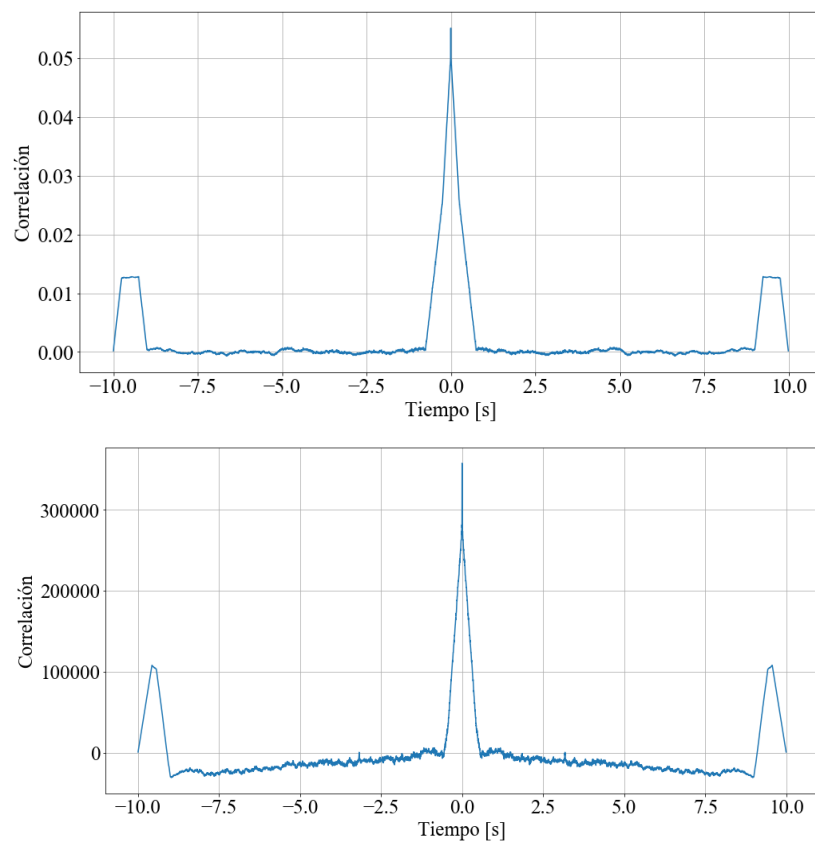
Cambio de características en los instrumentos y el armado.

- Motor (0.7V)
- Patrón de Speckle
- Polarizador(60°)
- Resistencia (1k ohm)

La idea para esta clase es poder analizar la estadística de Bose-Einstein, en base a generar un patrón de Speckle y calcular el tiempo de correlación.

Se tomó una captura de la pantalla del osciloscopio para ver la frecuencia del disco, de manera de ver la posición de los picos y en base al promedio de las diferencias de estas posiciones, se calculó la frecuencia de aparición(0.3Hz).

Se siguió por intentar calcular el tiempo de correlación a partir de una captura de la pantalla del osciloscopio nuevamente con una escala temporal de 1s, pero esta vez de lo que medía el fotomultiplicador (ancho del pulso 60us). Así los datos obtenidos de esta pantalla se auto-correlacionaron obteniendo los siguientes gráficos.



Donde el primer gráfico corresponde a al cálculo con una resistencia de 1K ohm y el segundo al cálculo sin resistencia, obteniendo $T_c = 0.456$ s y $T_c = 0.344$ s, respectivamente.

Sin embargo, la escala en la cual se calculo es una sobreestimación de las fluctuaciones, por lo que se cambió la escala y se volvió a medir, consiguiendo

Cambiando el polarizador a un ángulo de 69° para tener mayor intensidad, se procedió a contar fotones con ventanas más chicas a fin de ver la estadística de Bose-Einstein. Sin embargo, al generar la distribución se vió que esta correspondía a poisson.

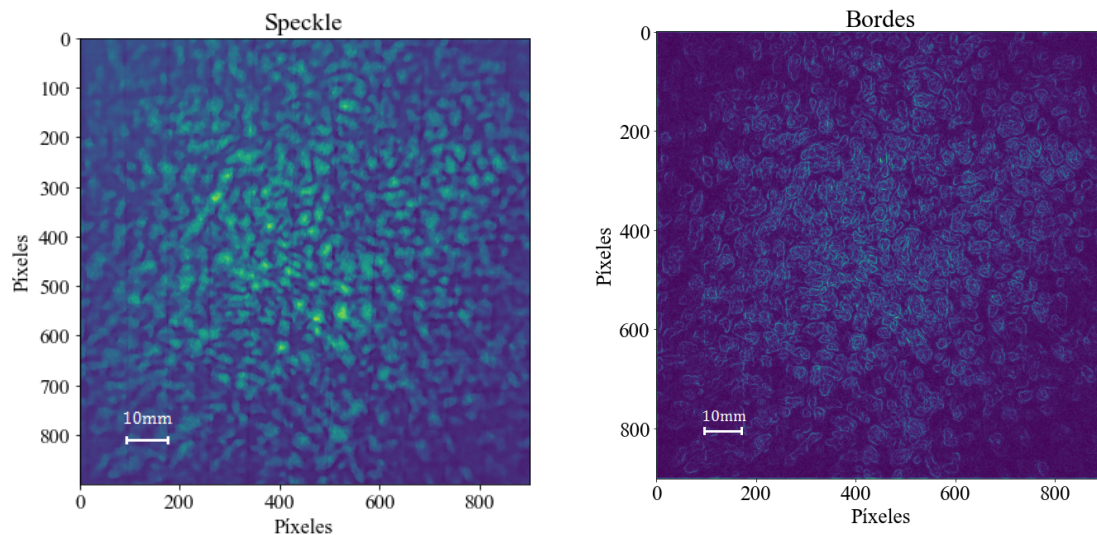
Estimación un poco mas linda del tiempo de correlación T_c :

