

Universidad de Nariño
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Física



**Diseño de una guía de laboratorio para fotomultiplicadores
aplicado a radiación electromagnética**

TRABAJO DE GRADO

Para optar por el título profesional de:

Físico

Dario Esteban Botina Rosero

San Juan de Pasto, Colombia
25 de octubre de 2023

Universidad de Nariño
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Física

**Diseño de una guía de laboratorio para fotomultiplicadores
aplicado a radiación electromagnética**

Dario Esteban Botina Rosero

TRABAJO DE GRADO

Director:

Cesar Rendon Hinestroza

San Juan de Pasto, Colombia
25 de octubre de 2023

©2023 - Dario Esteban Botina Rosero

«Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusiva de los autores»

Artículo 1. del acuerdo No. 324 del 11 de Octubre de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

Todos los derechos reservados.

Nota de Aceptación

Director

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, Diciembre 2023

Agradecimientos

En el transcurso de este arduo viaje académico, me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a dos personas que han sido pilares fundamentales en mi vida: mis padres. Su amor, apoyo inquebrantable y sacrificios innumerables han sido el faro que ha guiado mis pasos a lo largo de esta travesía. Sin su constante aliento y creencia en mí, este logro jamás habría sido posible.

Además, quiero dedicar este logro a mi hija, quien ha sido mi fuente de inspiración constante. Cada día, su futuro me ha impulsado a superar obstáculos, perseverar y dar lo mejor de mí. Este trabajo es un testimonio de mi determinación por construir un mundo mejor para ella.

A mis padres y a mi hija, les dedico este logro con todo mi amor y gratitud. Gracias por ser mi razón para esforzarme y por ser los cimientos de mi éxito. Este logro es nuestro, y estoy emocionado por lo que el futuro nos depara juntos.

Resumen

En este trabajo, se desarrolla una práctica de laboratorio enfocada en la física moderna, utilizando instrumentos como el osciloscopio, la fuente lineal, el fotomultiplicador y el digitalizador proporcionados por la Universidad de Nariño. La práctica se centra en la adquisición de datos de voltajes, corrientes y señales de fotomultiplicadores expuestos a radiación electromagnética. Presentamos la caracterización detallada de los equipos necesarios para el proceso de recolección de datos, así como los pasos concretos del montaje experimental, que implica la exposición de los fotomultiplicadores a una fuente de radiación. Este procedimiento se realiza mediante la digitalización de la señal analógica generada por los fotomultiplicadores, lo que permite la visualización de la respuesta a la radiación. La creación de esta guía de laboratorio sienta las bases para que tanto estudiantes como profesionales en la Universidad de Nariño puedan reproducir este experimento, y además, se convierte en una referencia bibliográfica para futuras investigaciones o prácticas de laboratorio en los campos de circuitos eléctricos, fotónica y física moderna.

Palabras Claves: Fotomultiplicador, física moderna, fotónica, guía de laboratorio.

Abstrac

In this work, a laboratory practice focused on modern physics is developed, using instruments such as the oscilloscope, the line source, the photomultiplier and the digitizer provided by the University of Nariño. The practice focuses on the acquisition of data of voltages, currents and signals from photomultipliers exposed to electromagnetic radiation. We present the detailed characterization of the equipment necessary for the data collection process, as well as the specific steps of the experimental setup, which involves exposing the photomultipliers to a radiation source. This procedure is carried out by digitizing the analog signal generated by the photomultipliers, which allows visualization of the response to radiation. The creation of this laboratory guide lays the foundation so that both students and professionals at the University of Nariño can reproduce this experiment, and also becomes a bibliographic reference for future research or laboratory practices in the fields of electrical circuits, photonics. and modern physics.

Palabras Claves: Photomultiplier, modern physics, photonics, laboratory guide

Contenido

Aceptación	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
Abstrac	V
Glosario	X
1. Introducción	1
2. Marco Referencial	3
3. Procedimiento	7
4. Resultados	9
4.1. Instrumentación	9
4.1.1. Osciloscopio digital serie SDS2000X UM0102X-E01A	9
4.1.2. Fuente de alimentación CC lineal PWS2721	22
4.1.3. Digitalizador FemtoDAQ LV-2	27
4.1.4. Fotomultiplicador Hamamatsu MPPC serie S13360-3025CS	43
5. Guía de laboratorio	47
5.1. Aplicación de la guía de Laboratorio	55
6. Análisis guía de laboratorio	60
7. Conclusiones	75

Índice de figuras

2.0.1. Misael Rosales University of the Andes (Venezuela) ULA · Department of Physics. experimento- Carmen-b	3
2.0.2. William R. Leo. Techniques For Nuclear And Particle Physics Experiments	5
4.1.1. SDS2000X Series Digital Oscilloscope UM0102X-E01A. Extraído guía de usuario SDS2000X Series Digital Oscilloscope UM0102X-E01A.	9
4.1.2. colocación estable del osciloscopio, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X . .	11
4.1.3. alimentación de corriente alterna, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X . . .	12
4.1.4. tecla de encendido, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X	12
4.1.5. terminales	13
4.1.6. onda cuadrada, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X	13
4.1.7. formas de onda, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X	14
4.1.8. vista frontal, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X	14
4.1.9. vista posterior, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X	16
4.1.10. Control horizontal	17
4.1.11. Control vertical	17
4.1.12. Control vertical de referencia	18
4.1.13. Control de disparo	19
4.1.14. Configuración	19
4.1.15. Perilla universal	20
4.1.16. menú	20
4.1.17. Fuente de alimentación CC lineal PWS2721. Extraído guía de usuario Fuente de alimenta- ción CC lineal PWS2721.	22
4.1.18. Indicadores pantalla del panel frontal, extraído manual de usuario Fuente de alimentación CC lineal PWS2721	23
4.1.19. Conexión ruido de voltaje, extraído del manual de usuario Fuente de alimentación CC lineal PWS2721	25
4.1.20. Conexión ruido actual, extraído del manual de usuario Fuente de alimentación CC lineal PWS2721	26
4.1.21. FemtoDAQ LV-2. Extraído guía de usuario FemtoDAQ LV-2.	27
4.1.22. Panel frontal, extraído manual de usuario FemtoDAQ LV-2	28
4.1.23. Panel trasero, extraído manual de usuario FemtoDAQ LV-2	30
4.1.24. Interfaz Win32DiskImager	32
4.1.25. Interfaz Win32DiskImager	32
4.1.26. Administrador de dispositivos	34
4.1.27. Opciones Administrador de dispositivos	34
4.1.28. Selección de controladores	35

4.1.29	Configuración PuTTY	36
4.1.30	Ventana interfaz gráfica de usuario(GUI)	37
4.1.31	Forma de onda de única captura para un láser rojo	39
4.1.32	Interfaz gráfica de Filezilla	41
4.1.33	Histograma para un láser rojo, captura de 2s	42
4.1.34	Fotomultiplicador MPPC serie S13360-3025CS. Extraído guía de usuario Hamamatsu MPPC serie S13360.	43
4.1.35	Conexión Fotomultiplicador. Extraído guía de usuario Hamamatsu MPPC serie S13360.	45
5.0.1	Misael Rosales University of the Andes (Venezuela) ULA · Department of Physics. experimento-Carmen-b	50
5.0.2	Y. Oda. Sistemas de detección de partículas basados en fotomultiplicadores con matriz de Silicio, con aplicaciones a muongrafías de volcanes. Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, 2016.	51
5.0.3	Nadia W. Brzostowicz. Caracterización de un detector de centelleo de última generación de LaCl3(Ce). centros de investigación asociados al CSIC.	51
5.0.4	Circuito amplificador	52
5.0.5	Montaje del experimento	53
5.1.1	Montaje resistencia de potencia	55
5.1.2	Montaje láser rojo	56
5.1.3	Montaje circuito amplificador	56
5.1.4	Verificación de señal de salida.	57
5.1.5	Fotomultiplicador expuesto a un láser rojo	57
6.0.1	Forma de onda de única captura señal ruido-luz natural	60
6.0.2	Forma de onda de única captura láser rojo	61
6.0.3	Histograma captura de 3s láser rojo	62
6.0.4	Respuesta captura de 3s láser rojo	62
6.0.5	Histograma captura de 3s láser verde	64
6.0.6	Respuesta captura de 3s láser verde	64
6.0.7	Histograma captura de 2s láser rojo	66
6.0.8	Respuesta captura de 2s láser rojo	66
6.0.9	Histograma captura de 2s láser verde	68
6.0.10	Respuesta captura de 2s láser verde	68
6.0.11	Histograma captura de 1s láser rojo	70
6.0.12	Respuesta captura de 1s láser rojo	70
6.0.13	Histograma captura de 1s láser verde	71
6.0.14	Respuesta captura de 1s láser verde	72

Índice de tablas

6.0.1.Histograma láser rojo 3s	63
6.0.2.Histograma láser verde 3s	65
6.0.3.Histograma láser rojo 2s	67
6.0.4.Histograma láser verde 2s	69
6.0.5.Histograma láser rojo 1s	71
6.0.6.Histograma láser verde 1s	73

Glosario

Fotomultiplicador: Un dispositivo fotosensible que amplifica la señal de luz incidente, convirtiendo fotones en corriente eléctrica. Se utiliza en aplicaciones de detección de luz débil, como en experimentos de física de partículas y en la detección de radiación.

Guía de laboratorio: Un documento que proporciona instrucciones detalladas y pasos a seguir para llevar a cabo una práctica experimental en un entorno de laboratorio.

Fotónica: El estudio y la aplicación de la generación, detección y manipulación de la luz y otras formas de radiación electromagnética.

Digitalizador: Un dispositivo que convierte señales analógicas en datos digitales. Por ejemplo, en el contexto de imágenes, un digitalizador transforma una imagen impresa o dibujada en una representación digital que se puede manipular en una computadora.

Osciloscopio: Un instrumento de medición electrónico que muestra gráficamente la forma de onda de señales eléctricas en función del tiempo.

Fuente de voltaje: Un dispositivo que proporciona una diferencia de potencial eléctrico constante entre dos puntos, lo que permite la generación de corriente eléctrica en un circuito.

Digitalización: El proceso de convertir información analógica (como una señal eléctrica continua) en formato digital, que se representa en forma de valores discretos.

Capítulo 1

Introducción

La Universidad de Nariño requiere la implementación de metodologías aplicadas a la enseñanza de la física y a la investigación. Una de las herramientas principalmente usadas por la institución para la enseñanza y la investigación, son los laboratorios. El correcto funcionamiento de estos laboratorios y el aprovechamiento de los recursos disponibles permite generar espacios adecuados para la investigación científica, en caso contrario, el desarrollo de las investigaciones, se puede ver truncado por la falta de calibración de los equipos, la inexistencia de material bibliográfico y la poca experiencia o práctica que se presenta.

La carencia de material bibliográfico para el desarrollo de prácticas experimentales en la Universidad de Nariño, presenta un obstáculo para la correcta ejecución de las prácticas de laboratorio, uno de estos materiales son las guías, que constituyen una herramienta importante para la correcta ejecución de dichas prácticas y de ahí su importancia para que sean base de la enseñanza, la innovación y la investigación.

Es claro resaltar que el desarrollo correcto de prácticas experimentales se consolida como uno de los enfoques más importantes para la física y que permite el desarrollo en múltiples campos potenciando las investigaciones de estudiantes y profesionales. La recopilación de conocimientos es una de las ventajas de una guía de laboratorio de física moderna, permite recopilar y organizar de manera sistemática los conceptos y experimentos relevantes en este campo, esto facilita el acceso a la información y su comprensión por parte de los estudiantes y profesionales interesados. Por otra parte, la orientación práctica de la guía proporciona instrucciones detalladas sobre cómo realizar experimentos específicos en física moderna, esto ayuda a los estudiantes a comprender y aplicar los principios teóricos en un entorno práctico, fomentando así su comprensión y habilidades experimentales.

Como una de las contribuciones más importante que nos trae la elaboración de una guía de laboratorio, es lograr obtener los estándares de seguridad, se puede incluir pautas y protocolos de seguridad para garantizar que los experimentos se realicen de manera segura y adecuada, esto es especialmente importante en la física moderna, donde se utilizan equipos y materiales especializados.

Actualmente los laboratorios de física moderna de la Universidad de Nariño cuenta con equipos destinados a desarrollar prácticas de laboratorio, particularmente un osciloscopio, una fuente de alimentación lineal y fotomultiplicadores, elementos que de manera integrada permiten el desarrollo de prácticas experimentales en física moderna, particularmente en la detección y obtención de datos de fuentes de radiación.

