

CONTEO DE FOTONES

GRUPO 8: Apicella, Giovannetti y Hacker

Día 1 - 31/01

comentarios docentes en magenta

correciones del grupo en azul

Elementos:

- ❖ 1 Osciloscopio Tektronix TDS1002B
- ❖ Resistencia de carga
- ❖ Fuente de alta tensión

En la caja negra:

- ❖ PMT
- ❖ Un láser He-Ne
- ❖ Dos espejos
- ❖ Un polarizador
- ❖ Un filtro

En esta experiencia se pretende realizar una estimación confiable del número de fotones que emitidos por un laser He-Ne, impactan contra un photocátodo. Este último se encuentra dentro de un instrumento denominado fotomultiplicador y convierte la energía del fotón en corriente eléctrica, la cual es amplificada por medio de unas placas llamadas dinodos, hasta obtener una corriente suficientemente alta como para poder medirla. Así, para obtener la cantidad de fotones hay que contar la cantidad de pulsos de corriente que salen del fotomultiplicador, este número coincide con el número de fotones que impactan, ya que en general, cada pulso corresponde a un fotón (salvo raros casos en los que dos fotones puedan estar lo suficiente juntos como para confundirlos con un solo pulso). Si la intensidad del haz de luz es muy alta (y por lo tanto se emiten más fotones) los fotones llegan demasiado juntos, de tal forma que los pulsos de corriente que salen del fotomultiplicador se superponen, y no se puede realizar un conteo confiable, es necesario entonces que el tiempo de impacto entre un fotón y el siguiente sea menor que lo que dura el pulso de corriente que emite el fotomultiplicador, esto se logra haciendo que, mediante filtros o polarizadores, la intensidad de la luz sea muy tenue, de esa manera los fotones impactarán de forma muy separada, y así también lo estarán los pulsos de corriente mencionados, de esa forma se puede realizar un buen conteo.

En la figura 1 se muestra el armado experimental:

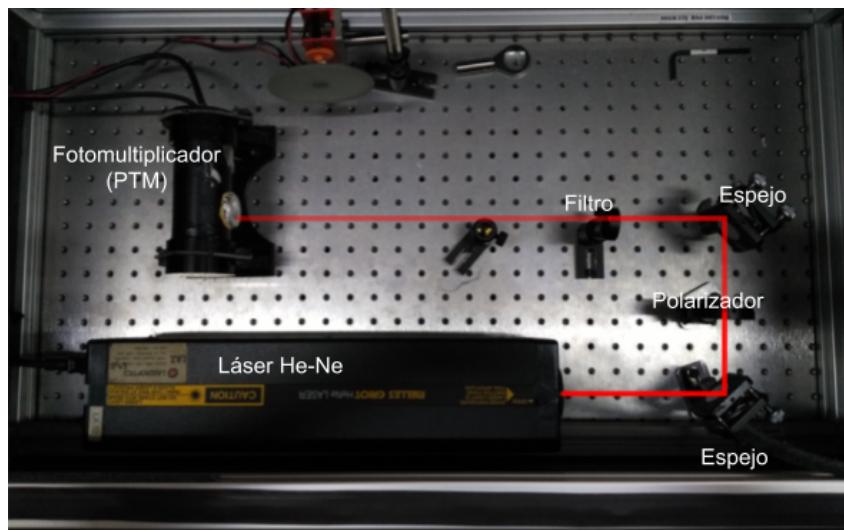


FIGURA 1: Fotografía del armado experimental

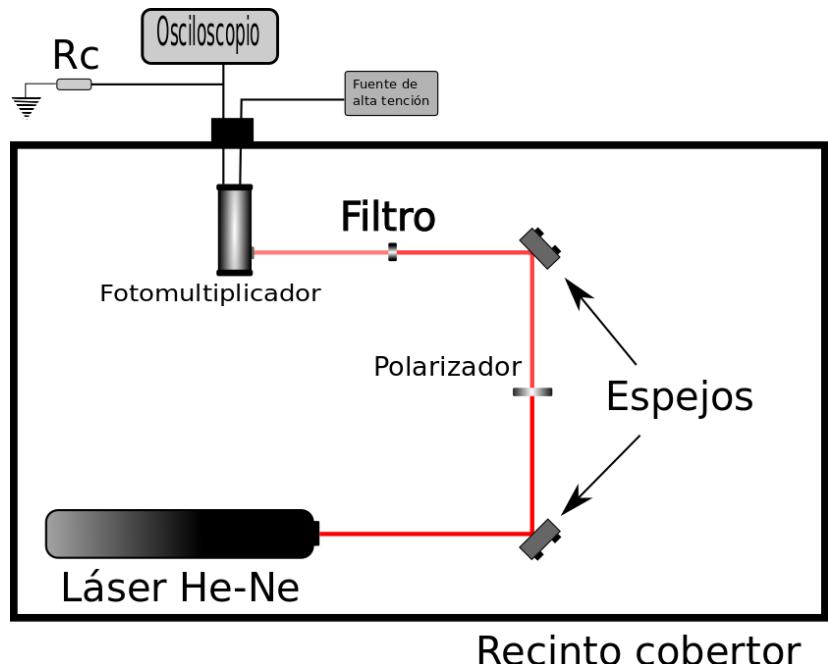


Figura 2: Esquematización del armado experimental

Empezamos alineando los espejos para lograr que el láser apunte al *pinhole*. Como primer objetivo, buscamos detectar algún fotón. Para ello, enviamos una tensión de $-(900 \pm 30)V$ y conectamos el PMT al osciloscopio y, en paralelo, a una resistencia de carga de 50Ω (MEDIR). No logramos hacerlo debido al mal funcionamiento de los cables, así que cambiamos estos y también la resistencia por una acoplada al cable BNC.

Ahí ya empezamos a identificar los fotones en el osciloscopio estando en una escala horizontal de 50ns y vertical de 5mV. Como los veíamos superpuestos y pasando muy rápido de a muchos, bajamos la intensidad del haz (con el polarizador) para distinguir mejor el paso de los fotones en la pantalla. En la figura 2 se ve una captura de un fotón hecha con los comandos Run/Stop y Single Seq.

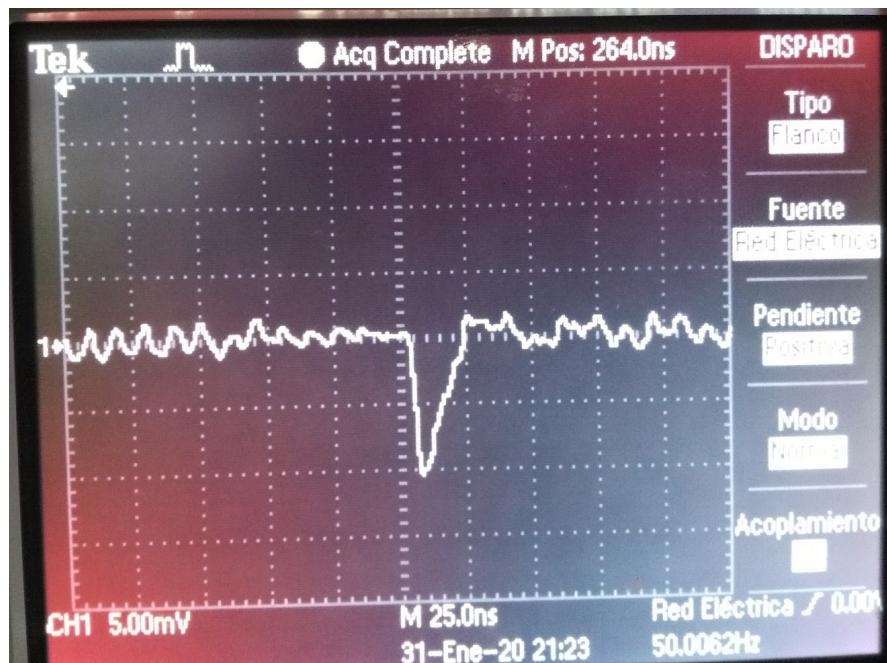


FIGURA 3: detección del primer fotón

Ahora aumentamos un poco la intensidad para poder detectar mayor cantidad de fotones cada vez que congelamos la pantalla con la función Run/Stop.

Lo siguiente fue usar los códigos en el repositorio, guardándolos en la misma carpeta

<https://github.com/hgrecco/labosdf/blob/master/software/python/labo5/conteo.py>

<https://github.com/hgrecco/labosdf/blob/master/software/python/labo5/instrumentos.py>

Estudiamos los distintos comandos del código para la adquisición de datos.

En este cuaderno falta un poco plasmar ideas, por qué y para qué hacen lo que hacen y los objetivos. No es que sea necesario enumerar esto en forma pautada, pero el lector debe saber qué es lo que están queriendo hacer. Y acá mucho no se nota

Día 2 - 05/02

Empezamos a adquirir los datos de una medición, probando paso a paso cada función del código del repositorio.

Realizamos el montaje experimental de la clase pasada con la fuente de alta tensión en – (900 ± 30)V, la resistencia en paralelo de 50 ohm. La pantalla del osciloscopio con escala temporal en 0,1 ms y la vertical (voltaje) en 10mV.

Abrimos en spyder el código del repositorio y fuimos copiando de a partes cada función en otra pestaña para testear cada una por separado y familiarizarnos con ella. Para cada una agregamos las explicaciones o especificaciones necesarias en comentarios al lado de la línea de código correspondiente. Había líneas con errores:

- En la función donde adquirimos los mínimos (*generarCuentas*) y contamos la cantidad de fotones, encontramos la siguiente línea de código:

cuentas.append(data[data[minimos,1] < thres].shape[0])

y la reemplazamos por:

cuentas.append(np.sum(data[minimos,1] < thres))

En la segunda suma la cantidad de mínimos que cumplen con la condición de que el valor de la tensión sea menor que el de algún valor dado (thres), mientras que en la primera nos surgió problema de dimensiones.

Consideraciones generales importantes:

- No olvidar activar la conexión usb al osciloscopio en Devices y después import visa
- Por como está escrito el código y guardados los datos en carpetas, cada función trabajaba en un directorio distinto y cada vez que activamos una función, tuvimos que volver a especificar el directorio correspondiente.
- No tocar los cables del osciloscopio porque afecta la señal.

Realizamos una captura de la pantalla del osciloscopio y graficamos sus datos en python para ver a ojo un valor para el umbral de voltaje para separar los mínimos correspondientes a cuentas de fotones del ruido de la señal. Para las especificaciones mencionadas elegimos un umbral de -2,6mV.4.