En base al tamaño típico del patrón y a la velocidad de giro del disco:

Tenemos los siguientes datos del sistema:

- Distancia del centro del disco al punto de impacto del laser: $R = (35+5)\text{mm}$
- Distancia del disco a la pantalla / al pinhole: $D = (140+10)\text{mm}$
- Tamaño típico del speckle: $a = (3+1)\text{mm}$
- Periodo de giro del disco: $T = 3.2\text{s}$
- Longitud de onda del láser: $\lambda = 670\text{nm}$

A partir de estos se realizará una estimación “con los dedos” de T_c , considerando que los dos primeros (R y D) se midieron rápida y brutalmente con una regla infantil que tiene gran parte de su escala borrada, y tampoco se realizó un análisis exhaustivo para encontrar “a”, simplemente se obtuvieron algunas fotografías (abajo) y se estimó su valor a ojo



Canal verde de una de las fotografías tomadas a la izquierda y los bordes encontrados para dicha imagen a la derecha. Se empleó para el análisis el canal verde ya que este presentaba una menor saturación. Capturar buenas fotos es fundamental para un análisis más serio.

Luego, el periodo del disco (T) se midió empleando un photogate el cual se veía obstruido periódicamente por un palito pegado al disco y la longitud de onda (λ) se buscó en el láser.

Partiendo de estos datos se comenzó por estimar el tamaño típico de las “imperfecciones” en el disco (a_0). Para esto se aproximó a la difracción en una rendija de tamaño a_0 cuyo patrón se observa a una distancia D y presenta un ancho del máximo central de a . Estas magnitudes se relacionan campo lejano de la forma:

$$a = 2Dl/a_0 = (0.06 \pm 0.02) \text{ mm}$$

Luego, estas rendijas se mueven a una velocidad:

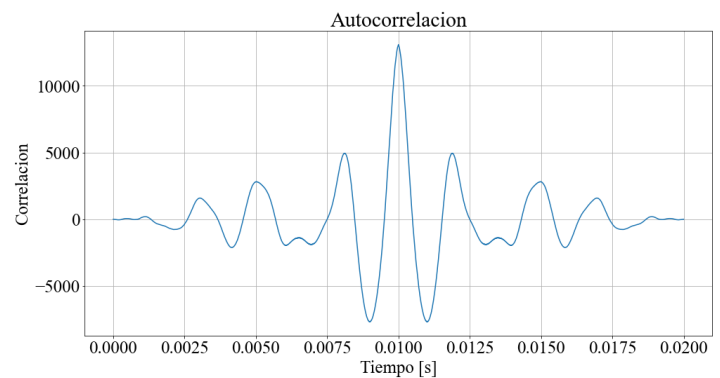
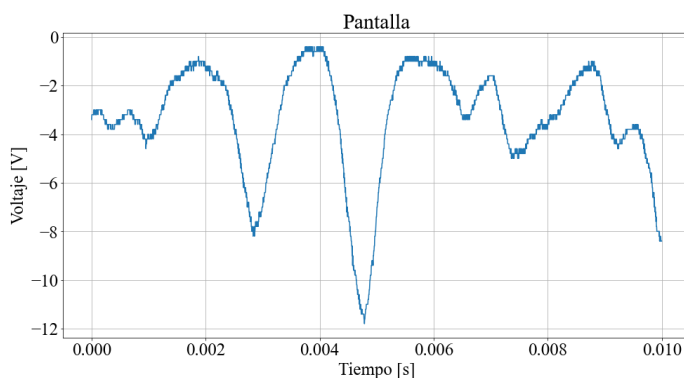
$$V = 2\pi R/T = (70 \pm 10) \text{ mm/s}$$

Así el tiempo característico en que una imperfección transita por delante del láser será su dimensión dividida por su velocidad:

$$T_c = a/V = (0.0009 \pm 0.0003) \text{ s} = (0.9 \pm 0.3) \text{ ms}$$

Con el osciloscopio, buscando autocorrelacion:

En este caso para estimar el tiempo de correlación se conectó el fotomultiplicador directamente al osciloscopio y se estableció la escala temporal en 1ms y 2.5ms, escalas con las cuales la pantalla tiene un largo de 10 y 25 ms respectivamente. Seteando estas escalas se buscó integrar los fotones provenientes de una misma imperfección y así estimar el tiempo de correlación en base a estos pulsos. Se guardaron 50 pantallas para cada escala, a las cuales se midió la autocorrelación, y de aquí se obtuvo T_c del ancho a mitad altura de la campana central. Luego se promedió y busco el desvío estándar de este conjunto de T_c .