Estos dispositivos no se encontraban en uso y no existía una guía de laboratorio que pudiese ser usada o que sea referente para ponerlos en funcionamiento, lo que generó la siguiente pregunta de investigación. ¿Cómo

generar una guía de laboratorio en física moderna que permita integrar dispositivos que no están en uso en el laboratorio de física de la Universidad de Nariño?

Con este proyecto se quiere integrar los recursos del laboratorio (osciloscopio, fuente de alimentación lineal, fotomultiplicadores, digitalizador) y ponerlos en operación para desarrollar prácticas de laboratorio usando como referente la guía de laboratorio que es el producto de este trabajo. Además, se espera que este trabajo sea una pauta a seguir para desarrollar futuras prácticas, debido a que modificaciones del montaje experimental permiten la obtención de otros tipo de datos o el estudio de otras partículas, dejando un campo de estudio muy amplio.

Estas razones, nos llevan a que la elaboración de una guía de laboratorio sea una herramienta de gran utilidad para las prácticas científicas. En el caso de la Universidad de Nariño no se tenían referentes sobre la práctica de laboratorio que se guía en este trabajo, lo que le da aún más importancia la obtención de la guía de laboratorio que se presenta.

De manera particular, en nuestro trabajo nos adentraremos en un proceso experimental de la física moderna en el que, dando uso al efecto fotoeléctrico, se realiza un montaje experimental con instrumentos del laboratorio de física, el cual nos permitirá detectar fotones de una fuente de radiación electromagnética. Es de notar que este montaje será fácilmente modificable en futuras variaciones y como resultado de este trabajo se pretende obtener una guía de laboratorio que facilite la comprensión de las conexiones de circuitos eléctricos, enfocados en los dispositivos electrónicos usados en esta práctica, la obtención de datos a través de captar partículas, el proceso foto multiplicación y el efecto fotoeléctrico.

Capítulo 2

Marco Referencial

Los fotomultiplicadores [1] son dispositivos electrónicos utilizados para detectar y amplificar la señal de luz en una amplia gama de aplicaciones científicas y técnicas. Consiste en una serie de etapas de amplificación en cascada que convierten la luz en corriente eléctrica amplificada.

El funcionamiento básico de un fotomultiplicador se explica y se basa en el efecto fotoeléctrico [2], cuando los fotones de luz inciden sobre una superficie fotosensible se genera una corriente eléctrica, donde el aumento en la frecuencia incrementa la energía cinética de los fotoelectrones, mientras que el aumento en la amplitud de la luz incrementa la corriente. Dentro del dispositivo, liberan electrones mediante la absorción de energía, estos electrones son acelerados y multiplicados mediante una serie de electrodos en el dispositivo, lo que resulta en una amplificación significativa de la corriente eléctrica generada.

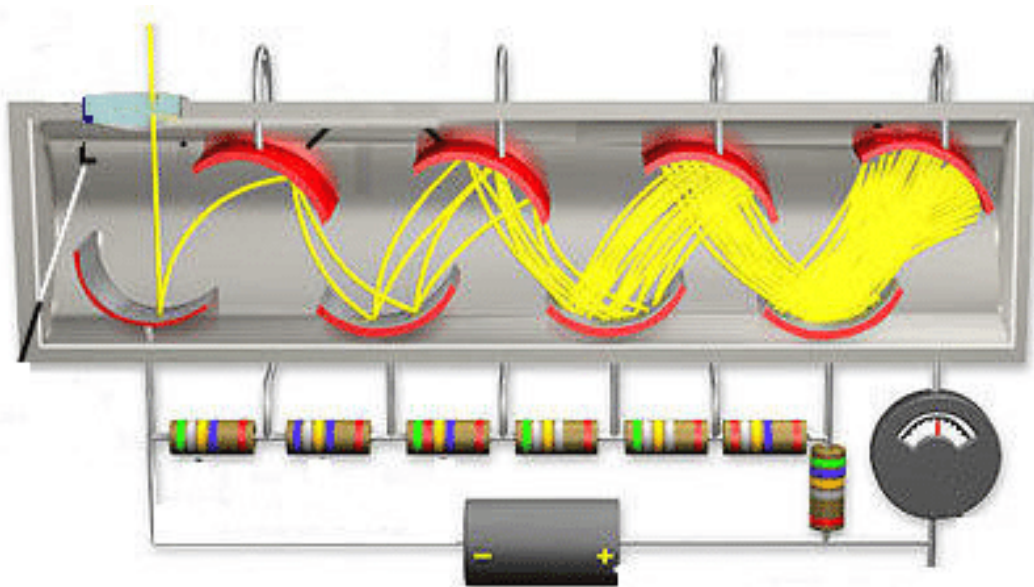


Figura 2.0.1: Misael Rosales University of the Andes (Venezuela) | ULA · Department of Physics. experimento-Carmen-b

La figura ejemplifica el proceso de fotomultiplicación dentro de un detector, aclarando que se refiere aun

fotomultiplicador de tubo en el que es mas fácil visualizar este proceso.

La estructura interna de un fotomultiplicador consta de una ventana de entrada que permite el paso de la luz, un fotocátodo que capta los fotones y permite que a través del efecto fotoeléctrico se genere una corriente de electrones, una serie de electrodos llamados dinodos que aceleran y multiplican los electrones y un ánodo que recolecta la corriente amplificada, suelen incluir elementos como un sistema de enfoque electrostático y una capa de material fosfórico para convertir la señal electrónica en una señal óptica visible, pero en nuestro caso nos interesa la señal electrónica que luego pasará por un proceso de digitalización.

La alta sensibilidad y capacidad de amplificación de los fotomultiplicadores los hacen ideales para detectar incluso niveles muy bajos de luz, lo que los convierte en una herramienta invaluable en muchas investigaciones científicas y aplicaciones tecnológicas siendo ampliamente utilizados en diversas áreas, como la física de partículas, la espectroscopía, la astronomía, la medicina nuclear o ciencias biológicas.

En nuestro montaje será usado el fotomultiplicador MPPC (referencia de los fotomultiplicadores de silicio de Hamamatsu) para mediciones de precisión, con área fotosensible de 3mm por 3mm ($9mm^2$) y distancia entre píxeles de $25\mu m$. La serie S13360 es un MPPC (SiPM o fotomultiplicadores de silicio por sus siglas en ingles) para mediciones de precisión. Son adecuados para prácticas interdisciplinarias, como citometría de flujo, secuenciador de ADN, microscopio láser y medición de fluorescencia, que requieren características de bajo ruido.

El proceso de digitalizar las señales de un fotomultiplicador hace referencia al proceso aplicado en el componente o sistema que convierte la señal analógica generada por el fotomultiplicador en una forma digital, es decir, en una señal compuesta por valores numéricos discretos que representan la amplitud de la señal original en intervalos de tiempo específicos.

Está digitalización de la señal del fotomultiplicador inicia por la amplificación y acondicionamiento de la señal, la señal analógica del fotomultiplicador generalmente es débil y de bajo nivel, por lo que puede requerir amplificación y acondicionamiento previo antes de la digitalización, dentro de este proceso se involucran etapas de amplificación, filtrado y ajuste de la ganancia para mejorar la relación señal-ruido y adaptar la señal a la respuesta del digitalizador.

Se debe definir el intervalo de muestreo y la frecuencia de muestreo como parámetros fundamentales que determinan la precisión y la resolución temporal de la señal digitalizada, en este punto, la señal analógica es muestreada a intervalos regulares de tiempo, tomando muestras de la señal en momentos específicos, capturando así su amplitud en esos instantes. Estas amplitudes obtenidas, se cuantifican asignándoles un valor numérico discreto, utilizando una escala predefinida con un número finito de niveles discretos para representar la amplitud de la señal. La precisión de la cuantificación está determinada por el número de bits utilizados para representar cada muestra, lo que afecta la resolución y el rango dinámico de la señal digitalizada.

Por último los valores cuantificados se codifican en un formato digital, generalmente en binario, para su posterior procesamiento. Este proceso es vital para la adquisición de datos y el análisis posterior de la señal detectada del fotomultiplicador.

El trabajo [3] muestra como mediante los valores de tensión en ADC (valores de conversión analógica) correspondientes a los pulsos generados por el fotomultiplicador y el proceso de digitalización, se puede obtener la forma de onda de pulsos consecutivos, esta forma de onda será usada para validar las formas de onda obtenidas en nuestro experimento.

En el libro [4] se explica como se debe producir la respuesta correcta para un proceso de fotomultiplicación y lo ejemplifica de manera gráfica. Además de tener información teórica, sobre detectores y particularmente

sobre fotomultiplicadores.

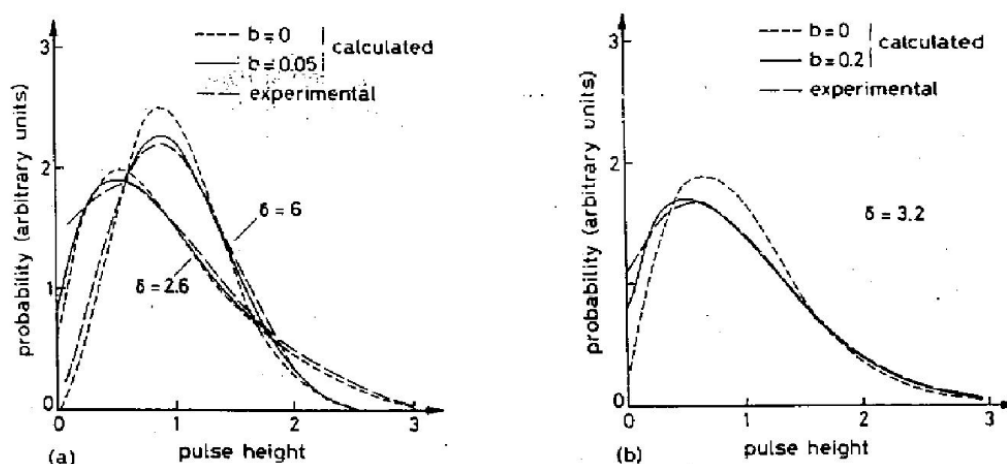


Figura 2.0.2: William R. Leo. Techniques For Nuclear And Particle Physics Experiments

Por su parte el trabajo [5] nos muestra como debe ser la respuesta de salida del amplificador, siendo la señal correcta para formar los histogramas de los valores de conversión digital (ADC). Será la base para validar las señales de salida de nuestro experimento.

La implementación de sistemas de detección de partículas de bajo costo nos permite ampliar las posibilidades de investigación y las aplicaciones que estas pueden tener. El montaje expuesto en este artículo [6] muestra un sistema de detección de partículas para fuentes centellantes, en nuestro caso aplicaremos una construcción similar para lograr generar un detector de fotones para una fuente de radiación electromagnética. Además el artículo se encuentra guiado a la enseñanza de la física, siendo acorde a nuestros resultados esperados, que es la obtención de una guía de laboratorio para nuestro montaje.

Los autores [6] presentan una descripción detallada de la construcción de un sistema básico de detección de partículas. Además, se presenta una comparación entre dos diseños de sistemas de detección de partículas usando como material de detección el centellador plástico. El primer sistema de detección consiste de una barra plástica centelladora con dos fotomultiplicadores de silicio, cada uno con área de 36 mm^2 (6mm por 6mm). El segundo sistema de detección consiste de una barra plástica centelladora, un fotomultiplicador de silicio con área de 9 mm^2 (3mm por 3mm), y una fibra óptica de corrimiento de longitud de onda ubicada dentro de la barra centelladora. La comparación entre los dos sistemas de detección favorece la segunda opción de diseño, que muestra más eficiencia en la detección de las partículas. La metodología descrita en este artículo puede ser aplicada en la enseñanza de la física de detectores de partículas elementales.

Igual que en nuestro montaje las partículas depositan energía en un material sensible y cómo esta energía es convertida en señal electrónica analógica para luego ser digitalizada, procesada y analizada. El método expuesto [6] presenta una metodología de fácil replicación, en el caso de este estudio se usó como material sensible el centellador plástico y como sistema de detección de luz los fotomultiplicadores de silicio. El desarrollo de estos prototipos y la viabilidad de ponerlos en marcha con ayuda de la guía de laboratorio que presentamos tiene el potencial de incrementar la experiencia de los estudiantes que pertenecen a grupos de investigación, para contribuir, en un futuro cercano, a diversos experimentos científicos avanzados en física de altas energías.