Primera medición con N=1000 capturas de pantalla y una escala de 100us en el tiempo

Realizamos N = 1000 capturas de pantallas del osciloscopio, guardando Guardamos los datos de cada captura en un archivo.csv distinto y mediante el programa calculamos la cantidad de cuentas en cada captura, creando una lista con todas las cantidades de cuentas encontradas

Se realizó el histograma correspondiente a la medición anterior, frecuencia relativa vs cantidad de fotones por pantalla, con esta cantidad de mediciones el gráfico adquirió una forma acampanada muy picuda, aún no se distingue muy bien la forma de la distribución de poisson:

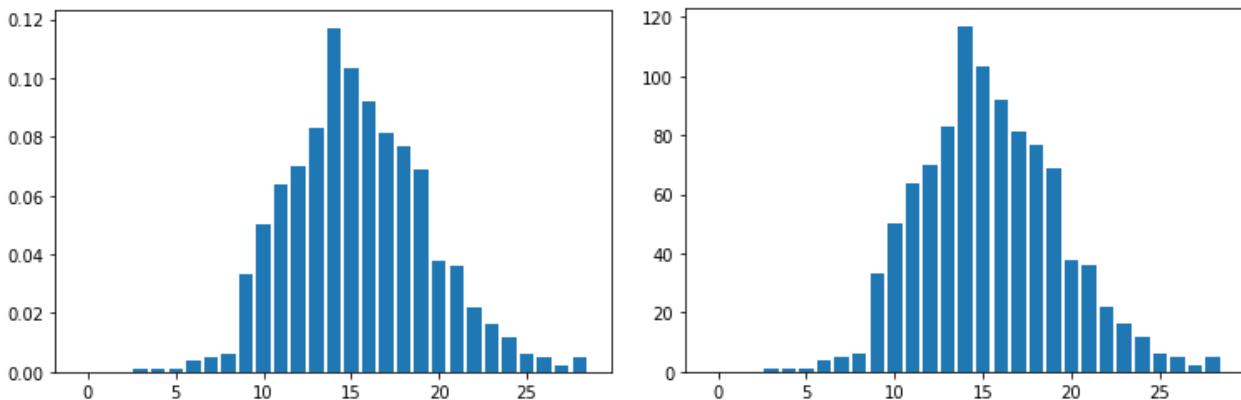


Figura 4: A la derecha el histograma con las frecuencias relativas, a la izquierda el histograma normalizado

Hicimos el ajuste de los datos por una distribución Poisson

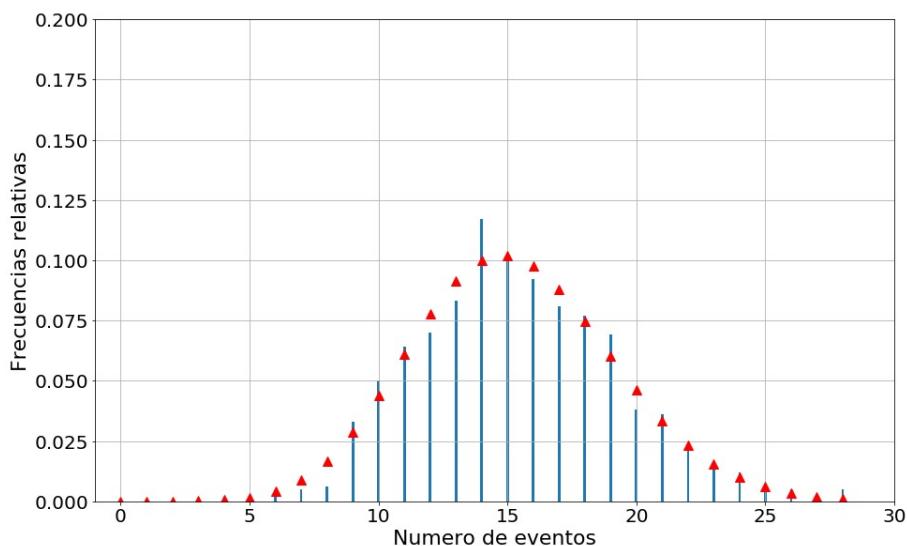


Figura 5: Las barras azules son las mediciones y los triángulos rojos el ajuste por Poisson

Observación importante: hay que tener en cuenta que el osciloscopio mide 2500 puntos, si la distancia entre estos puntos es mucho mayor al “ancho del fotón”, se pueden perder muchos fotones. Hay que verificar que la distancia entre puntos tomados sea del orden del ancho del fotón o menor.

También hay que tener en cuenta que si la escala es muy pequeña, dependiendo de la intensidad del haz, puede bajar mucho la cantidad de fotones por pantalla y perjudicar el análisis posterior.

Teniendo esto en cuenta, vimos a ojo en el osciloscopio que el "ancho del fotón" era de $(25 \pm 5) \text{ ns}$ y por lo tanto elegimos para la nueva medición una escala de 10us (de esta manera la distancia entre puntos tomados por el osciloscopio es de 40ns, es decir, comparable al "ancho del fotón"). Se vio a ojo que la cantidad de fotones por pantalla era considerable (~20) a esta escala y procedimos a hacer una medición de N = 800 (hasta eso nos dio el tiempo) para entre hoy y mañana analizar y comparar con la medición anterior.

Andrea te dejo los links de los papers que te pedimos (y cuando puedas mandanos los del LEC). Gracias

<https://phys.org/news/2019-03-physicists-reverse-quantum.html>

<https://phys.org/news/2020-01-physics-giant-secret-fluid-mechanics.html>

Hoy vamos a analizar y comparar los datos obtenidos en la clase anterior y realizar nuevas mediciones. En cada una se hizo el gráfico correspondiente a los datos con un ajuste de una función de Poisson

Segunda medición con N=800 y escala de 10us en el tiempo

Se obtuvo el siguiente gráfico

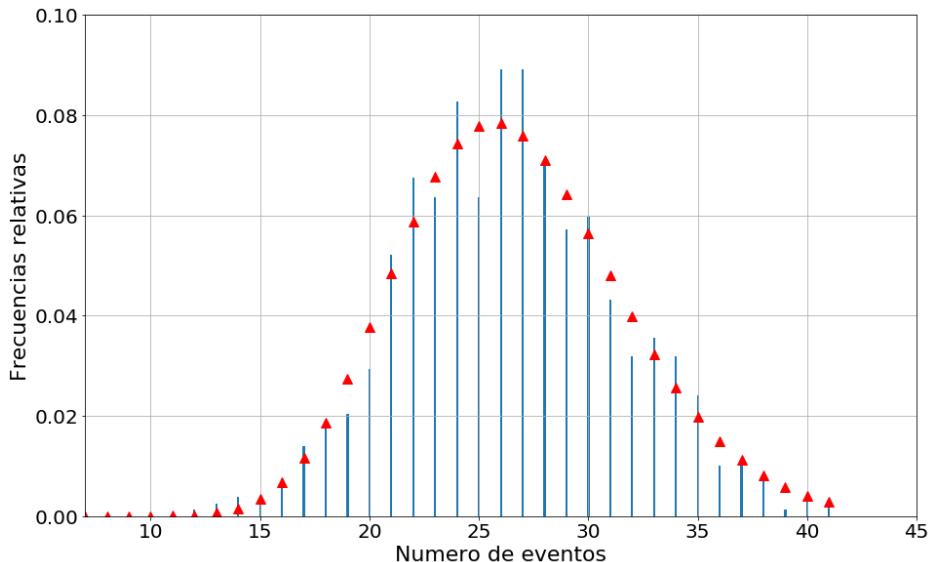


Figura 6: barras azules son las mediciones y triángulos rojos el ajuste de Poisson

Tercera medición con N=2000 y escala de 10us en el tiempo

Se obtuvo el siguiente gráfico:

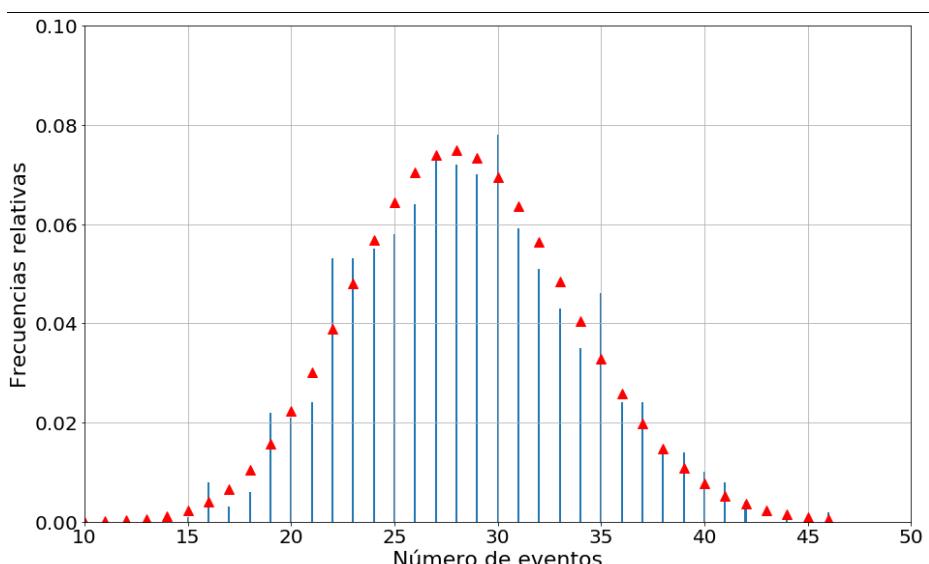


Figura 7: barras azules son las mediciones y triángulos rojos el ajuste de Poisson

Cuarta medición con N=1500 y escala de 5us en el tiempo

Obtuvimos el siguiente gráfico:

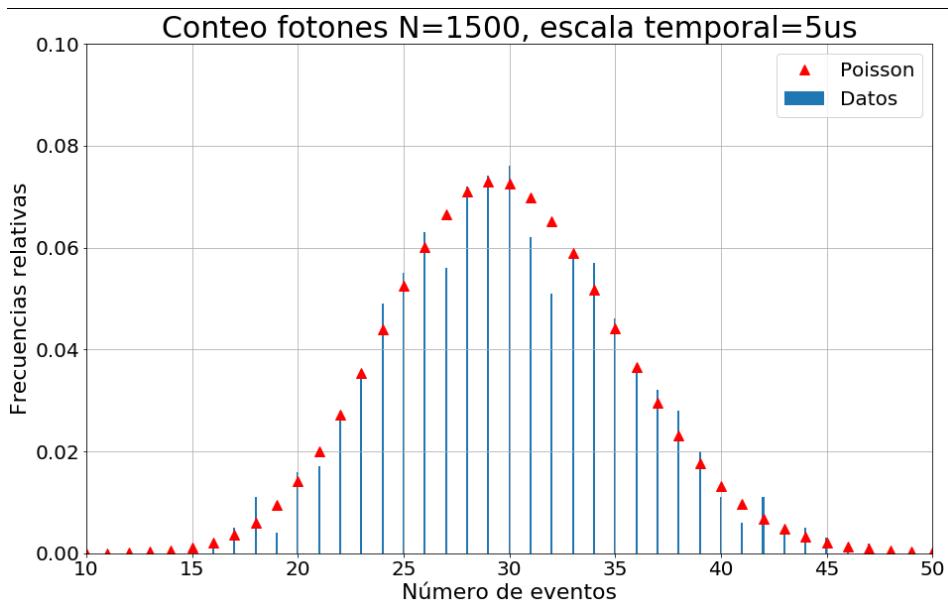


Figura 8: barras azules son las mediciones y triángulos rojos el ajuste de Poisson

Grupo 1: Juliana Bourdieu, Carolina Iacovone y Sofía Sevitz

Día 1-2/12/20

- medimos la resistencia: 53.3Ohm pero cambia mucho según como estás tocando.
- Estamos probando que todo funcione... ponemos en 900V la fuente de alta tensión.
- Hay que poner el trigger en la red eléctrica para que no quede que un fotón medido en todo momento.
- Queremos hallar la intensidad del laser correcto tales que en pantalla (cuando lo frenamos) aparezcan alrededor de 20 picos.