Obteniendo finalmente, mediante las pantallas en escala de 1ms, un $T_c = (0.82 \pm 0.16) \text{ ms}$ y con las de la escala en 2.5ms un valor de $T_c = (0.87 \pm 0.14) \text{ ms}$. Consistentes con el estimado arriba mediante las dimensiones del sistema.

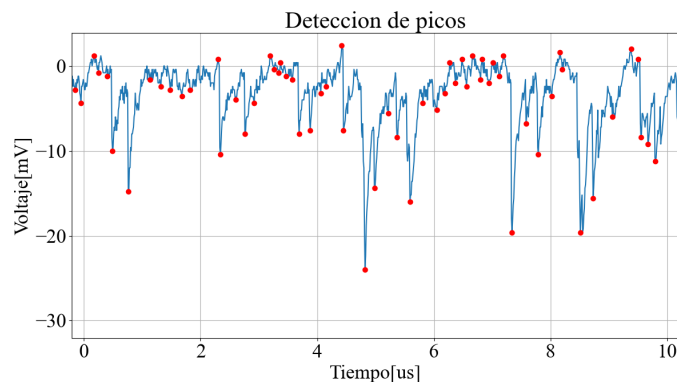
Buscando a Bose-Einstein:

Bose-Einstein no fue encontrado :’c

Empleando el primer tiempo de correlación calculado, de cerca de 0.5s se procedió a realizar mediciones con una resistencia de 1kOhm. De manera analoga a los días anteriores:

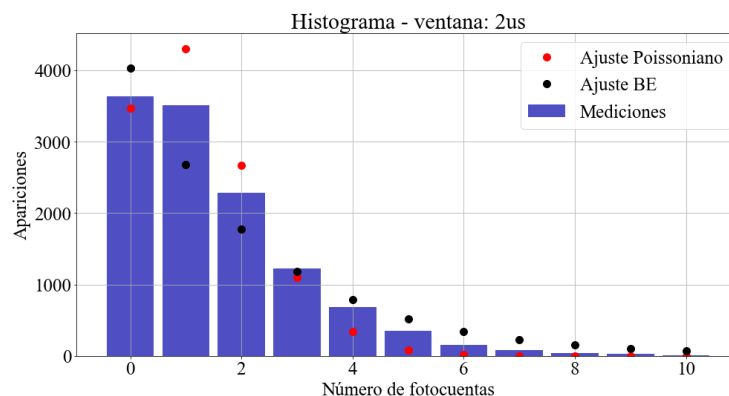
Primero viendo pulsos individualmente en la escala de 50ns se encontró que el ancho típico de estos era de 100ns, por lo que se decidió muestrear pantallas en la escala de 2.5us, la cual tiene una definicion de $2.5/250\text{us} = 10\text{us}$, consiguiendo asi varios puntos por pulso. Luego se seteo el polarizador en 60 (o sea 9 con respecto al mínimo, podria haber sido un poco más, cerca de 70, recomendamos más). La estimacion del umbral es analoga a la detallada arriba.

La pinta que tienen los picos y cómo son detectados, que no aparece los días anteriores, para una detección sin umbral de positivos y de negativos



Siguiendo la idea de tomar ventanas y contar la cantidad de pulsos presentes en estas para luego ajustar con una distribución (o plotearla arriba con el valor medio calculado aparte). Se buscó realizar dicho análisis sobre un histograma de al menos 10 columnas, es decir, haber encontrado por lo menos una ventana con 10 pulsos/fotones.

En este sentido, con esta escala y flujo de fotones las ventanas más cortas que se pudieron considerar, fueron de 2us, obetiendo:



Una distribución que no pega ni con Poisson ni con BE, cuyo valor medio tampoco arrima a los que se obtienen ajustando:

Metodo de calculo	Valor medio de n
Por definición	1.54
Ajuste BE	1.98
Ajuste Poisson	1.24

En síntesis nos quedamos a mitad de camino (o más lejos), pero podemos establecer una cota para la observación de la estadística de BE, recordando que esta aparece en el límite:

$$T_i/T_c \ll 1$$

Donde T_i es el largo de la ventana, reemplazando en el cociente por el tiempo de correlacion medida y el tamaño de ventana mínimo para el análisis obtenemos:

$$T_i/T_c = 2\mu s/900\mu s \sim 0.002$$

Así que si están buscando la estadística de BE, muy probablemente se encuentre tras ese umbral, con un T_i por lo menos 4 órdenes de magnitud inferior a T_c .

Cosas que nos hubiera gustado cambiar y volver a medir:

- Periodo de rotación más lento, quizá bajando la corriente de la fuente: $< 3.2s$
- Resistencias más grandes $> 10k\Omega$ y tiempos acordes de muestreo.
- Usar la placa de adquisición para tener más ventanas $> 10\,000$.