En este artículo los autores [7] consiguen caracterizar el contador de fotones multi píxel (MPPC) S13360-3050CS, un fotomultiplicador de silicio (SiPM) fabricado por Hamamatsu Photonics K.K. Las mediciones se obtuvieron dentro de una caja oscura hermética a la luz utilizando diodos emisores de luz. Se menciona que el detector es candidato para el telescopio de astronomía ultrarrápida (UFA) que caracterizará el cielo óptico en escalas de tiempo de milisegundos a nanosegundos. Uno de los objetivos del telescopio UFA será buscar contrapartes ópticas de ráfagas de radio rápidas (FRB) que se pueden usar para identificar los orígenes de FRB y sondear la reionización y la materia bariónica en los medios interestelar e intergaláctico. Lo que nos muestra el amplio espectro de aplicaciones que llega a tener los montajes aplicados a fotomultiplicadores.

El artículo [7] presenta información relevante de la caracterización de los fotomultiplicadores, así como del proceso de obtención y análisis de los datos, que permiten generar esta caracterización. Proceso muy similar a aplicar en nuestro montaje y lo que le permite ser referente para generar un correcto diseño para nuestra guía de laboratorio.

En este trabajo [8] se realiza una investigación sobre detectores de centelleo de conteo de fotones de rayos X con lectura de fotomultiplicador de silicio (SiPM), miden la tasa de recuento observada (OCR) frente a la corriente del tubo de rayos X para detectores de un solo píxel que consisten en centelleadores LYSO:Ce y YAP:Ce acoplados a SiPM ultrarrápido.

Es destacable que también los investigadores [8] muestran datos de respuesta energética y análisis de la miniaturización de píxeles con eficiencia de dosis, es un estudio que se aplica en el campo de la medicina y nos permite dejar la puerta abierta a futuras investigaciones que se apliquen a partir del trabajo que realizamos.

Para el desarrollo de nuestra practica experimental, necesitamos realizar la caracterización de los instrumentos mediante las guías de usuario de cada uno de los instrumentos. Con ayuda de esta guía de usuario [9] y con la manipulación directa del osciloscopio digital serie SDS2000X UM0102X-E01A se obtendrá la caracterización de este equipo.

Por su parte la guía de usuario [10] presenta instrucciones de configuración de la fuente de alimentación CC lineal PWS2721 y pruebas de ruido que serán implementadas en el montaje de los fotomultiplicadores. La manipulación directa y el apoyo de la guía permite obtener la caracterización de esta fuente.

La guía de usuario [11] nos indica las características básicas del digitalizador FemtoDAQ LV-2. Se debe manipular de manera directa el instrumento para lograr su configuración, caracterización y actualización.

La guía de usuario de los Fotomultiplicadores Hamamatsu MPPC serie S13360-3025CS [12] nos indica las características básicas de los fotomultiplicadores de la serie S13360, se debe manipular directamente el equipo para completar su caracterización.

En esta publicación [13] realizada en la Universidad de Nariño, los autores presentan unas guías de laboratorio de física básicas que han sido usadas para la formación académica de los estudiantes, estas guías fueron tomadas como referente de estructura para la formulación de la guía de laboratorio de este trabajo y será un referente para el tratamiento de los datos, que van a presentarse en esta práctica.

Capítulo 3

Procedimiento

Se usó la información de las guías de usuario y los datos sobre los dispositivos entregados por las empresas fabricantes de los equipos, para generar la caracterización de los mismos y se generó la sección de la guía en torno a la manipulación y conexión de los equipos. Este proceso dejó una serie de pasos que permite realizar la calibración de los equipos, en el laboratorio de física moderna de la Universidad de Nariño.

Los dispositivos electrónicos son utilizados para detectar y amplificar la señal de luz en una amplia gama de aplicaciones científicas y técnicas, consiste en una serie de etapas de amplificación en cascada que convierten la luz en corriente eléctrica amplificada.

Cuando los fotones de luz inciden sobre una superficie fotosensible dentro del dispositivo, liberan electrones mediante la absorción de energía, estos electrones son acelerados y multiplicados mediante una serie de electrodos en el dispositivo, lo que resulta en una amplificación significativa de la corriente eléctrica generada, este proceso genera una corriente analógica que debe pasar por un proceso de digitalización.

El proceso de digitalización de la señal del fotomultiplicador inicia por la amplificación y acondicionamiento de la señal, las señales analógicas del fotomultiplicador generalmente son débiles y de bajo nivel si no se realiza una correcta amplificación y acondicionamiento. En este paso se pueden involucrar etapas de amplificación, filtrado y ajuste de la ganancia para mejorar la relación señal-ruido, adaptar la señal a la respuesta del digitalizador y así lograr que una señal compuesta por valores numéricos discretos que representan la amplitud de la señal original en intervalos de tiempo específicos.

Se debe definir el intervalo de muestreo y la frecuencia de muestreo que determinan la precisión y la resolución temporal de la señal digitalizada, en este punto, la señal analógica es muestreada a intervalos regulares de tiempo, tomando muestras de la señal en momentos específicos, capturando así su amplitud en esos instantes. Estas amplitudes obtenidas, se cuantifican asignándoles un valor numérico discreto, utilizando una escala predefinida con un número finito de niveles discretos para representar la amplitud de la señal. La precisión de la cuantificación está determinada por el número de bits utilizados para representar cada muestra, lo que afecta la resolución y el rango dinámico de la señal digitalizada.

La señal digitalizada es llevada al osciloscopio lo que permitirá la visualización de la señal y la obtención de los datos de voltaje y corriente generada por los fotomultiplicadores al ser expuestos a la fuente de radiación.

Con ayuda de los programas diseñados en Python incluidos en el instrumento y mediante los datos obtenidos del digitalizador, será posible obtener las gráficas de rendimiento de los fotomultiplicadores y así poder analizar y evaluar su funcionalidad.



La respuesta de salida se comparará con la respuesta esperada en estudios previos, tanto para la forma de onda de pulsos consecutivos y para los histogramas de eventos ADC.

Para la obtención de datos se usará el FemtoDAQ (digitalizador) que posee un controlador que ejecuta en Debian Linux y proporciona el entorno operativo para controlar el digitalizador. El controlador se comunica con las tarjetas del sistema para configurar el hardware, leer el estado y recopilar datos, los datos recopilados pueden almacenarse en un disco de silicio interno, un tarjeta microSD o unidad USB externa, el controlador también se puede comunicar con una computadora para proporcionar la interacción del usuario. Hay un intérprete de Python y un compilador de C que están disponibles en el software del digitalizador.

Una vez logremos el proceso experimental completo, se elaborará una guía de laboratorio que será la base para que los estudiantes de la Universidad de Nariño puedan replicar el proceso, teniendo en cuenta que es uno de los primeros montajes experimentales en este campo, realizado en la Universidad de Nariño, se espera que sirva de referente para futuras investigaciones en esta área de estudio. Los resultados serán presentados en la defensa de tesis en la Universidad de Nariño y la guía del laboratorio quedará como referente bibliográfico del laboratorio de física moderna de la Universidad de Nariño.

Capítulo 4

Resultados

En la implementación de la guía de laboratorio se debe presentar inicialmente la caracterización y los modos de uso de los instrumentos de manera detallada, esto se desarrollo gracias a las guías de usuario y la manipulación directa de los equipos en donde la prueba y error o la comunicación por correo con las empresas fabricantes permitió hacer funcionar los equipos por primera vez y generar la caracterización de los mismos.

Este proceso encamina la propuesta y el desarrollo de la guía de laboratorio, posterior a esto se presenta la propuesta de guía de laboratorio y la aplicación de la misma.

4.1. Instrumentación

4.1.1. Osciloscopio digital serie SDS2000X UM0102X-E01A



Figura 4.1.1: SDS2000X Series Digital Oscilloscope UM0102X-E01A. Extraído guía de usuario SDS2000X Series Digital Oscilloscope UM0102X-E01A.

Un osciloscopio es un instrumento de medición electrónico utilizado para visualizar y analizar señales eléctricas variables en el tiempo, permite observar y medir la amplitud, la forma de onda, la frecuencia, la fase y

otros parámetros de una señal eléctrica. El osciloscopio muestra la señal en una pantalla gráfica, esta pantalla tiene ejes horizontales y verticales, donde el eje horizontal representa el tiempo y el eje vertical representa la amplitud de la señal

La señal que se desea medir se aplica a la entrada del osciloscopio, y luego se procesa y amplifica para que sea adecuada para su visualización en la pantalla, una vez la señal sea amplificada, puede ser analizada y medida utilizando las herramientas y funciones disponibles en el osciloscopio.

Los osciloscopios modernos cuentan con una amplia gama de funciones y características, como diferentes escalas de tiempo, canales múltiples para visualizar y comparar varias señales simultáneamente, capacidades de almacenamiento, funciones de disparo para capturar eventos específicos, entre otras.

En el caso de nuestro montaje experimental usaremos el osciloscopio SDS2000X serie UM0102X-E01A.

Los osciloscopios digitales de la serie SDS2000X pueden realizar mediciones en la categoría de medición I. La categoría de medición I es para mediciones realizadas en circuitos no conectados directamente a la red eléctrica. Algunos ejemplos son las mediciones en circuitos no derivados de la red y los circuitos derivados de la red especialmente protegidos o internos.

Este producto está alimentado por una red eléctrica que cumple con la categoría de instalación (sobrevoltaje) II. La categoría de instalación (sobrevoltaje) II se refiere al nivel de distribución de energía local que se aplica a los equipos conectados a la línea de corriente alterna.

Requisito de ventilación Este osciloscopio utiliza refrigeración por aire forzado por ventilador, asegúrese de que las áreas de entrada y salida de aire estén libres de obstrucciones. Una ventilación inadecuada puede provocar un aumento de la temperatura que dañaría el instrumento.

Precauciones de seguridad

- Utilice el cable de alimentación adecuado, solo se debe utilizar el cable de alimentación diseñado para el instrumento.
- Conecte a tierra el instrumento, está conectado a tierra a través del cable de alimentación. Para evitar descargas eléctricas, asegúrese de que el instrumento esté correctamente conectado a tierra antes de conectar sus terminales de entrada o salida.
- Conecte correctamente el cable de señal, el potencial de la conexión a tierra del cable de señal es igual a la tierra, así que no conecte el cable de señal a un alto voltaje.
- Lea atentamente el manual para obtener más información sobre las clasificaciones. Examine los valores nominales de todos los terminales para evitar incendios o descargas eléctricas
- Utilice la protección adecuada contra sobrevoltaje, asegúrese de que ningún sobrevoltaje (como el causado por una tormenta eléctrica) pueda alcanzar el producto, de lo contrario, el operador podría exponerse al peligro de una descarga eléctrica.
- Opere en un entorno de área protegida contra descargas electrostáticas para evitar daños inducidos por descargas estáticas. Siempre conecte a tierra los conductores internos y externos del cable para liberar la electricidad estática antes de conectarlo.
- Mantenga una ventilación adecuada La ventilación inadecuada puede causar un aumento de la temperatura del instrumento, lo que eventualmente puede dañar el instrumento, inspeccione la entrada y el ventilador con regularidad.

4.1. INSTRUMENTACIÓN

- Evite los circuitos y componentes expuestos, no toque los contactos o componentes expuestos cuando esté encendido.
- Utilice únicamente el fusible especificado.
- No opere el instrumento con las cubiertas o los paneles retirados.
- Si sospecha que se ha producido algún daño en el instrumento, haga que lo inspeccione personal de servicio cualificado antes de volver a utilizarlo.
- Para evitar cortocircuitos en el interior del dispositivo o descargas eléctricas, no lo utilice en un entorno húmedo.
- No opere en una atmósfera explosiva, para evitar daños al dispositivo o lesiones personales, es importante operar el dispositivo lejos de una atmósfera explosiva.
- Mantenga las superficies del producto limpias y secas.
- Manipule con cuidado durante el transporte para evitar daños a los botones, las interfaces de las perillas y otras partes de los paneles.

Encendido

Ajustar las patas de apoyo Ajuste las patas de soporte correctamente inclinando el osciloscopio hacia arriba para una colocación estable del osciloscopio, así como una mejor operación y observación como se ve en la figura 4.1.2.

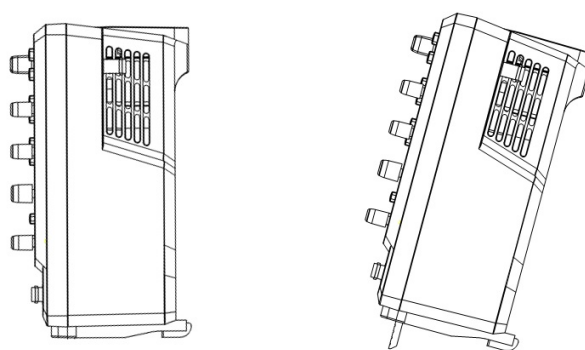


Figura 4.1.2: colocación estable del osciloscopio, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X

El osciloscopio aceptará una fuente de alimentación de corriente alterna de 100–240 V a 50/60 Hz o 100–120 V a 400 Hz. Utilice el cable de alimentación proporcionado con los accesorios para conectar el instrumento a la fuente de alimentación como se muestra en la figura 4.1.3.