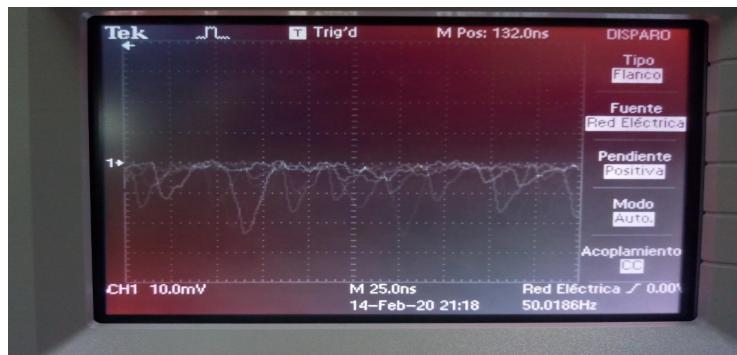


En el día de hoy nos concentraremos en ver como funciona cada parte del diseño de conteo de fotones. Además trabajamos un poco más con el código. Para la próxima clase vamos a acomodar el disco de esmeraldo teniendo en mente los siguientes objetivos:

1. estudiar la estadística del conteo de fotones para distintas velocidades del disco. Intentar de analizar las regiones en donde $T > \tau_c$ y $T < \tau_c$.
2. Analizar la estadística para la condición crítica ($T = \tau_c$)
3. Ingeniar alguna manera para medir τ_c .

Día 2: 14/2/20

Configuración del disparo del osciloscopio (tektronix tds1002b):



Para poder ver en qué límite estamos hicimos una cuenta estimativa para saber el tiempo de coherencia del láser: $6.64 \times 10^{-14}s$

In []:

Claramente siempre vamos a estar en el límite $T > \tau_c$, por eso hay que utilizar el disco para aumentar la longitud de coherencia del láser para poder tomar T más chicos.

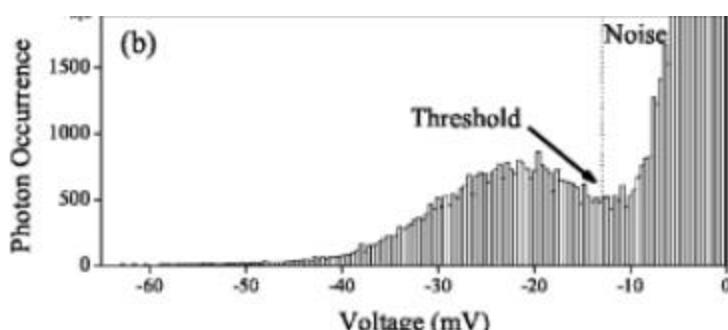
Mediciones 1 :sin el disco

$T=100\text{ns}$

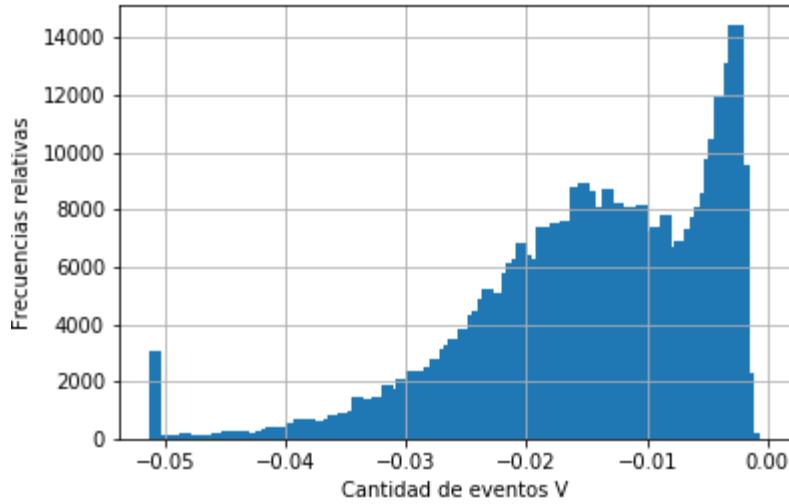
$N=1400\ 1500$

Atención: medición 1030, se movió el cable

Se realizó un histograma de todos los mínimos de todas las mediciones, sin un criterio de qué pico es un foton y qué pico ruido. El objetivo fue encontrar un threshold, es decir un valor en voltaje para el cual un foton se distingue del ruido. El histograma de referencia lo tomamos de [Photon counting statistics using a digital oscilloscope](#):

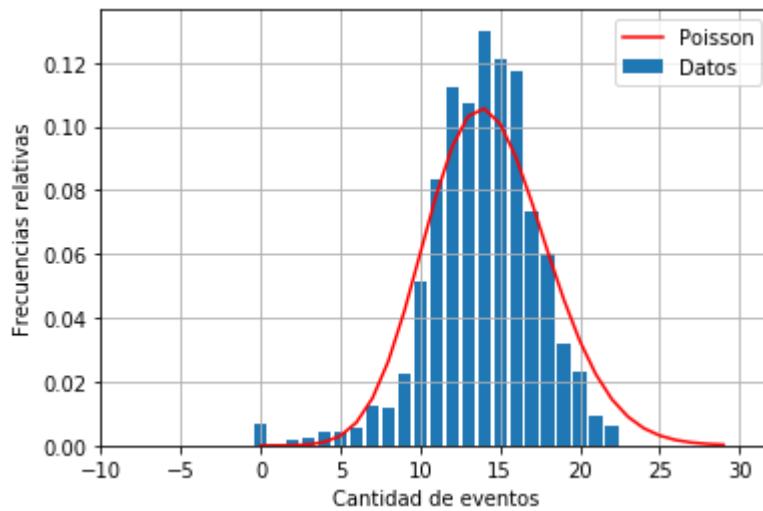


El histograma obtenido con los datos, con lookahead=55 (puntos entre un mínimo y el siguiente) y con bins=cantidadadminimos:



El threshold obtenido es de -0.007V.

Luego haciendo el histograma de las mediciones de la cantidad de fotones es:



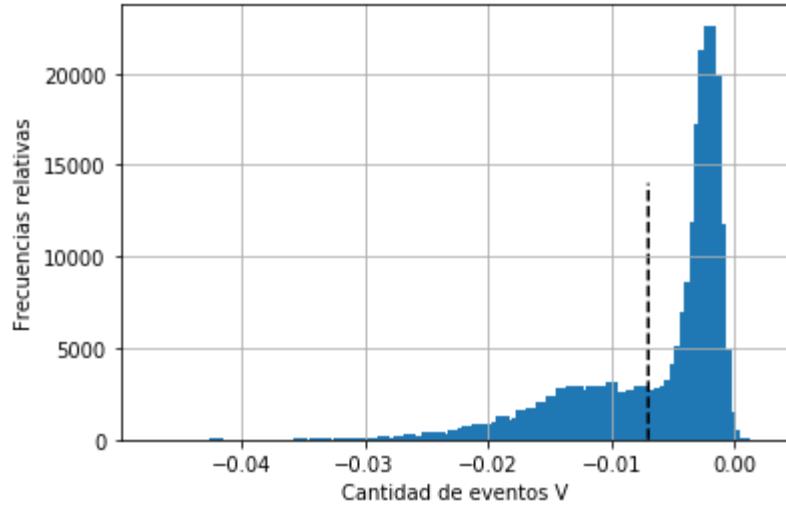
dando como parámetro de ajuste de Poisson: lambda 14.3 lambda std 0.2

Mediciones 2:

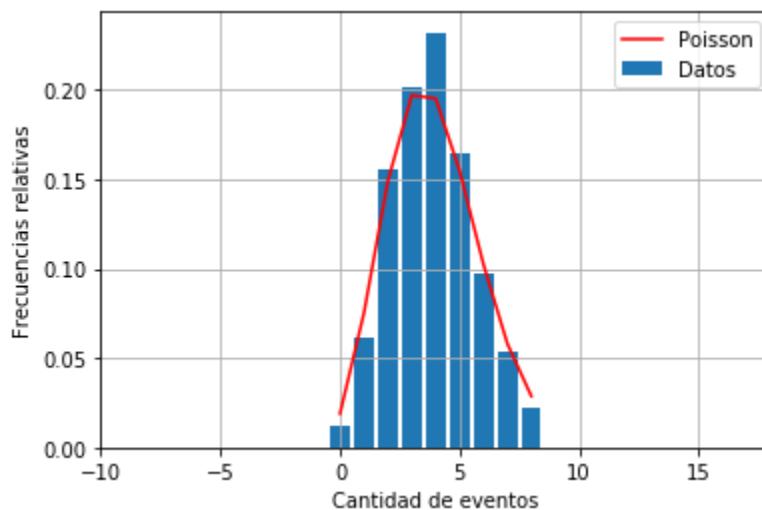
T=25ns

N=1000

Analisis de ruido:

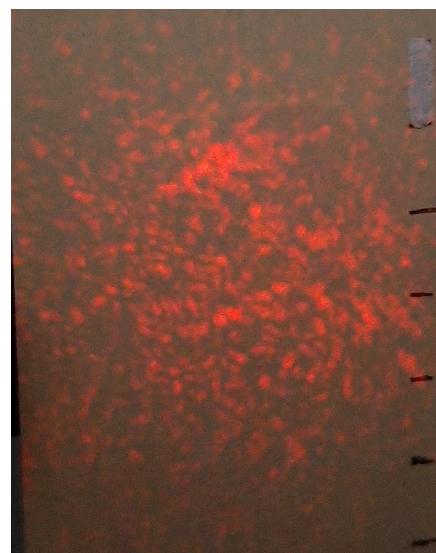


marcando los -0.007 V



Cuyos parámetros de ajuste son: lambda 4.0 lambda std 0.1

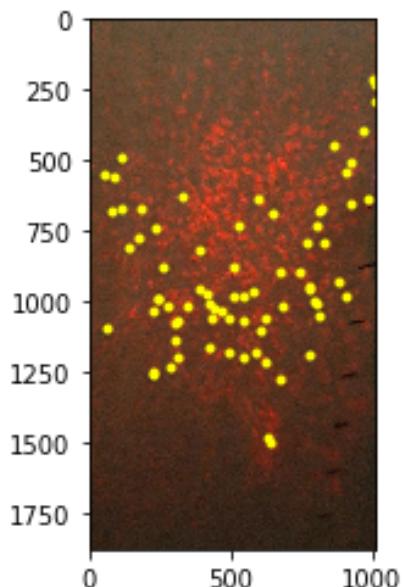
Luego procedimos a utilizar el disco rotante. Antes del disco se insertó un lente de 75mm, teniendo en cuenta que quede alineado con el pinhole. Con eso se logró observar un patrón de *Speckle*



Para poder estimar la longitud de coherencia necesitamos saber la velocidad con que rota el disco. Para estimar el tiempo de coherencia hay 2 formas posibles, por un lado midiendo los diámetros de los granos y por otro lado usando el osciloscopio.