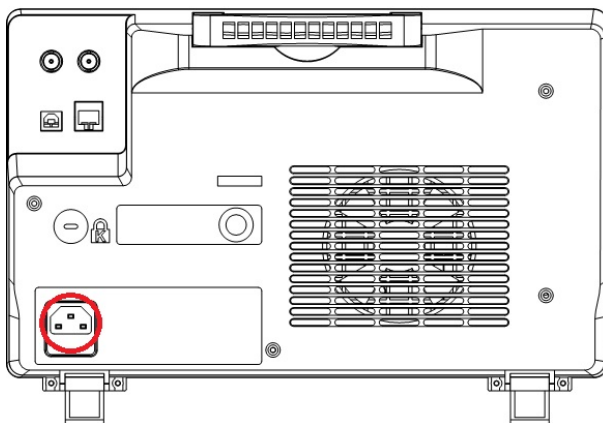


Figura 4.1.3: alimentación de corriente alterna, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X

Inspección de encendido Cuando el osciloscopio esté energizado, presione la tecla de encendido en la esquina inferior izquierda del panel frontal (figura 4.1.4) para iniciar el osciloscopio. Durante el proceso de puesta en marcha, el osciloscopio realiza una serie de pruebas automáticas y puede escuchar el sonido de la conmutación del relé, una vez finalizada la auto comprobación, se muestra la pantalla de bienvenida.

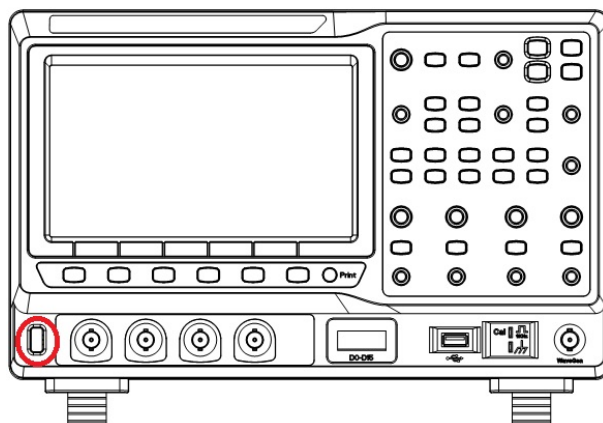


Figura 4.1.4: tecla de encendido, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X

Para conectar la sonda

1. Conecte el terminal BNC de la sonda a uno de los conectores BNC de canal en el panel frontal.
2. Conecte la punta de la sonda al punto del circuito bajo prueba y la pinza de cocodrilo de tierra de la sonda al terminal de tierra del circuito.

Inspección Funcional

1. Presione el botón Default en el panel frontal para restaurar el instrumento a su configuración predefinida de fábrica.

4.1. INSTRUMENTACIÓN

2. Conecte la pinza de conexión a tierra de la sonda a la "terminal de tierra" debajo de la terminal de salida de la señal de compensación de la sonda como muestra la figura 4.1.5.

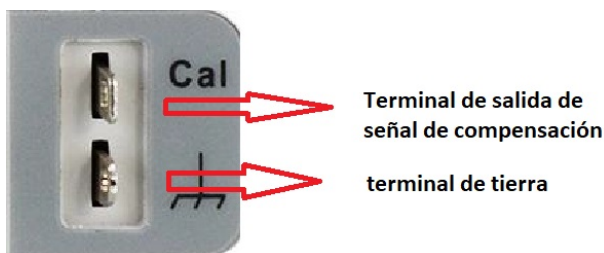


Figura 4.1.5: terminales

3. Utilice la sonda para conectar el terminal de entrada de CH1 del osciloscopio y el "Terminal de salida de señal de compensación" de la sonda.
4. Pulse la tecla Auto Setup.
5. Observe la forma de onda en la pantalla, en condiciones normales, la pantalla debe tener una forma de onda cuadrada, como se muestra en la figura 4.1.6:

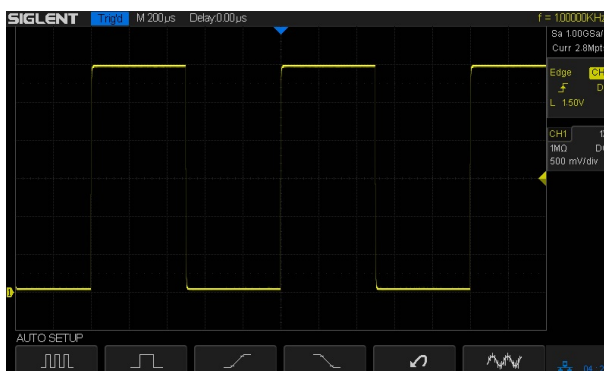


Figura 4.1.6: onda cuadrada, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X

6. Utilice el mismo método para probar los otros canales. Si las formas de onda cuadradas que se muestran realmente no coinciden con las de la figura anterior, realice la Compensación de la sonda.

Nota: Para evitar descargas eléctricas durante el uso de la sonda, asegúrese de que el cable aislado de la sonda esté en buenas condiciones y no toque la parte metálica de la sonda cuando la sonda esté conectada a una fuente de alto voltaje.

Compensación de sonda

Todas las sondas de osciloscopio deben compensarse adecuadamente antes de su primer uso. La sonda no compensada o compensada de manera no adecuada puede causar imprecisión o error en la medición. Los procedimientos de compensación de la sonda son los siguientes.

1. Establezca el interruptor en 10X en la sonda.
2. Realice los pasos 1, 2, 3 y 4 de **Inspección de funciones** de los pasos anteriores.
3. Compruebe las formas de onda mostradas y compáralas con las siguientes (figura 4.1.7:



Figura 4.1.7: formas de onda, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X

4. Utilice un destornillador de cabeza plana no metálico para ajustar el orificio de ajuste de compensación de baja frecuencia en la sonda hasta que la forma de onda coincida con la forma de onda "Perfectamente compensada"

Visita frontal

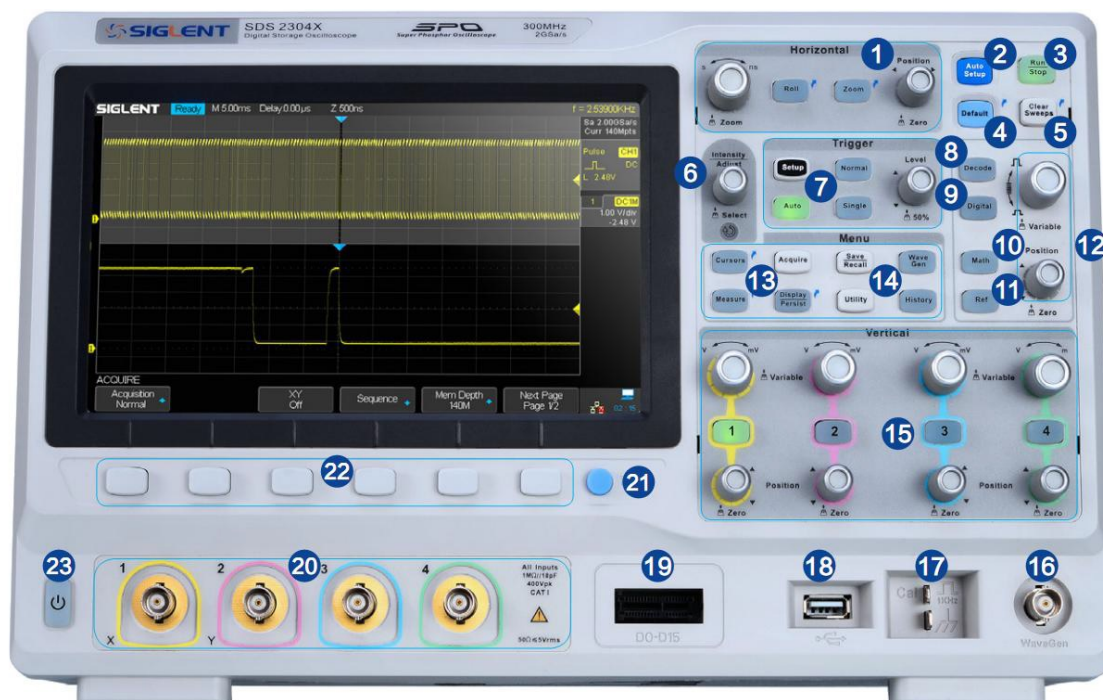


Figura 4.1.8: vista frontal, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X

En la figura 4.1.8 se muestra la vista frontal del osciloscopio y en la siguiente tabla se especifica las funciones de los componente enumerados.

4.1. INSTRUMENTACIÓN

Número	Descripción	Número	Descripción
1	Control horizontal	13	Menús de funciones
2	Configuración automática	14	Control WaveGen
3	Ejecutar/Detener	15	Control vertical para canales analógicos
4	Configuración por defecto	16	Salida WaveGen
5	Borrar barridos	17	Compensación de sonda/Terminal de tierra
6	Perilla universal	18	Puerto USB
7	Control de disparo	19	Entradas digitales
8	Control de decodificación	20	Entradas analógicas
9	Control de canales digitales	21	Atajo de un botón para Guardar
10	Función matemática	22	Teclas programables del menú de funciones
11	Función de referencia	23	Encendido / apagado
12	Control vertical de referencia		

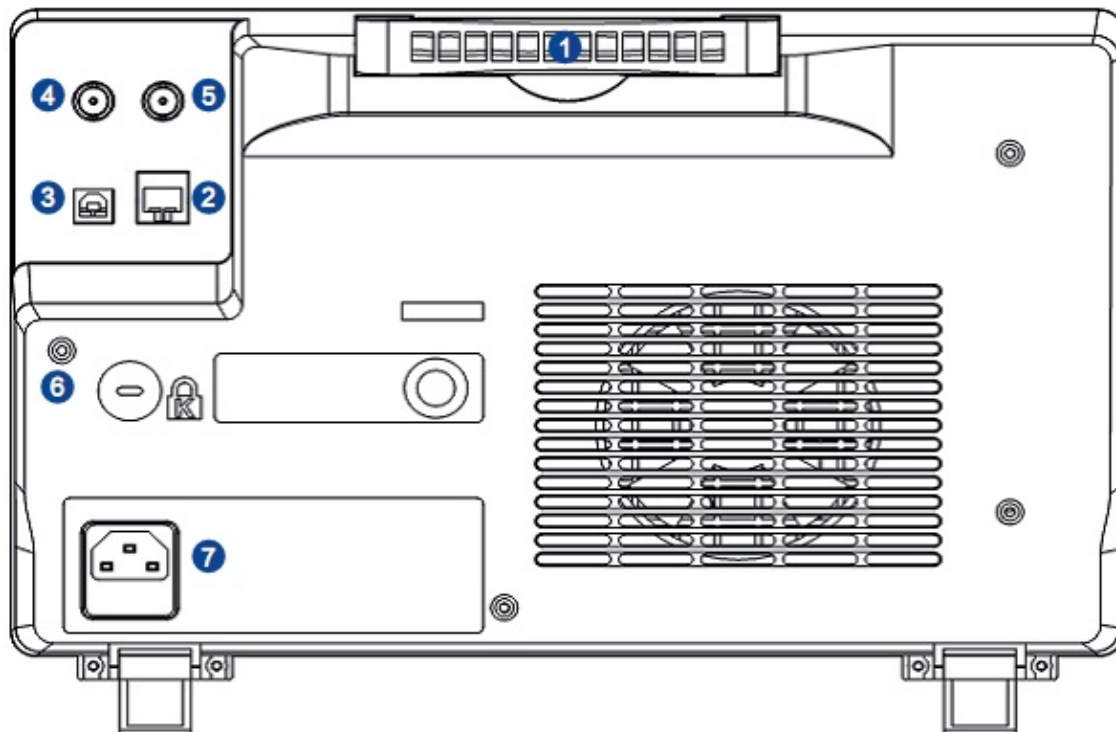
Vista parte posterior

Figura 4.1.9: vista posterior, extraído manual de usuario osciloscopio SDS2000X

En la figura 4.1.9 se muestra la vista posterior del osciloscopio, a continuación se especifica las funciones de los componente enumerados:

1. Asa vertical para facilitar el transporte del instrumento. Cuando no necesite el mango, presione hacia abajo.
2. Conexión a red, el instrumento se puede conectar a una red de usuario a través de esta interfaz para realizar el control remoto.
3. Dispositivo USB, el usuario puede controlar el osciloscopio a través de esta interfaz.
4. Este conector genera un pulso Pasa/Falla, cuando se usa este modo de operación genera un pulso que corresponde a cada operación de disparo del osciloscopio.
5. Terminal de disparo externo.
6. Orificio de bloqueo de seguridad.
7. Toma de corriente corriente alterna

Controles del osciloscopio**control horizontal**

4.1. INSTRUMENTACIÓN



Figura 4.1.10: Contron horizontal

- Roll: Ingrese rápidamente al modo de escala. El rango de tiempo permitido es de 50ms/div a 50s/div.
- Zoom: Presione el botón para abrir la función Zoom y presione nuevamente para cerrar la función.
- Perilla de posición horizontal: establece la ubicación horizontal del evento de activación en la pantalla, la forma de onda se moverá hacia la izquierda o hacia la derecha cuando gire la perilla. Mientras tanto, el valor de fase aumentará o disminuirá a medida que se mueva la forma de onda. Presione la perilla hacia abajo para restablecer el retardo del disparador a cero.
- Perilla de escala horizontal: establece la base de tiempo (velocidad de barrido horizontal), gírelo en sentido horario o antihorario para reducir o aumentar la base de tiempo. La forma de onda mostrada se expandirá o comprimirá cuando cambie la base de tiempo. Presione la perilla hacia abajo para ingresar al modo Zoom.

control vertical por canales



Figura 4.1.11: Control vertical

- Canales de entrada analógica: Los cuatro canales están marcados con diferentes colores que también se utilizan para marcar tanto las formas de onda en la pantalla como los conectores de entrada del canal. Presione el botón de canal para abrir el canal correspondiente y vuelva a presionarlo para apagarlo.
- La Perilla de posición vertical y la perilla de escala vertical son propias para cada canal
- La perilla de posición vertical controla el desplazamiento vertical de la forma de onda actual, gire en el sentido de las agujas del reloj para aumentar la posición y en el sentido contrario a las agujas del reloj para disminuir, la forma de onda se moverá hacia arriba y hacia abajo y el mensaje de compensación en la parte inferior de la pantalla cambiará en consecuencia. Presione la perilla para restablecer rápidamente la compensación a cero.

- La perilla de escala vertical establece la forma de onda actual en la escala vertical, gire en el sentido de las agujas del reloj para disminuir el valor de la escala y gire en el sentido contrario a las agujas del reloj para aumentarlo. Durante la modificación, la amplitud aparente de la forma de onda aumentará o se reducirá y el mensaje de escala en el lado derecho de la pantalla también cambiará. Presione la perilla para cambiar rápidamente los modos de ajuste de la escala vertical entre Grueso y Fino.

Control vertical de referencia



Figura 4.1.12: Control vertical de referencia

- Decode: Presione este botón para abrir el menú de decodificación. La decodificación es una función opcional del SDS2000X admite dos buses en serie, incluidos 1 y 2 para la decodificación de señales analógicas.
- Digital: Pulse el botón para abrir el menú de funciones del canal digital (función opcional), el SDS2000X admite 16 canales digitales.
- Math: Presione el botón para abrir el menú de operaciones matemáticas para seleccionar funciones que incluyen sumar, restar, multiplicar, dividir, FFT, integral, diferencial y raíz cuadrada.
- Ref: Presione el botón para habilitar la función de forma de onda de referencia almacenada, la forma de onda de referencia se puede utilizar en comparación con la forma de onda actual. El SDS2000X admite guardar hasta 4 formas de onda de referencia
- Perilla de posición vertical Ref/Math: Establece el desplazamiento vertical de la forma de onda matemática o de referencia, gire en el sentido de las agujas del reloj para aumentar la compensación o en el sentido contrario a las agujas del reloj para disminuir la compensación, durante la modificación, la forma de onda se moverá hacia arriba y hacia abajo y el mensaje de compensación en la parte inferior de la pantalla cambiará en consecuencia. Presione la perilla para restablecer rápidamente la compensación a cero.
- Perilla de escala vertical Ref/Math: Establece la escala vertical de la forma de onda matemática o de referencia, gire en el sentido de las agujas del reloj para disminuir la escala o en el sentido contrario a las agujas del reloj para aumentarla, durante la modificación, la amplitud aparente de la forma de onda aumentará o disminuirá y el valor de la escala que se muestra en el lado derecho de la pantalla cambiará en consecuencia. Además, la perilla se puede usar para cambiar un canal digital.

4.1. INSTRUMENTACIÓN

Control de disparo



Figura 4.1.13: Control de disparo

- **Setup:** Pulse el botón para abrir el menú de activación, este osciloscopio proporciona varios tipos de disparo: Flanco, Pendiente, Pulso, Video, Ventana, Intervalo, Caída, Runt, Patrón y Bus serie
- **Auto:** Pulse el botón para establecer el modo de disparo automático
- **normal:** Presione el botón para establecer el modo de disparo Normal.
- **Single:** Presione el botón para establecer el modo de disparo único.
- **Perilla de nivel de disparo:** Establece el nivel de disparo, gírelo en sentido horario o antihorario para que el nivel suba o baje. Además, el valor del nivel de activación se muestra en la parte superior derecha de la pantalla. Presione la perilla para restablecer rápidamente el nivel de disparo al 50 % de la forma de onda.

Configuracion



Figura 4.1.14: Configuración

- **Auto Setup:** Presione el botón para habilitar la función de configuración automática de forma de onda. El osciloscopio ajustará automáticamente la base de tiempo horizontal, la escala vertical y el modo de disparo de acuerdo con la señal de entrada para proporcionar una visualización estable disparada.
- **Run Stop:** Presione el botón para establecer el estado del instrumento en CORRER o DETENER. Cuando el dispositivo este corriendo, el botón se ilumina en amarillo y cuando el accionar se detenga, el botón se ilumina en rojo
- **Default:** Presione el botón para restablecer el osciloscopio a su configuración predeterminada, la escala de voltaje predeterminada y la escala de base de tiempo son respectivamente 1V/div y 1 μ s/div.

- **Clear Sweeps:** Este botón es una tecla de acceso directo para una función limpiar. Cuando se muestren las estadísticas de medición, presione este botón para borrar el conteo y comenzar un nuevo conteo estadístico.

Perilla universal



Figura 4.1.15: Perilla universal

La perilla ajusta la intensidad de la forma de onda, gire esta perilla para ajustar la intensidad de la forma de onda (0 % a 100 %), en el sentido de las agujas del reloj para aumentar el brillo y en el sentido contrario a las agujas del reloj para reducirlo. También puede presionar Display/Persist, Intensity y usar la perilla para hacer ajustes, para ajustar el brillo de la cuadrícula (0 % a 100 %) o la transparencia (20 % a 80 %), opere de la misma manera que la intensidad de la forma de onda. En la operación del menú, cuando la luz debajo de la perilla está encendida, esta perilla se puede usar para seleccionar entre submenús en el menú actual. Presione la perilla para seleccionar el submenú actual. Además, se puede utilizar para modificar parámetros y para ingresar un nombre de archivo.

Menú

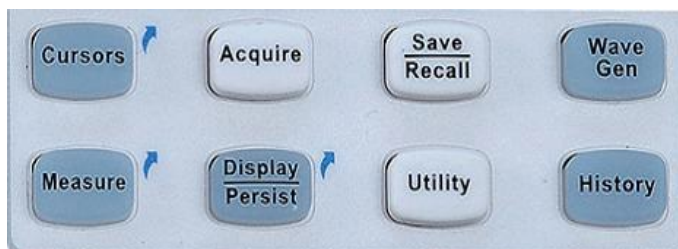


Figura 4.1.16: menú

- **Cursors:** Pulse el botón para abrir la función de cursor, se permiten los modos de cursor manual y de seguimiento.

4.1. INSTRUMENTACIÓN

- **Acquire:** Pulse el botón para entrar en el menú de muestreo, desde aquí se puede configurar el modo de adquisición, el modo de interpolación y la profundidad de la memoria.
- **Save/Recall:** Pulse el botón para entrar en el menú de función de recuperación y guardado de archivos. Los tipos de archivos almacenables incluyen configuraciones, formas de onda, imágenes y referencias.
- **Wave Gen:** Presione el botón para abrir el menú WaveGen. El SDS2000X proporciona un generador de funciones integrado (opcional). Se admiten 11 tipos de formas de onda, que incluyen Sine, Square, Ramp, Pulse, DC, Noise, Cardiac, Gauss Pulse, ExpRise, ExpFall y Arb.
- **Measure:** Presione el botón para ingresar al menú de configuración de medición, se puede establecer tipos de medición y estadísticas
- **Display/Persist:** Presione el botón para ingresar al menú de visualización y habilitar rápidamente la función persist, se puede configurar la cuadrícula, la intensidad, el brillo, la transparencia.
- **Utility:** Presione el botón para ingresar al menú de utilidades para configurar las funciones o parámetros del sistema, como el sonido y el idioma de la pantalla. Además, también se admiten algunas funciones avanzadas (como pasa/falla, autocalibración, función de opción de instalación y actualización).
- **History:** Pulse este botón para entrar en el modo de historial, permite grabar hasta 80.000 fotogramas.

Nota de Ayuda

El SDS2000X es táctil así que muchas de estas funciones se pueden trabajar desde la interfaz gráfica de la pantalla. además tiene una función de ayuda en línea que proporciona información en varios idiomas, y puede ayudarlo a operar el osciloscopio cuando lo necesite. Pulse cualquier botón durante 2 segundos para acceder a esta función. Todos los submenús de cada menú principal tienen su información de ayuda.

Implementación en el montaje

Dentro de nuestro montaje el SDS2000X fue sometido a las pruebas de calibración, posterior a esto es usado para comprobar las señales analógicas generadas en el circuito del montaje experimental y las pruebas de voltaje y señales que los demás instrumentos requieren. Se aclara que el osciloscopio no modifica la respuesta del experimento, ya que solo es usado para verificar las señales y las pruebas de ruido realizadas, puede ser remplazado por un multímetro en pruebas de verificación una vez se hayan realizado con el osciloscopio para mayor agilidad y comodidad.

4.1.2. Fuente de alimentación CC lineal PWS2721



Figura 4.1.17: Fuente de alimentación CC lineal PWS2721. Extraído guía de usuario Fuente de alimentación CC lineal PWS2721.

Las fuentes de alimentación CC lineales, también conocidas como fuentes de alimentación de corriente continua lineales, son dispositivos electrónicos que proporcionan energía eléctrica en forma de corriente continua (CC) a otros dispositivos o sistemas. Estas fuentes de alimentación toman una corriente de entrada de CA (corriente alterna) de la red eléctrica y la convierten en una corriente de salida de CC constante y regulada.

Las fuentes de alimentación CC lineales se componen de elementos como transformadores, rectificadores, condensadores y reguladores lineales, estos componentes se utilizan para transformar, rectificar y filtrar la corriente alterna de entrada, eliminando las fluctuaciones y proporcionando una salida de corriente continua estable y regulada.

Las fuentes de alimentación CC lineales tienen varias ventajas, como una buena regulación de voltaje y una baja fluctuación de la salida de corriente continua, también suelen ser menos propensas a generar ruido eléctrico o interferencias electromagnéticas en comparación con otros tipos de fuentes de alimentación. Sin embargo, también presentan algunas limitaciones, como una menor eficiencia energética y un tamaño y peso relativamente mayores, en el caso de nuestro montaje experimental usaremos este tipo de fuentes lineales para reducir el ruido electrónico de nuestro montaje.

Estas fuentes de alimentación se utilizan en una variedad de aplicaciones donde se requiere una salida de corriente continua estable y de calidad, como equipos de laboratorio, sistemas de comunicación, equipos de audio, instrumentación médica y muchos otros dispositivos electrónicos.

Precauciones de seguridad

- Antes de usar el producto, lea cuidadosamente y siga toda la información de instalación, operación y mantenimiento.
- Antes de realizar cualquier mantenimiento, desconecte el cable de línea y todos los cables de prueba.
- Los operadores de este instrumento deben estar protegidos contra descargas eléctricas en todo momento.