Tenemos que medir el tamaño de los granos, para eso sacamos fotos con el celular y analizamos con la compu. La pantalla que pusimos(para marcar la escala) marcamos 1 cm. Usando la librería de Skimage(python) hacemos un análisis de la imagen usando el método de “Blob detection Laplacian” (https://en.wikipedia.org/wiki/Blob_detection#The_Laplacian_of_Gaussian).

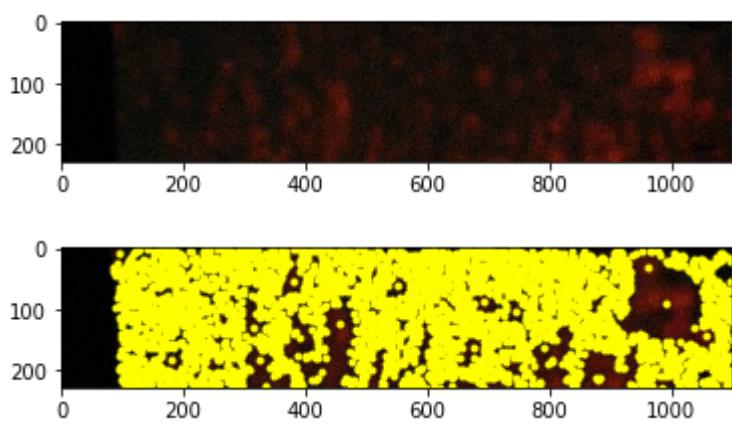
Foto 1:



radio promediados: (2.9 ± 3.5) px

Lo primero que se puede observar es que los lugares donde hay más cúmulos de granos no puede registrar de forma correcta, esto explicaría la desviación grande. Además hay poco contraste entre las manchas y el fondo. Por eso después sacamos fotos en la oscuridad, y haciendo zoom en zonas donde se pueden ver los granos de forma más disperso.

Foto 2:



radio (1.5 ± 1.4) px

Acá se puede notar que mejora la detección, pero el problema es que la cámara no estaba en foco. Por lo tanto dichas fotografías se tendrán que volver a tomar pero mediante una técnica más cómoda.

La distancia entre el pinhole y el disco es 15cm+0.1.

Ahora pusimos en funcionamiento el disco con

voltaje: 0.7V

una vuelta: 1.7-1.9s

mirando el osciloscopio, el ancho de un fotón es: 25ns (el tiempo de coherencia)

Medición 3: para poder hacer una estadística de los anchos de los fotones
en la carpeta (mediciones térmicas)

T=100 microsegundos

N=500

NO SE PUDIERON TOMAR POR CUESTIONES DE TIEMPO Y AL FINAL DE LA CLASE FALLÓ EL CABLE

Segundo método de análisis de imágenes: usando la librería cv2 de python

Primero editamos la foto para solamente reconocer los puntos, aplicándole un threshold (hecho en GIMP) que cambia para cada foto, pero lo fundamental es que todos los puntos sean totalmente llenos y reconocibles (para eso, comparar éste con la foto original).

Se realizó con las siguientes 3 fotos: (primera foto original, segunda foto con threshold)

Foto3.jpg - Foto3_1.jpg (esta imagen es la parte superior de una de las fotos)

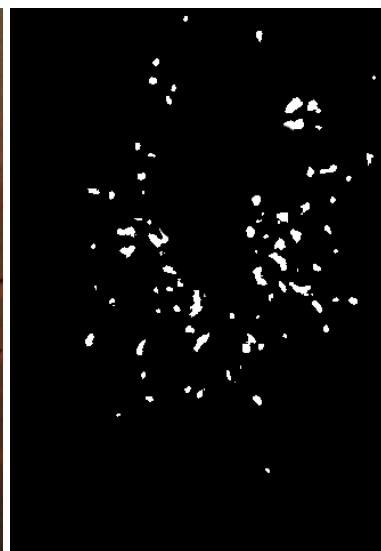
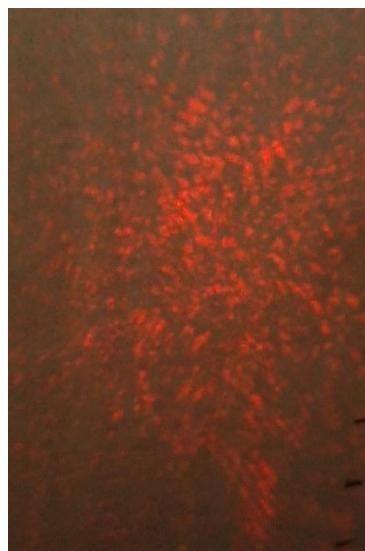
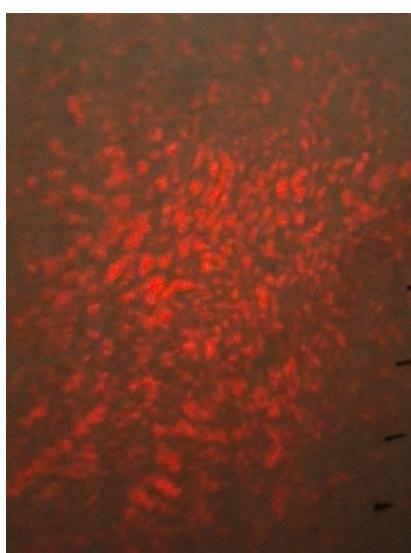


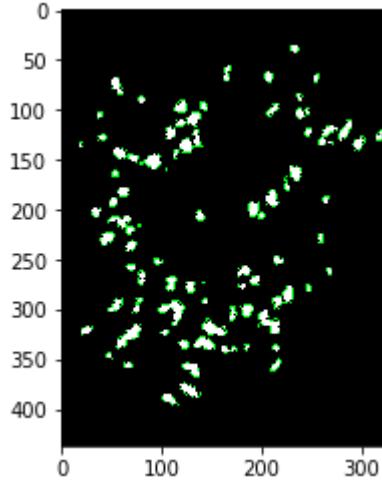
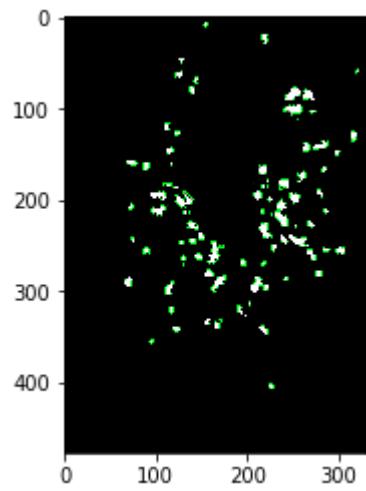
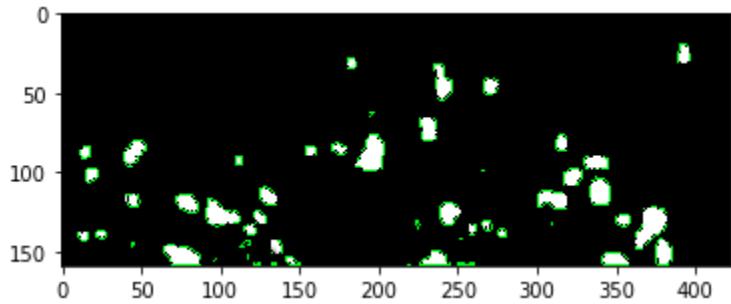
Foto.jpg - Foto_1.jpg



120532.jpg - 120532_1.jpg

Puede observarse que además se quitó la acumulación de puntos (toda la zona del medio) puesto a que eran irreconocibles y se hacían manchas grandes con varios puntos adentro. Así que se optó por quitarlos directamente.

Así, con la foto con threshold se encontraron los bordes con cv2.findContours (en color verde):



Y luego, se calculó el perímetro de cada uno con cv2.arcLength(). Los resultados fueron, en promedio y en píxeles (en orden):

-39.88 +- 15.57

-35.89 +- 15.81

-43.48 +- 20.37

Los resultados de los perímetros se encuentran más o menos cerca, pese a que todas las fotos son distintas. Los errores quedan bastante grandes. Detalle no menor: dan errores relativos mayores los últimos dos, que no les hice zoom a las imágenes como para que reconozca mejor los bordes como sí hice en la primer imagen.

Haciendo una bruta aproximación, los puntos son círculos. Entonces usando la ecuación del perímetro de un círculo para despejar el radio. Sólo fue posible calcular esto para la 2da y 3er foto analizada, puesto que la primera era una foto a oscuras y no se aprecia la escala.

Para ambas fotos mencionadas se calculó la escala con ImageJ. Luego, así, el radio resultó ser 0.19 y 0.24 cm (*nota personal: acordarse mañana de calcular el error*)

Mirando las fotos de la escala con zoom tiene pinta de que los puntos son de 0.2cm de diámetro, así que aún no está dando muy bien, pero se va acercando.

Quizás la próxima sacando mejores fotos, con menos acumulación de puntos y mucha mejor calidad (preugntar si hay una buena cámara en el labo) y/o hacer lo del osciloscopio.

Día 3: 19/2/20

El primer objetivo de hoy es tomar mediciones con el disco esmerilado moviéndose. Con estas mediciones se pretende saber cuál es el tiempo de coherencia, para ellos se le aplicará la función auto correlación a los datos.