4.1. INSTRUMENTACIÓN

- En algunos casos, las conexiones deben estar expuestas a posibles contacto humano, se debe tomar las medidas de seguridad necesarias.
- El circuito puede operar en o por encima de 1000 voltios, en este caso ninguna parte conductora del circuito puede quedar expuesta.
- No aflojar ningún tornillo de este producto, no hay componentes reparables en el interior.
- Utilice cables de carga con la clasificación adecuada, todos los cables de carga deben ser lo suficientemente pesados para no sobrecalentarse cuando se transporta la máxima corriente de salida.
- Si hay más de una carga, cualquier par de cables de carga debe ser capaz de transportar con seguridad la corriente de salida de cortocircuito nominal completa de la fuente de alimentación.

Verificación del Desempeño

El dispositivo bajo prueba (DUT por sus siglas en inglés) y todo el equipo de prueba deben haber sido operando continuamente durante 20 minutos en un entorno en el que se tengan condiciones anormales a las cotidianas para temperatura y humedad.

Los procedimientos de prueba están destinados a ser realizados en secuencia, si es necesario probar parcialmente el DUT, usando una prueba individual, se requiere un período de calentamiento de 20 minutos, antes de realizar la prueba individual.

Debe conectar el dispositivo bajo prueba y el equipo de prueba a la misma fuente de alimentación de CA. La fuente de alimentación de CA para el dispositivo bajo prueba debe coincidir con el interruptor selector de voltaje, ubicado en la parte inferior del dispositivo bajo prueba.

Algunos procedimientos utilizan voltajes peligrosos, para evitar descargas eléctricas, siempre apague los instrumentos antes de tocar los circuitos expuestos.

Autotest

Este procedimiento utiliza rutinas internas para verificar que el dispositivo bajo prueba funciona y pasa sus autoevaluaciones. No se requieren equipos de prueba ni conexiones. se deben seguir los siguientes pasos:

1. Desconecte todos los cables de las salidas del dispositivo bajo prueba.
2. Encienda el dispositivo bajo prueba, la pantalla del panel frontal se iluminará brevemente mientras el DUT realiza su autocomprobación de encendido, todos los indicadores de la pantalla se encenderán. Revise la pantalla con todos los indicadores y compruebe visualmente si hay alguna irregularidad en cualquier de ellos.



Figura 4.1.18: indicadores pantalla del panel frontal, extraído manual de usuario Fuente de alimentación CC lineal PWS2721

3. Si la EEPROM está dañada o los últimos datos de operación en la EEPROM no están completos, en la pantalla aparece el siguiente mensaje:

ERR EEPROM

4. Si faltan los datos de calibración en la EEPROM, en la pantalla aparece el siguiente mensaje:

ERROR CAL

5. Si no hay respuesta cuando enciende el DUT, verifique que haya CA de alimentación al dispositivo bajo prueba, verifique los ajustes de voltaje de la línea de alimentación y verifique que se ha instalado el fusible de línea de alimentación correcto.
6. Apague el dispositivo bajo prueba.

Nota: La EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) en una fuente de voltaje se refiere a una memoria no volátil que se utiliza para almacenar información importante sobre la configuración y el estado de la fuente de voltaje. En una fuente de voltaje, la EEPROM se utiliza para almacenar datos como los valores de voltaje y corriente de salida programados, ajustes de protección contra sobrecarga y cortocircuito, información de calibración, registros de eventos y otros parámetros relevantes. Estos datos se guardan en la EEPROM para que la fuente de voltaje pueda recordar y mantener su configuración incluso después de un apagón o reinicio.

Calibración

Prueba del ruido de voltaje

Siga estos pasos para comprobar el ruido de voltaje:

- Conecte el dispositivo bajo prueba a la red eléctrica local.
- Enchufe el osciloscopio de prueba en la misma toma de corriente que el dispositivo bajo prueba.
Nota: Algunas fuentes de alimentación de CA crean grandes cantidades de ruido de alta frecuencia en la línea de alimentación que el instrumento no puede rechazar por completo. Utilice la misma toma de corriente tanto para el dispositivo bajo prueba como para el osciloscopio de prueba para evitar la conexión a tierra y bucles que pueden causar ruido.
- Encienda el dispositivo bajo prueba y pruebe el osciloscopio.
- Instale el equipo como se muestra a continuación. Utilice la resistencia de carga adecuada según el modelo del dispositivo bajo prueba. **Nota:** se debe usar una resistencia de potencia, en el caso de nuestra fuente PWS2721 y según los manuales de usuario debe ser de 60Ω

4.1. INSTRUMENTACIÓN

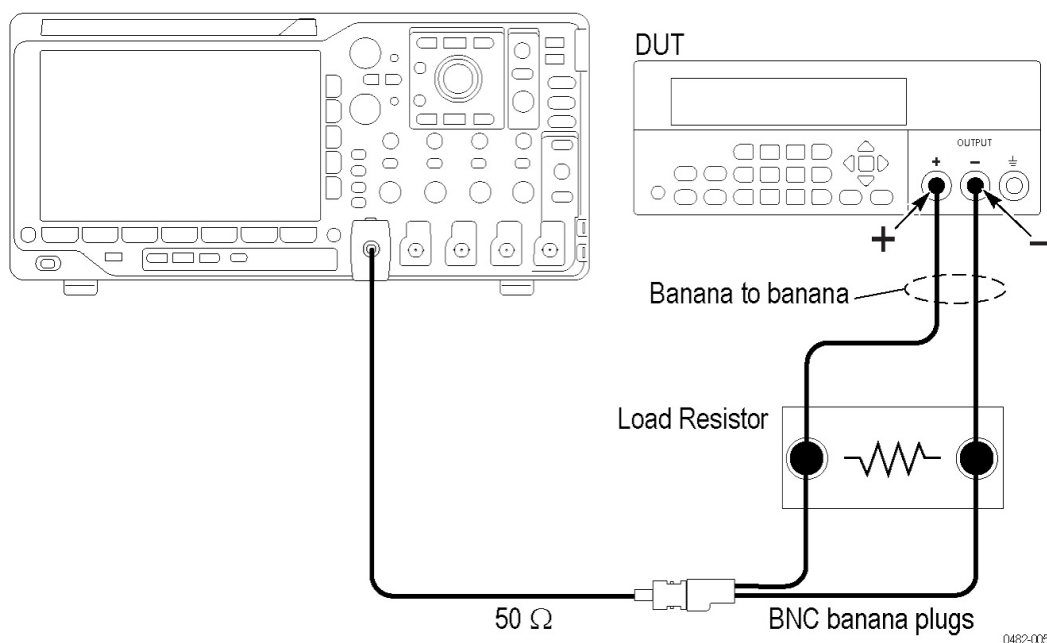


Figura 4.1.19: Conexión ruido de voltaje, extraído del manual de usuario Fuente de alimentación CC lineal PWS2721

- Configure el osciloscopio de la siguiente manera:
 1. 1 mV/división
 2. Resistencia de entrada de 1 M Ω
 3. Límite de ancho de banda (BW) de 20 MHz
 4. AC acoplado
 5. Activación automática
 6. 1 ms/div gramo. Configurado para medir V_{p-p} y VRMS
- Establezca el DUT en el voltaje de salida 100 %.
- Establezca el dispositivo bajo prueba en la corriente de salida del 100 %.
- Encienda la salida DUT.

nota: No toque la resistencia de carga. Ésta puede calentarse lo suficiente para causar quemaduras
- Compare las medidas del osciloscopio para comprobar el ruido de tensión a 20MHz. Las medidas deben tener este valor máximo para tener un ruido de voltaje aceptable:
 - Máximo rms 2mV

Prueba del ruido actual

Siga estos pasos para comprobar Comprobar el ruido actual:

- Conecte el dispositivo bajo prueba a la red eléctrica local.

- Enchufe el osciloscopio de prueba en la misma toma de corriente que el dispositivo bajo prueba. **nota:** como en el caso anterior la fuente de alimentación de CA crea grandes cantidades de ruido de alta frecuencia en la línea de alimentación que el instrumento no puede rechazar por completo. Utilice la misma toma de corriente tanto para el dispositivo bajo prueba como para el osciloscopio de prueba para evitar la conexión a tierra y bucles que pueden causar ruido.
- Encienda el DUT y pruebe el osciloscopio.
- Instale el equipo como se muestra a continuación.

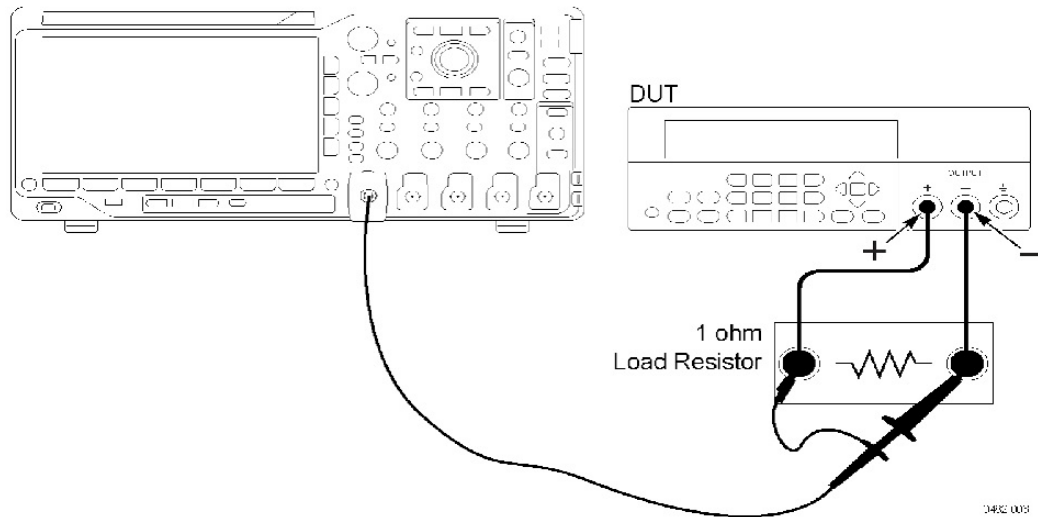


Figura 4.1.20: Conexión ruido actual, extraído del manual de usuario Fuente de alimentación CC lineal PWS2721

- Configure el osciloscopio de la siguiente manera:
 1. 1 mV/división
 2. Resistencia de entrada de 1 M Ω
 3. Límite de ancho de banda (BW) de 20 MHz
 4. AC acoplado
 5. Activación automática
 6. 1 ms/div gramo. Configurado para medir Vp-p y VRMS
- Establezca el DUT en el voltaje de salida 100 %.
- Establezca el dispositivo bajo prueba en la corriente de salida del 100 %.
- Encienda la salida DUT

nota: No toque la resistencia de carga. Ésta puede calentarse suficiente para causar quemaduras.
- Introduzca las medidas del osciloscopio en la tabla 7 para comprobar el ruido actual. La medida deben tener este valores máximo para tener un ruido actual aceptable:
 - Máximo rms 5mV

4.1. INSTRUMENTACIÓN

- Apague el dispositivo bajo prueba y el equipo de prueba.

Implementación en el montaje

En nuestro montaje la fuente voltaje permitirá dar alimentación a los fotomultiplicadores, debido a que estas fuentes son de alta presunción, son adecuadas para reducir el ruido del montaje y así la señal que generan las partículas en el proceso es la más limpia posible. Se requiere el accionar de otras fuentes para otras secciones del montaje experimental debido a que esta fuente se destinara únicamente para la función antes descrita, a 0.02A y 5v en donde el fotomultiplicador Hamamatsu serie S1336 funciona a mayor eficiencia.

4.1.3. Digitalizador FemtoDAQ LV-2



Figura 4.1.21: FemtoDAQ LV-2. Extraído guía de usuario FemtoDAQ LV-2.

En física de partículas, un digitalizador es un dispositivo o sistema utilizado para capturar y convertir señales analógicas generadas por detectores de partículas en señales digitales que pueden ser procesadas y analizadas por computadoras. Cuando las partículas interactúan con los detectores, se generan señales eléctricas proporcionales a las propiedades de las partículas detectadas, como su energía o posición.

Estas señales analógicas suelen ser débiles y susceptibles a interferencias y ruido, el digitalizador se encarga de amplificar, filtrar y muestrear estas señales para convertirlas en datos digitales que puedan ser almacenados y analizados de manera eficiente.

El proceso de digitalización implica convertir las señales analógicas en una representación numérica digital, generalmente en forma de una serie de valores discretos que representan la amplitud de la señal en intervalos regulares de tiempo, esto se logra mediante el uso de convertidores analógico-digitales (ADC, por sus siglas en inglés).