Medición 4: Medimos para poder hallar el tiempo de coherencia usando la función de correlación. Leímos en muchos cuadernos que para estas mediciones sacan la resistencia en paralela con el osciloscopio, no sabemos bien porque. Para estas mediciones dejamos dicha resistencia de 50 Ohm.

voltaje motor disco= 0.7V

frecuencia=3.38Hz (calculado con el periodo con un cronómetro del celular)

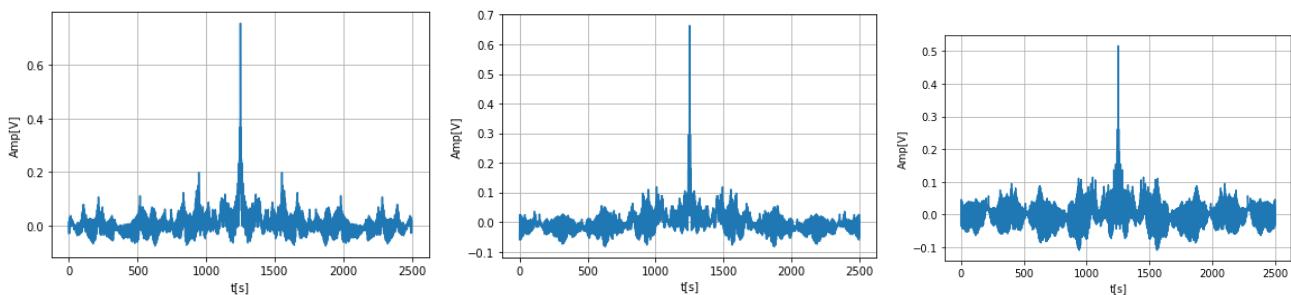
pol= 99°

voltaje alimentación pmt= (900+-25)V

N=100

escala temp= 1us

La autocorrelación para algunas pantallas dio así:



Como se puede ver el ancho de las campanas donde marca el tiempo de coherencia es muy fino haciendo que ahora entendamos pq es necesario tener que sacar la resistencia.

Medición 5: para medir el tiempo de coherencia con el osciloscopio pero sacando la resistencia y midiendo la señal directa.

voltaje motor disco= 0.7V

frecuencia angular=(3.3+-0.1)Hz

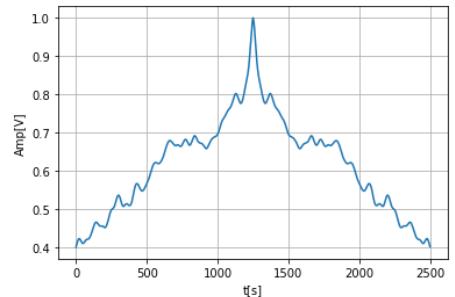
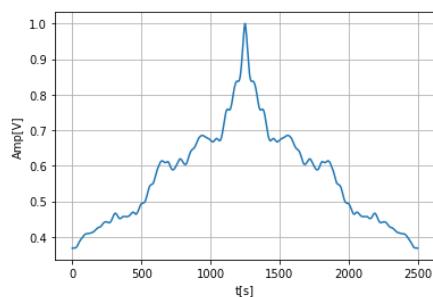
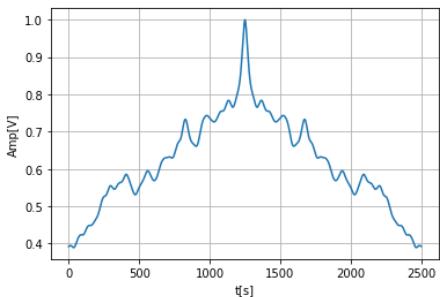
pol= 99°

voltaje alimentación pmt= (900+-25)V

N=100

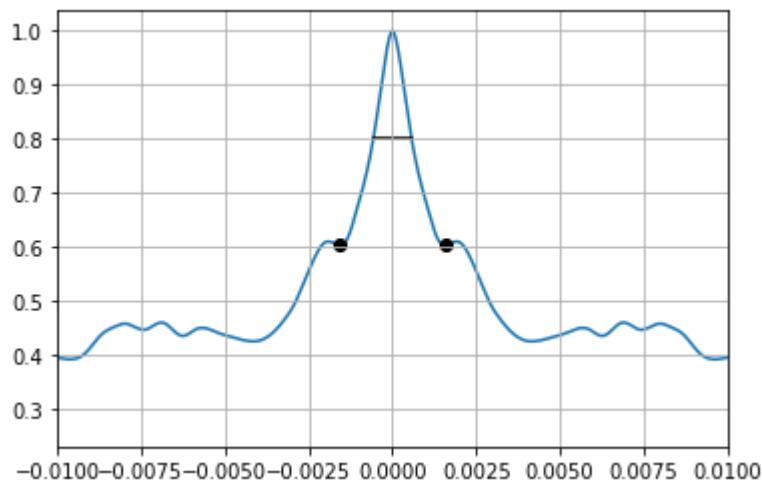
escala temp= 1ms

escala V=20V



(*)Normalizamos las funciones dividiendo por el número mayor.

Haciendo de esta manera obtenemos :



$$tc (0.001 +- 0.0003)s = (1+-0.3)ms$$

Medición 6: cambiamos la resistencia de entrada para ver como cambia la función de autocorrelación R= 97kOhm

voltaje motor disco= 0.7V

frecuencia angular=(3.3+-0.1)Hz

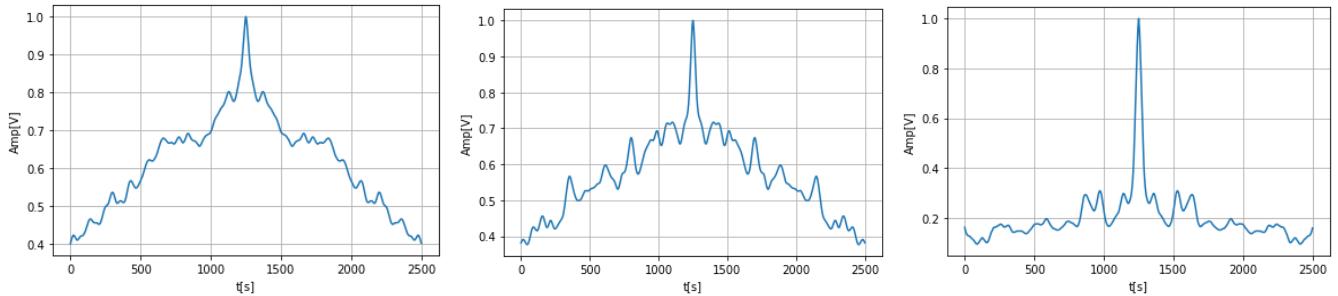
pol= 99°

voltaje alimentación pmt= (900+-25)V

N=100

escala temp= 5ms

escala V=5V



A ojo, haciendo zoom sobre los picos, observamos que el tiempo de coherencia ronda los 1ms. Este tiempo se toma midiendo el ancho del pico principal a la altura mitad.

Medición 7: se espera estar en el rango de BE ($T \ll tc$) (2 ordenes menos)

R=50ohms

voltaje motor disco= 0.7V

frecuencia angular=(3.3+-0.1)Hz

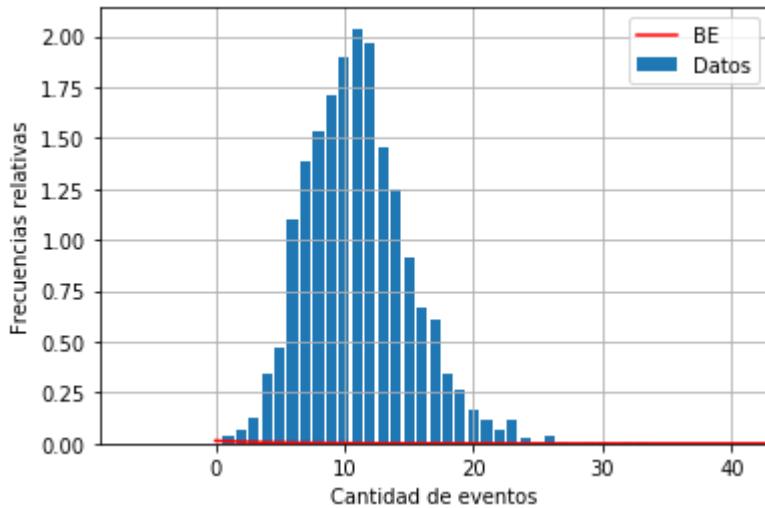
pol= 99°

voltaje alimentación pmt= (900+-25)V

N=1500

escala temp= 1μs

escala V=50mV



Medición 8: para ver poisson Vimos que estamos en el límite dado que ($T \approx tc$)

R=50ohms

voltaje motor disco= 0.7V

frecuencia angular=(3.3+-0.1)Hz

pol= 99°

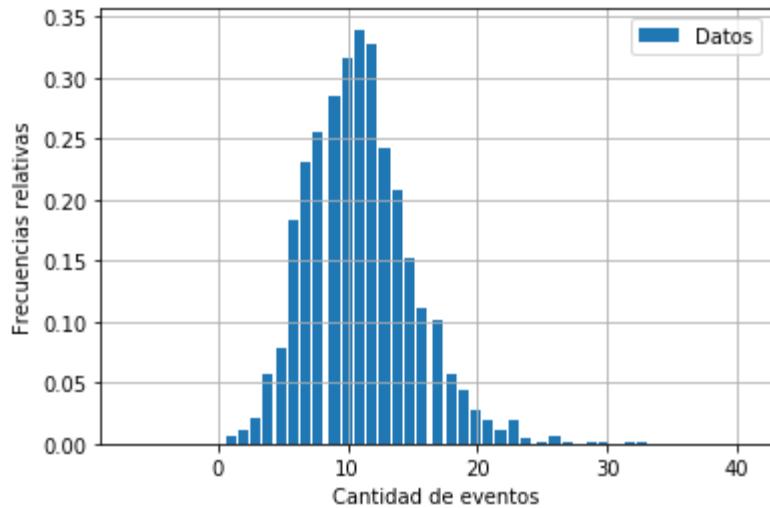
voltaje alimentación pmt= (900+-25)V

N=1500

escala temp= 50ms

escala V=50mV

OJO: Con esta escala temporal estamos medio en el límite para ver BE, se 'mezcla' con Poisson}



Medición 9: para ver bose-einstein (3 órdenes menos)

R=50ohms

voltaje motor disco= 0.7V

frecuencia angular=(3.3+-0.1)Hz

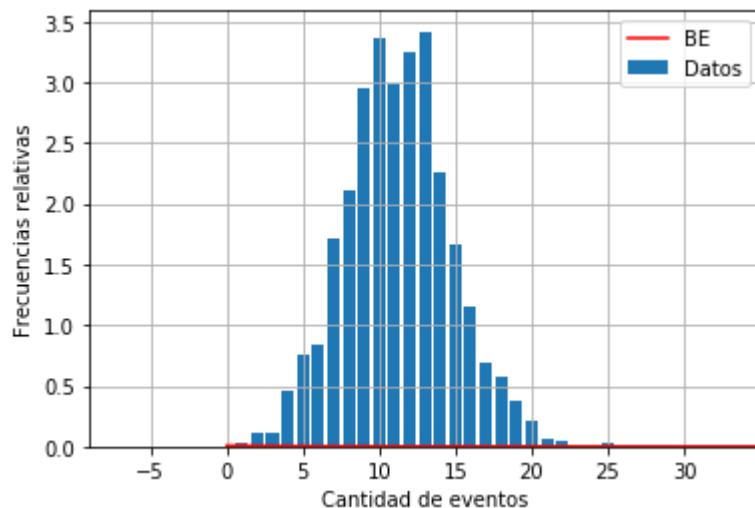
pol= 99°

voltaje alimentación pmt= (900+-25)V

N=1500 1263 debido a falta de tiempo

escala temp=2 50ns

escala V=50mV



La campana que se forma es demasiado simétrica.

Si bien podíamos ir más abajo en escala que 250ns ya que el osciloscopio lo permite, lo probamos a ojo y no captaba casi ningún fotón.

Día 4: 21/02/20

El objetivo es ver la distribución de Bose-Einstein. Como la vez pasada teníamos un TC=1us y a escala 250ns aun así no se apreciaba la distribución, vamos a aumentar la velocidad de rotación para que aumente el TC y nos permita bajar más en escala.

Medición 10: queremos cambiar el tiempo de coherencia

R=sin

voltaje motor disco= 1.3V

periodo=(0.75+-0.05)s

frecuencia angular= (8.38 +- 0.2) Hz

pol=

voltaje alimentación pmt= (900+-25)V

N=100

escala temp= 5ms

escala V=1V

tc (0.0006+- 7.7e-05)s=(0.6+-0.08)ms

Medición 11: queremos cambiar el tiempo de coherencia

R=sin

voltaje motor disco= 2.0V

periodo= (0.45+-0.05)s

frecuencia angular=(14.0+-0.3) Hz

pol=

voltaje alimentación pmt= (900+-25)V

N=100

escala temp= 5ms

escala V=1V

tc (0.0005 +- 8.1e-05)s=(0.5+- 0.08)ms

Medición 12: Volvemos a las condiciones del dia anterior dado que no estamos logrando poder aumentar mas que ms el tiempo de coherencia.

R=sin

voltaje motor disco= 0.7V

periodo= (1.80+-0.06)s

frecuencia angular=(3.49 +- 0.07)Hz

pol= si

voltaje alimentación pmt= (900+-25)V

N=100

escala temp= 5ms

escala V=5V

tc (0.001 +- 0.0005)s=(1+-0.5)ms

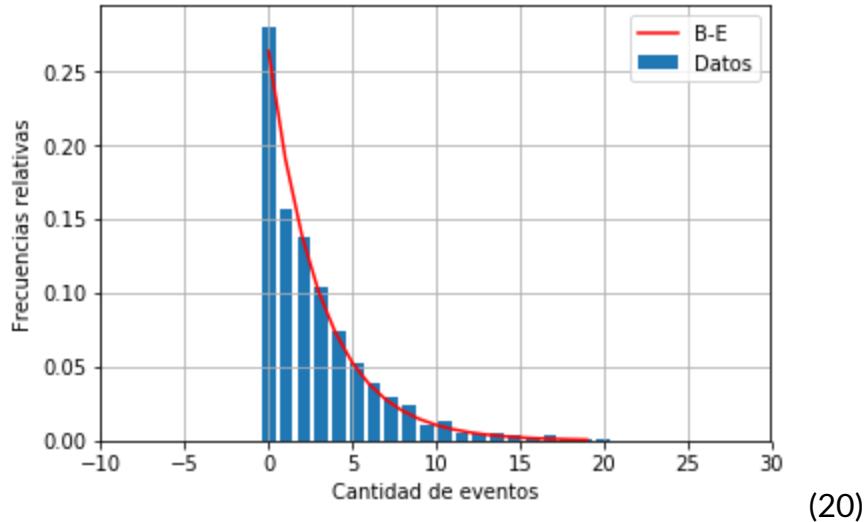
Medición 13: Ahora sí buscamos B-E. Sacamos filtro y polarizador para aumentar la intensidad y por ende detectar más picos en tiempos más chicos.

R=50ohm

voltaje motor disco= 0.7V

periodo= (1.80+-0.06)s

frecuencia angular=3.49Hz
 pol= no
 voltaje alimentación pmt= (900+-25)V
 N=1500
 escala temp= 100ns
 escala V=5mV



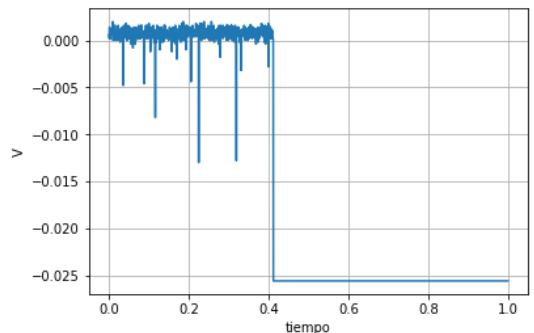
(20)

lambda 2.78947007325996 lambda std 0.10840643811661237

Medición 14: Ahora sí buscamos Poisson. Volvemos a poner los filtros y el polarizador

R=50ohm
 voltaje motor disco= 0.7V
 periodo= (1.80+-0.06)s
 frecuencia angular=3.49Hz
 pol= no
 voltaje alimentación pmt= (900+-25)V
 N=1500
 escala temp= 100ms
 escala V=5mV

estas mediciones salieron mal. La pantalla del osciloscopio obtenidas se ven así:



Pasó con esta medición que tardaba en leer el osciloscopio, cortando las mediciones a la mitad. Por tanto no podemos ir >>TC

Medición 15: Falló a 100ms, lo verificamos a 500ms

R=50ohm
 voltaje motor disco= 0.7V
 periodo= (1.80+-0.06)s
 frecuencia angular=3.49Hz

pol= no

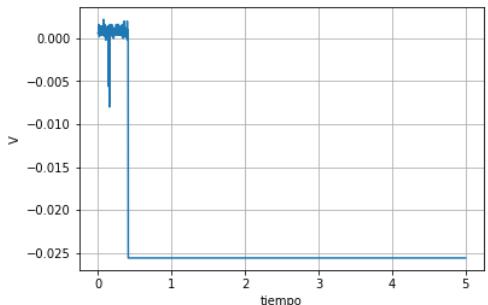
voltaje alimentación pmt= (900+-25)V

N=100

escala temp= 500ms

escala V=5mV

Efectivamente corta por tiempo de lectura de osciloscopio:



Así que ahora medimos en $T > T_c$

Medición 16: no pudimos $T > T_c$ entonces hacemos $T > T_c$ tal que el osciloscopio lea bien, entero

R=50ohm

voltaje motor disco= 0.7V

periodo= (1.80+-0.06)s

frecuencia angular=3.49Hz

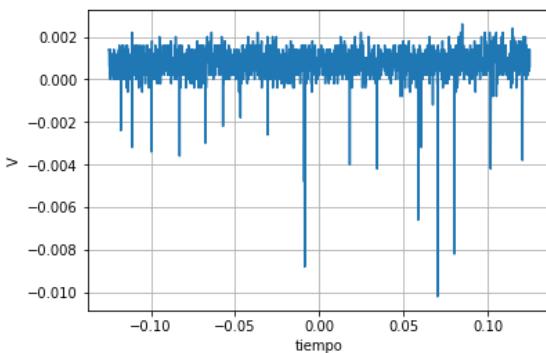
pol= no

voltaje alimentación pmt= (900+-25)V

N=1500

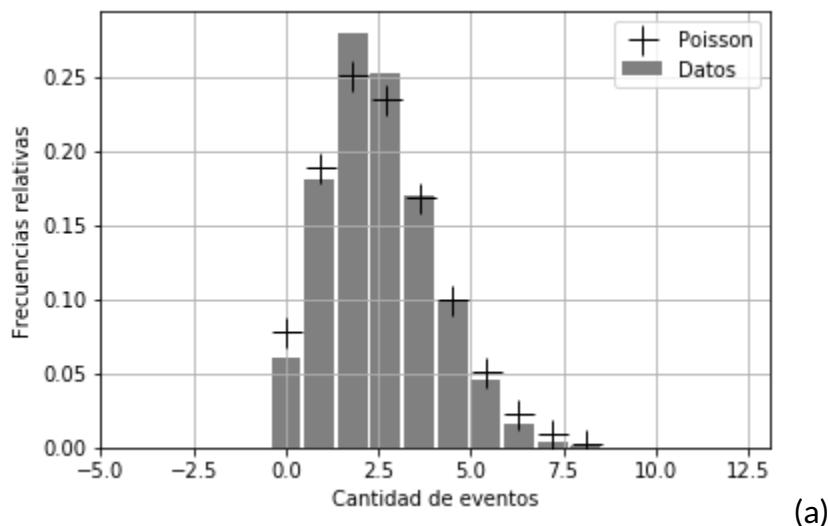
escala temp= 25ms

escala V=5mV



Ahora las mediciones ya son normales:

Y la distribución es:



(a)

lambda 2.54 std 0.07

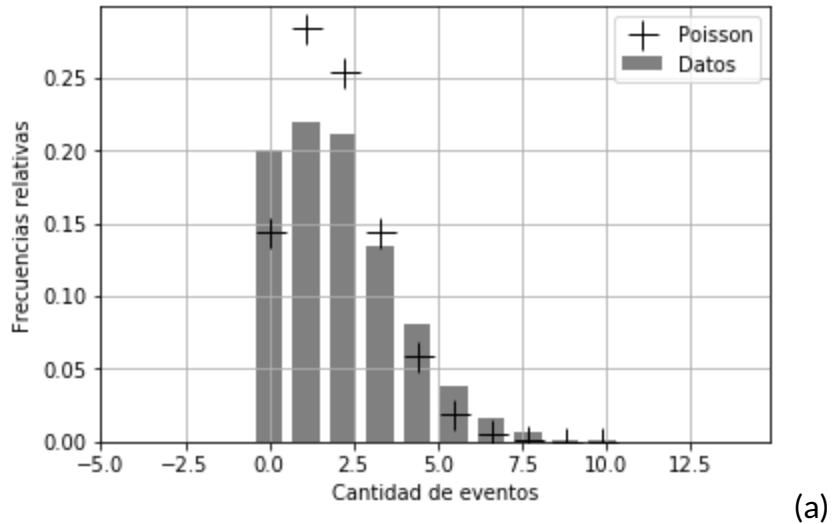
Medición 17: Probamos $T=T_c$

R=50ohm

voltaje motor disco= 0.7V

periodo= (1.80+-0.06)s

frecuencia angular=3.49Hz
 pol= no
 voltaje alimentación pmt= (900+-25)V
 N=1500
 escala temp= 1ms
 escala V=5mV



(a)

lambda 1.94 lambda std 0.15

Medición 18: medimos tiempo de coherencia otra vez, porque cambiamos el voltaje de la fuente y queremos chequear que no se movió ningún otro parámetro

R=50ohm
 voltaje motor disco= 0.7V
 periodo= (1.80+-0.06)s
 frecuencia angular=3.49Hz
 pol= no
 voltaje alimentación pmt= (900+-25)V
 N=1500
 escala temp= 5ms
 escala V=200mV

Grupo 5:

Nicolás Abate, Lara Schwartzman y Julián Toro

comentarios, preguntas, correcciones de los docentes en magenta

Clase 1

Comenzamos prendiendo el láser ya que leímos en un cuaderno previo que tarda media hora en estabilizar. Además, hablamos con el grupo anterior y nos pasaron sus códigos en python funcionando. El montaje experimental estaba listo para medir la distribución de Poisson (ya que tenía el vidrio esmerilado puesto), como se ve en la Figura 1.