Una vez que las señales han sido digitalizadas, los datos resultantes se almacenan en memoria digital para su posterior análisis, estos datos pueden ser procesados mediante algoritmos y técnicas especializadas para extraer información sobre las partículas detectadas, como su trayectoria, tipo, energía, entre otros parámetros relevantes para la investigación en física de partículas.

El FemtoDAQ LV-2 es un pequeño y económico sistema de adquisición de datos de 2 canales para física de partículas, es un instrumento de alta calidad para medir pulsos de detección con un tamaño reducido. Puede usarse con fotomultiplicadores de silicio (SiPM) u otros detectores (por ejemplo, tubos fotomultiplicadores) para capturar y digitalizar formas de onda de detectores experimentales.

El sistema FemtoDAQ LV-2 consta de tres módulos de hardware, tiene un solo controlador BeagleBone Black (computadora de a bordo), un módulo digitalizador y un módulo de fuente de alimentación de polarización del detector.

Controlador

Para la obtención de datos se usará el FemtoDAQ (digitalizador) que posee un controlador que ejecuta en Debian Linux. Proporciona el entorno operativo para controlar el digitalizador y suministro de polarización del detector, el controlador se comunica con las tarjetas del sistema para configurar el hardware, leer el estado y recopilar datos, los datos recopilados pueden almacenarse en un disco de silicio interno, un tarjeta microSD o unidad USB externa, también se puede configurar para que el controlador se comunique con una computadora para proporcionar la interacción del usuario. Hay un intérprete de Python y un compilador de C que está disponible para el usuario.

La instrumentación proporciona una interfaz de línea de comandos y una biblioteca de Python para ayudar a los desarrolladores a crear aplicaciones personalizadas. Además, se proporciona una GUI (interfaz gráfica de usuario) basada en PC que se comunica con el FemtoDAQ.

Módulo digitalizador

El módulo digitalizador proporciona las funciones clave de rendimiento del instrumento, tiene dos canales independientes de entrada que pueden estar conectados a detectores (por ejemplo, fotomultiplicadores de silicio (SiPM) o fotomultiplicadores tubos (PMT)). Las entradas tienen terminaciones de entrada seleccionables por interruptor. Además, las señales lógicas se pueden configurar para la activación y el estado.

Suministro de polarización del detector

El módulo Detector Bias Supply proporciona una salida de tensión de polarización para fotomultiplicadores de silicio, los rangos están disponibles según el fotomultiplicador que se utilice, se tienen puntos de prueba para verificar el ajuste de voltaje de polarización, así como una lectura de software del voltaje de polarización, un interruptor de encendido/apagado permite habilitar o deshabilitar el voltaje a un detector.

Interfaces de señal y controles

Panel frontal

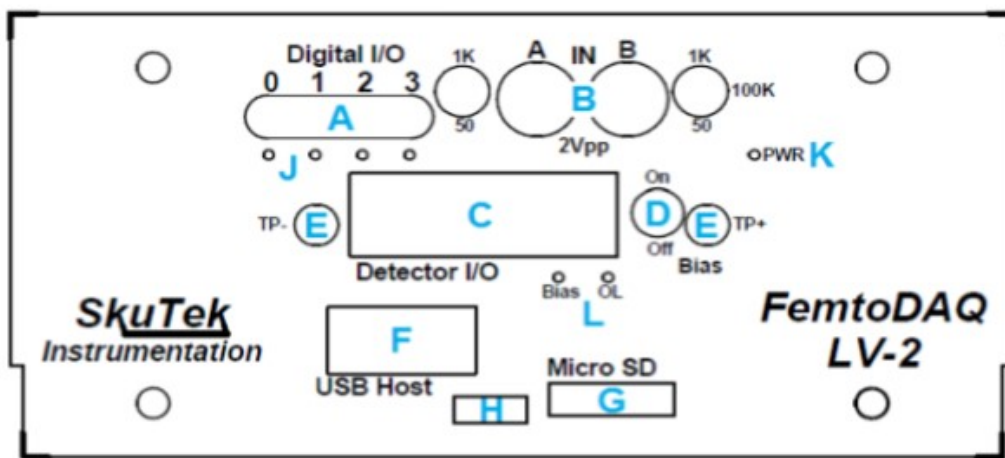


Figura 4.1.22: Panel frontal, extraído manual de usuario FemtoDAQ LV-2

4.1. INSTRUMENTACIÓN

Los componentes del panel frontal son:

- A Conectores digitales
- B Entradas analógicas y Interruptores de terminación
- C Conector del detector
- D Salida de polarización activada/desactivada
- E Puntos de prueba del monitor de polarización
- F Puerto USB
- G Micro SD
- H HDMI
- J LED de alimentación
- K Desviación y sobrecarga
- L LED

Conectores de entrada analógica

Los conectores de entrada analógica son de tipo LEMO (o MCX opcional) para recibir señales de los detectores proporcionan la señal y el conectado a tierra. Los cables de alta calidad son recomendados para proporcionar inmunidad al ruido y mínima pérdida de señal. Hay un interruptor de terminación para cada entrada.

Las terminaciones se establecen según la posición del interruptor: Abajo = $50\ \Omega$, Centro = $100\ k\Omega$, Arriba = $1\ k\Omega$.

Conector del detector

El conector de detector son un receptáculo de doble fila de 16 pines, que proporciona la salida de voltaje de polarización y señales adicionales de potencia y control. Puede interactuar con el tipo de cable de cinta estándar, hay un bus I2C y un bus SPI, así como dos de propósito general, las señales de estos buses se pueden usar para una variedad de aplicaciones, como temperatura, monitoreo de voltaje, y control externo.

Conectores digitales

Los conectores digitales se utilizan para la señalización externa hacia y desde el digitalizador. Los conectores son jacks MMCX, con el conductor central proporcionan señal y el conectado a tierra.

El nivel de salida bajo es menor a $0,5\ V$ y el nivel de salida alto es de $2,5\ V$ a $3,3\ V$. Las señales de entrada deben limitarse a $0\ V$ a $+3,3\ V$ para evitar daños en el instrumento.

Panel trasero

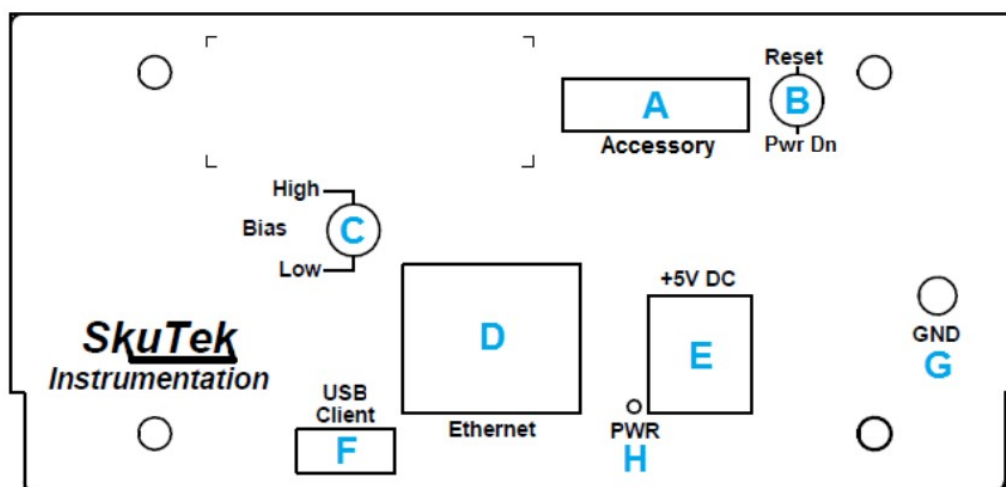


Figura 4.1.23: Panel trasero, extraído manual de usuario FemtoDAQ LV-2

Los componentes del panel trasero son:

- A Accesorio
- B Interruptor de alimentación
- C Interruptor de rango de suministro de polarización
- D ethernet
- E Entrada de alimentación de CC
- F Cliente USB
- G Espárrago de tierra
- H LED de alimentación

Fuente de alimentación

El FemtoDAQ LV-2 es alimentado por un suministro externo de 5V. La fuente de alimentación provista con el dispositivo se recomienda para esta unidad.

Conexión de la PC a la FemtoDAQ LV-2

Primero, conecte la salida de CC de la fuente de alimentación a la entrada de la fuente de alimentación (DC IN) y conecte la fuente de alimentación en un tomacorriente de CA.

Si la unidad no se enciende después de unos segundos (los LED no están encendidos) cuando se aplica energía, al presionar el interruptor de alimentación trasero a PWR DN durante 1-2 segundos iniciará un encendido.

En segundo lugar, conecte un cable USB de la PC (lado tipo A) al puerto de cliente USB trasero (tipo Mini-B, pequeño hacia arriba).

4.1. INSTRUMENTACIÓN

Nota: El requisito de FemtoDAQ es mayor que el estándar USB, por lo tanto, la fuente de alimentación debe estar enchufada y encendida ANTES de conectar el cable USB a una PC para evitar que la unidad sea alimentada por el cable USB.

Antes de iniciar a controlar el FemtoDAQ desde el PC se debe asegurar que el software se encuentre actualizado.

Actualización de la imagen del software de su FemtoDAQ

Las actualizaciones del software FemtoDAQ se distribuyen a través de una imagen del sistema Linux. La actualización requiere reemplazar todo el contenido de la memoria interna. Debido a esto si tiene datos almacenados, se debe hacer las copias de seguridad.

Antes de empezar con la actualización se debe:

1. Tener una tarjeta SD de al menos 4 GB de tamaño que no le importe borrar.
2. Realice una copia de seguridad de todo el código o las configuraciones personalizadas de la FemtoDAQ en otra computadora o dispositivo externo. Todo el contenido de su tarjeta SD será borrado y reemplazado.
3. Descargue la imagen de la tarjeta SD (se debe solicitar la imagen por correo electrónico a SkuTek, support@skutek.com. Este archivo tendrá entre 1 y 2 GB de tamaño y puede tardar un poco en descargarse.
4. Descomprima el archivo de imagen. La extensión final del archivo debe ser ".img". Recomendamos usar 7-Zip para este propósito en Windows o los comandos tar o xz en Linux.
5. Asegúrese de tener software para flashear tarjetas SD y un lector de tarjetas SD. Se recomienda Win32DiskImager.
6. Apague por completo el FemtoDAQ (desconectar está bien).
7. Asegúrese de que la ranura de su tarjeta SD FemtoDAQ esté vacía.

Para la actualización del FemtoDAQ se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inserte su tarjeta SD en el lector de tarjetas SD en su computadora.
2. Abra Win32DiskImager. Si se trata de una tarjeta SD utilizada anteriormente.
 - Escriba el nombre de archivo de su archivo de copia de seguridad deseado.
 - Haga clic en el botón "Leer".

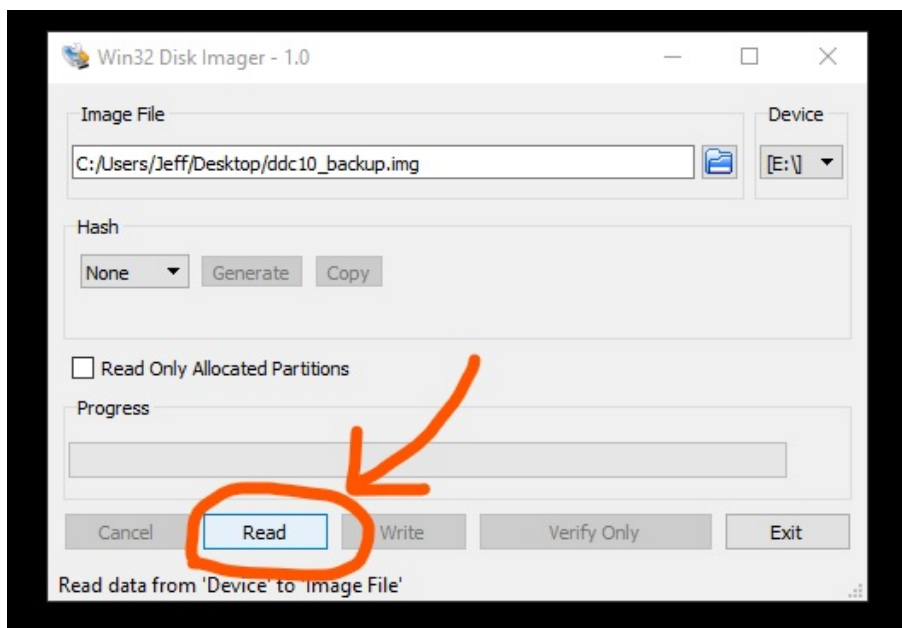


Figura 4.1.24: Interfaz Win32DiskImager

3. Seleccione la imagen proporcionada por SkuTek como su nuevo Archivo de imagen.
4. Haga clic en Escribir para escribir la nueva imagen en la tarjeta SD.