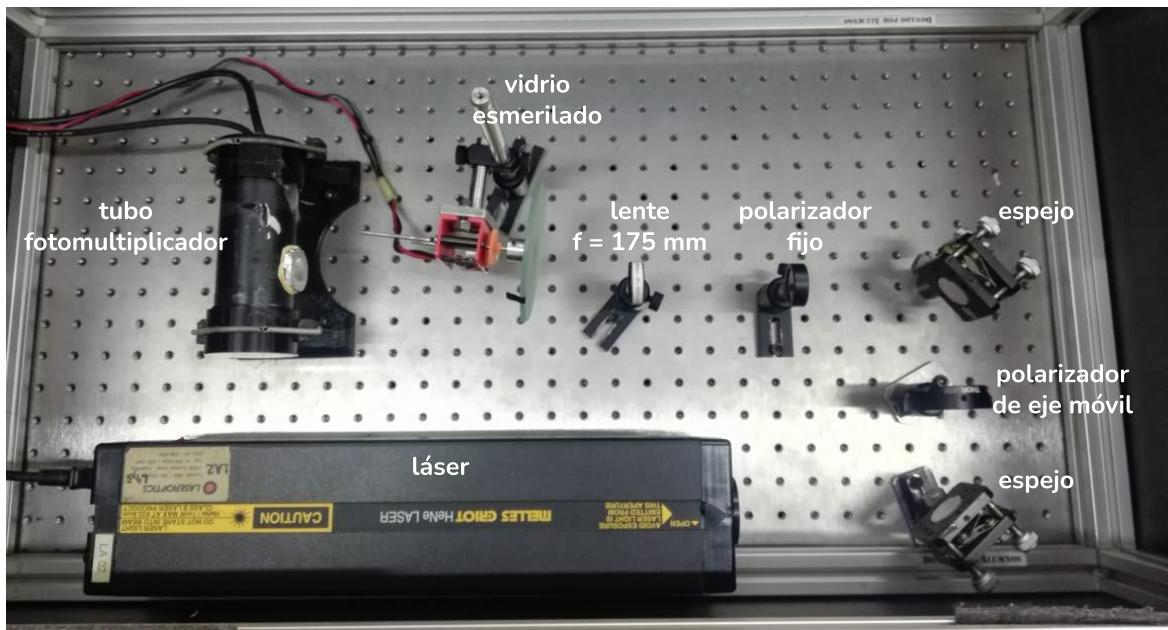


Figura 1: montaje experimental para medir una distribución Poissoniana en los fotones.

El láser está conectado a la corriente, mientras que el PMT se conecta al osciloscopio y a una fuente de alta tensión, a $(900 \pm 30)V$.

Comenzamos tomando 20 capturas de pantalla del osciloscopio para observar las mediciones, habiendo sacado el vidrio esmerilado. Al superponerlas notamos el ruido del que comentan en los demás cuadernos, con algunos picos ocasionalmente, correspondientes a la detección de fotones. A continuación, tomamos 1500 mediciones a escala 100 ns, para filtrar el ruido vamos a realizar un histograma con todos los mínimos de todos los conjuntos de mediciones, luego deberíamos observar dos campanas, y el punto de resolución entre ambas será el threshold tomado. Además, medimos 500 veces más con el láser obturado para levantar únicamente el ruido y extraer el ínfimo de los mínimos como un estimador alternativo para el threshold, estimamos a partir de allí que el threshold ronda los $(-0,004 \pm 0,001)V$.

El resultado de estas mediciones se presenta en la Figura 2, allí vemos que la distribución de mínimos casi no difiere de la distribución de ruido, lo que quiere decir que tomamos muy pocos fotones para observar la distribución de Poisson correspondiente a éstos.

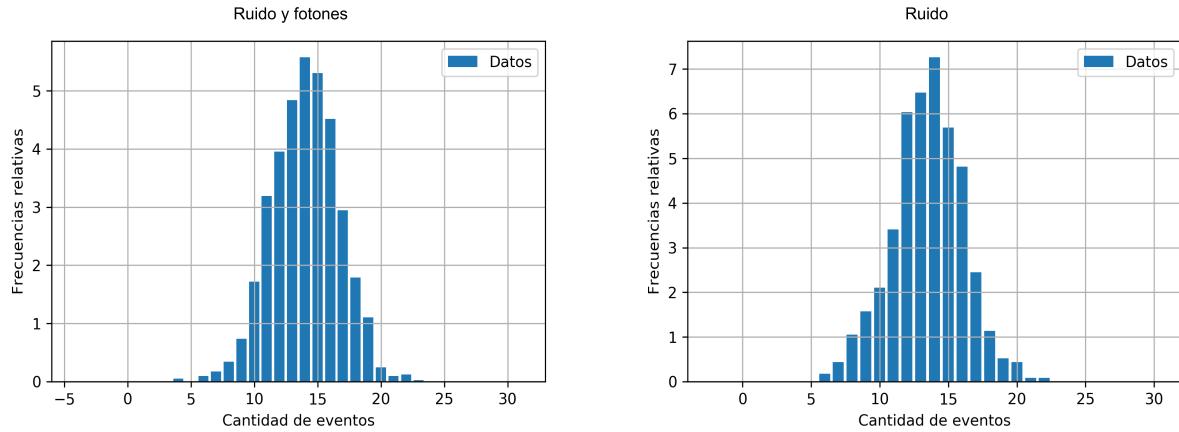


Figura 2: histograma de los mínimos de las primeras 1500 mediciones (izquierda), histograma de los mínimos de las 500 mediciones de ruido (derecha)

Para medir la distribución Bose-Einstein agregamos la rueda de vidrio conectada a una fuente a $(0,7 \pm 0,1)V$, esto genera una fuente pseudo térmica que aumenta el tiempo de coherencia de los fotones en forma artificial y por lo tanto deja en evidencia la correlación entre los mismos.

En primer lugar, estimaremos el nuevo tiempo de coherencia para saber qué escala utilizar en el osciloscopio. Siguiendo sugerencias del grupo previo, no lo haremos utilizando el método de imágenes, sino que usamos la función de autocorrelación sobre la cual medimos el ancho de la campana, el cual correspondería al tiempo de coherencia. Medimos configurando el osciloscopio en la escala temporal de 1us. Observamos que el valor medio, alrededor de los 1,5 eventos, como se puede ver en la Figura 3, es demasiado bajo para observar esta distribución ya que se encuentra cerca del rango de la distribución poissoniana, luego deberíamos aumentar la intensidad.

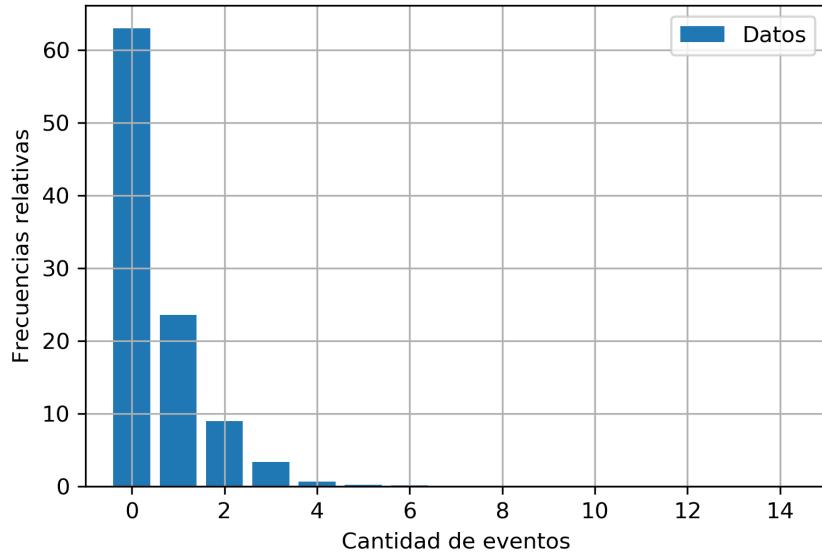


Figura 3: distribución Bose-Einstein.

Finalmente, volvimos a tomar datos de la distribución poissoniana, ahora rotando el polarizador para observar más fotones.

Clase 2

Tenemos la medición del threshold producto de medir únicamente el ruido, luego plotear su histograma y tomar el mínimo de voltaje, como se observa en la Figura 4.

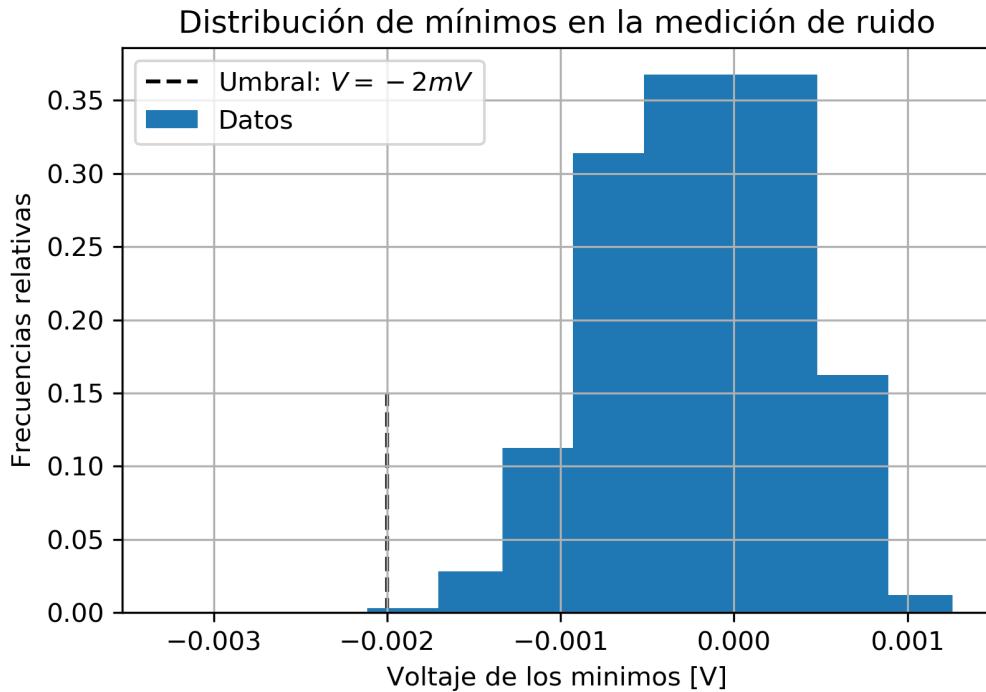


Figura 4: distribución de ruido con su umbral.

Comenzamos la clase repitiendo la medición de la distribución de Bose-Einstein, manipulando la intensidad sobre el PMT mediante la rotación del polarizador. Colocamos el ángulo en nuestro montaje experimental a $(300 \pm 2)^\circ$, encendimos el motor del vidrio esmerilado con la fuente a $(0,7 \pm 0,1)V$, y medimos con $N=1000$ con la escala temporal en 1 us (alrededor de tres órdenes menor que el tiempo de coherencia), conociendo de los resultados de otros grupos. Obtuvimos una distribución en el límite entre Poisson y Bose-Einstein, luego calculamos el tiempo de coherencia (con las mismas características pero sin la resistencia, tal como indicaba un cuaderno anterior) utilizando nuestro setup y nos dió en el orden de los milisegundos.

Tomamos una medición de $N=1500$ y escala temporal de 100 ns, con el polarizador en $(320 \pm 2)^\circ$, con el objetivo de observar Bose-Einstein. El resultado se muestra en la Figura 5, en donde claramente se observa que la distribución, si bien en el límite entre ambas, corresponde más a una distribución de Poisson que a una B-E.

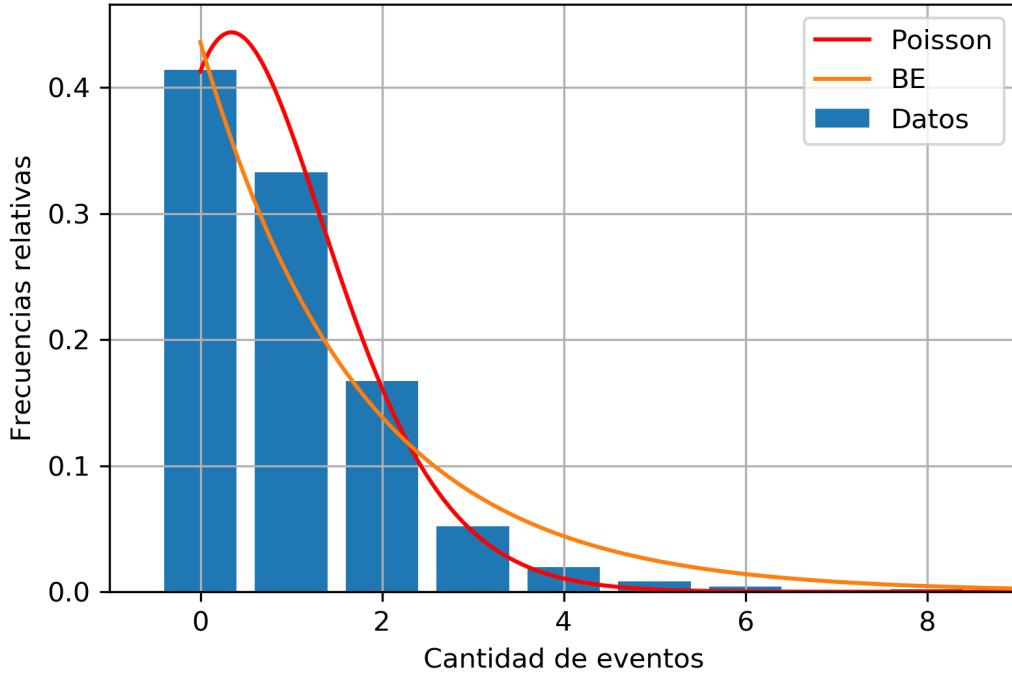


Figura 5: histograma de las 1500 mediciones con escala temporal de 100 ns, ajustada por cada distribución posible.

Ahora probamos hacer una medición sin el polarizador y el atenuador, para aumentar la intensidad en el setup, con 50ns y N=1000. Volvió a dar una distribución de Poisson.

Modificamos el setup experimental, alejando el vidrio esmerilado y la lente (separados por $(6,0 \pm 0,5)$ cm) para que los puntos del patrón de speckle fuesen más grandes, repetimos las mediciones con el vidrio rotando a 0,25 vueltas por segundo, lo cual corresponde a $(0,4 \pm 0,1)V$ en la fuente. Sacamos la resistencia para volver a estimar el tiempo de coherencia, el cual resultó 2ms aproximadamente. Luego, volvimos a colocar la resistencia para sensar B-E, con N=1500, con escala temporal de 500 ns. Volvió a dar Poissoniano. Repetimos con una escala temporal de 250 ns y el resultado fue análogo, como se puede ver en la Figura 6.

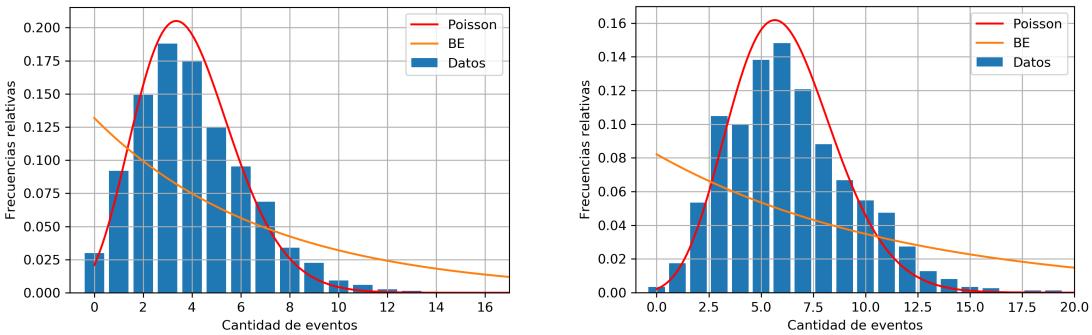
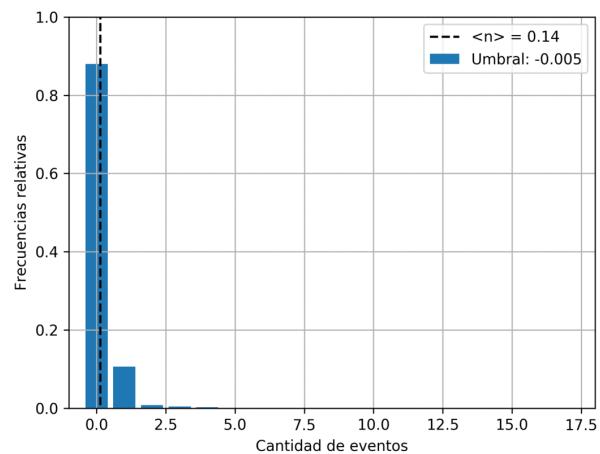
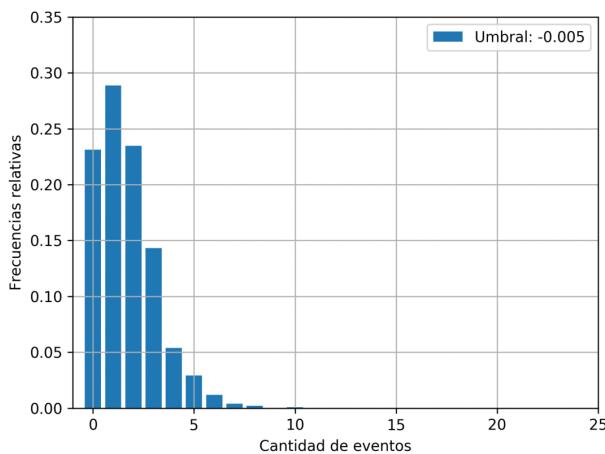


Figura 6: distribución de fotones para una resolución temporal de 250 ns (izquierda) y 500 ns (derecha), con los ajustes para Poisson y Bose-Einstein.

La próxima clase lo primero que haremos es medir en resolución temporal más baja y más alta que en el rango medido hoy para, en todo caso, caracterizar la transición entre ambos rangos.

Clase 3

La profesora nos dijo, a partir de releer el paper, que bajáramos aún más la escala temporal para llegar a 4 órdenes de diferencia con el tiempo de coherencia estimado. A su vez, nos sugirió que realizaramos un barrido en el umbral con algún conjunto de mediciones para verificar que no sean interferencias del ruido las que arruinan los datos. Repetimos la medición con el último montaje de la clase pasada, el vidrio esmerilado rotando con su fuente a $(0, 4 \pm 0, 1)$ V, ubicado en el foco de la lente (separados por $(6, 0 \pm 0, 5)$ cm aproximadamente), sin lente ni polarizador, con escala temporal de 10 ns.



En los anteriores gifs podemos ver la variación de umbral para los datos tomados en la escala de 250 ns (izquierda) y en la de 25 ns (derecha). En la escala más baja podemos ver, sobre todo para los umbrales en el rango de -0,001 V, que el ruido ingresa como cantidad de eventos mucho mayor que la observada para valores de umbral por debajo de -0,002 V, lo que quiere decir que probablemente estamos observando una distribución de Bose-Einstein para una escala correspondiente a medir en los 4 órdenes de magnitud de diferencia respecto del tiempo de coherencia. Como análisis, podemos calcular las predicciones de media para la distribución de Poisson y para la de Bose-Einstein para observar cómo se empieza a meter el ruido en las mediciones.

A continuación nos dedicamos a caracterizar la distribución de Poisson en su totalidad. Comenzamos con fijar una intensidad del láser de He-Ne, volvimos a colocar el filtro y el polarizador a $(210 \pm 2)^\circ$ (teniendo en cuenta que los ejes se alinean a los 126° aproximadamente), sacando la lente. Medimos en las escalas de 100 ns, 1 us, 10 us, 100 us, 1 ms, 10 ms. Por último, tomamos una medición sin la resistencia para calcular el tiempo de coherencia de este conjunto de mediciones

Clase 4

En esta clase nos propusimos estudiar la intensidad del láser junto con su distribución para distintos ángulos del polarizador, es decir para distintas intensidades.

Para ello agregamos una pieza de vidrio de manera tal que se reflejara una parte y otro porcentaje de la intensidad total fuera reflejado hacia un fotodiodo conectado al osciloscopio. Tomamos 1500 mediciones con una escala temporal de 1 us y cada 100 de éstas levantamos una medición de intensidad con el fotodiodo.

Medicion 1: Angulo 203

Medicon 2: Angulo 210

Medicion 1(250ns): Angulo 200

Medicion 2(250ns): Angulo 204

Medicion 3(250ns): Angulo 208

Medicion 4(250ns): Angulo 212