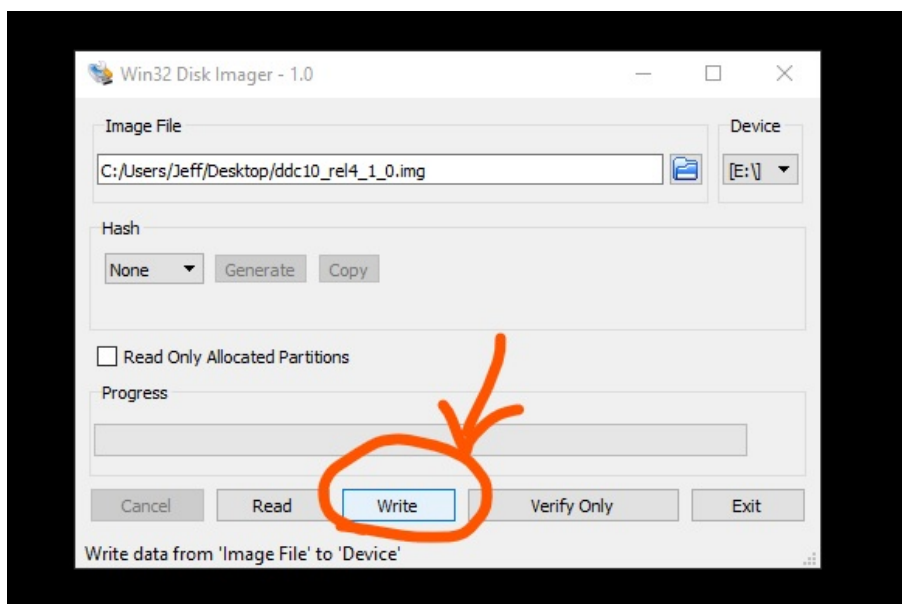


Figura 4.1.25: Interfaz Win32DiskImager

5. Una vez completada la verificación, retire la tarjeta SD de su computadora e insértela en el Femto-DAQ.

4.1. INSTRUMENTACIÓN

6. Encienda FemtoDAQ. El FemtoDAQ no arrancará inmediatamente. La tarjeta SD que acaba de insertar está ejecutando un programa que reinstala el sistema operativo del FemtoDAQ. Este proceso puede tomar de 15-30 minutos.
 - Desafortunadamente, no hay ninguna indicación externa de que la instalación aún esté en curso. Sin embargo, es posible que pueda ver los LED azules internos parpadeando en una línea alrededor del orificio para el puerto USB. Estos LED se apagarán cuando se complete la instalación.
 - Alternativamente, espere 30 minutos y puede asumir con seguridad que el flasheo está completo y pasar al siguiente paso.
7. Apague el FemtoDAQ (desconectar está bien).
8. Retire la tarjeta SD
9. Encienda su unidad. Ya se encuentra actualizada

En algunas ocasiones y como fue en nuestro caso, no solo es necesario la actualización del software, si no que se debe habilitar los controladores de la computadora, para permitir la conexión con el digitalizador. Esto depende de la configuración de la PC y las prestaciones que esta tenga, generalmente estarán inhabilitados por defecto, debido al consumo de memoria y energía.

Resolución de errores de conexión del controlador de Windows para FemtoDAQ LV-2

Si no puede conectarse al FemtoDAQ a través de USB en Windows 10, esto es probablemente causado por que Windows 10 está seleccionando el controlador incorrecto para usar con el FemtoDAQ y mantiene deshabilitados los controladores requeridos.

Estos pasos restauran el controlador adecuado para permitir interactuar con el FemtoDAQ vía USB.

1. Abra el Administrador de dispositivos. Debería ver un dispositivo con error etiquetado como RNDIS"

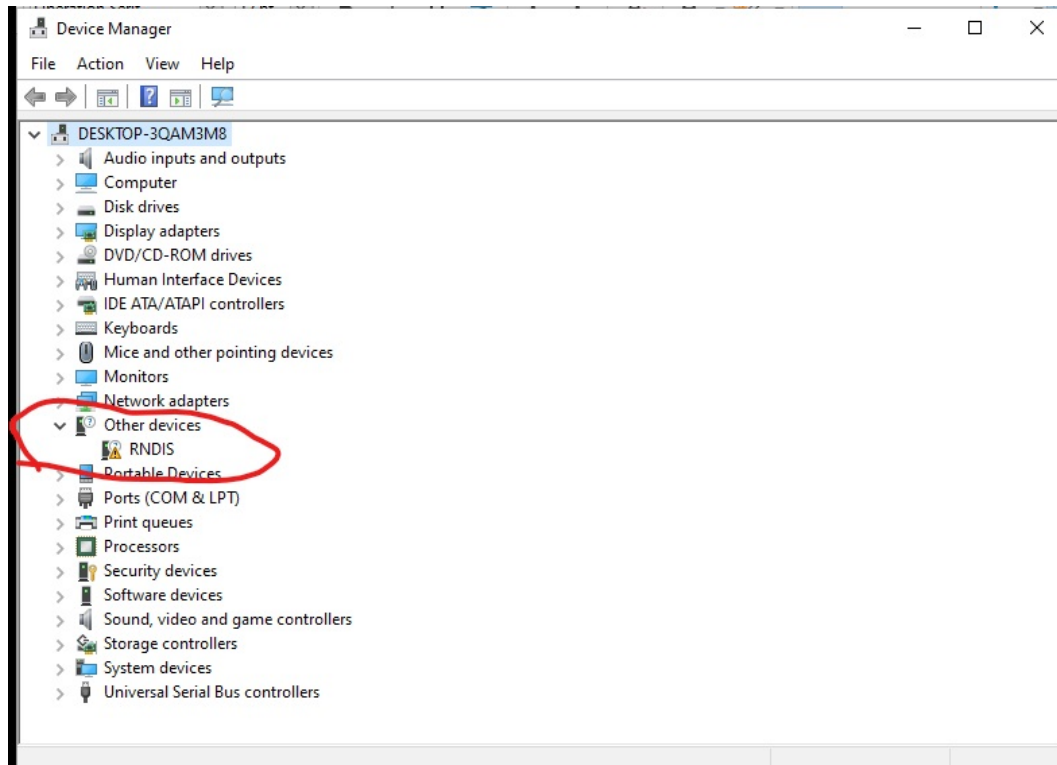


Figura 4.1.26: Administrador de dispositivos

2. Haga clic derecho en el dispositivo RNDIS y seleccione, Actualizar controlador

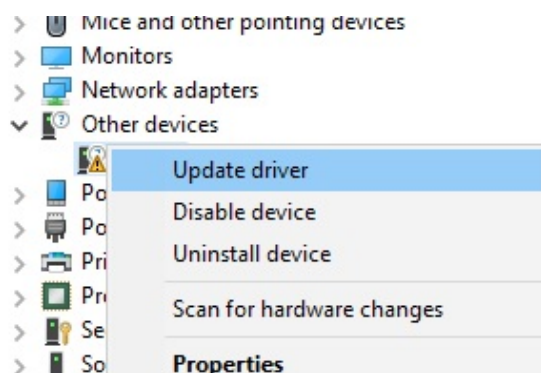


Figura 4.1.27: Opciones Administrador de dispositivos

3. Seleccione "Buscar software de controlador en mi computadora"
4. Seleccione "Permítame elegir de una lista de controladores disponibles en mi computadora"
5. Seleccione Adaptadores de red

4.1. INSTRUMENTACIÓN

6. Seleccione Microsoft
7. Seleccione Dispositivo compatible con NDIS remoto

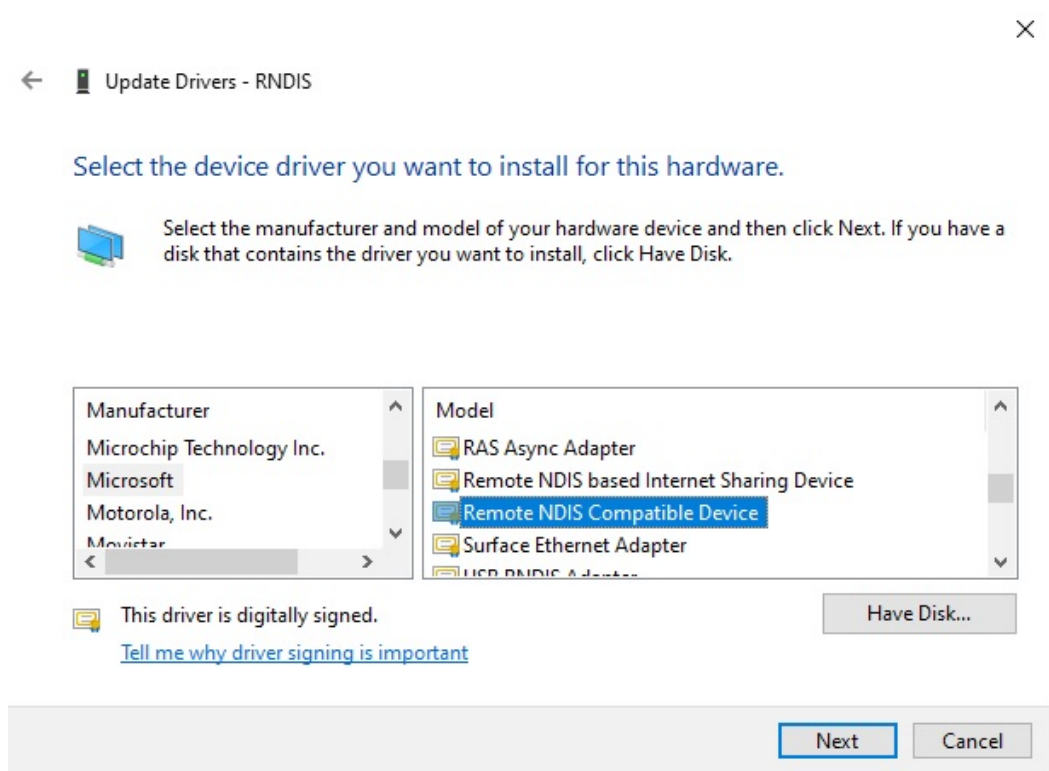


Figura 4.1.28: Selección de controladores

8. Instale el controlador. Windows le dará una advertencia, pero se debe instalar de todos modos.
9. Pruebe este nuevo controlador abriendo PuTTY y conectándose a través de ssh a 192.168.7.2 o fem-todaq.local
10. Si no tiene PuTTY, puede instalarlo en <https://www.putty.org/>
11. Se debe poder conectar con el nombre de usuario **usuario** y la contraseña **skutek**

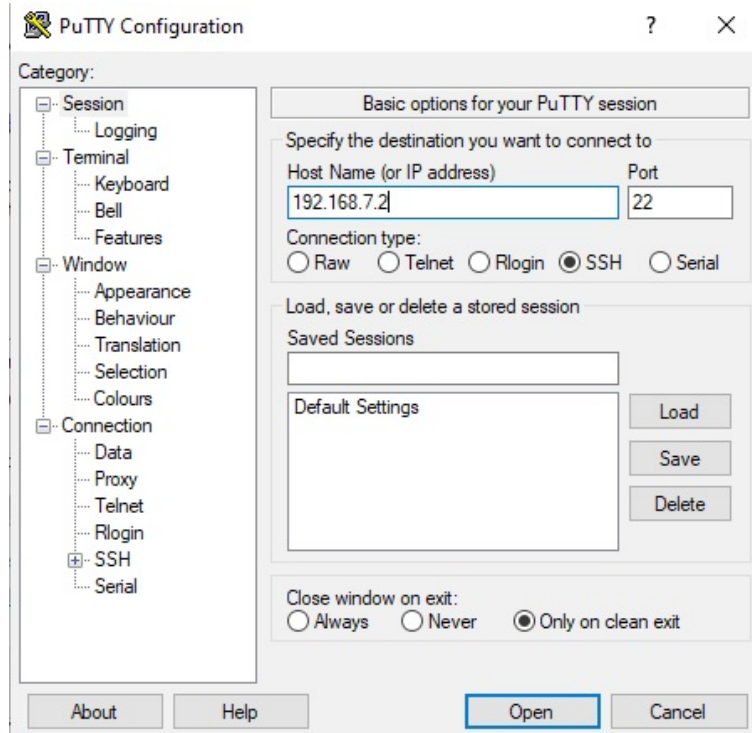


Figura 4.1.29: Configuración PuTTY

Una vez completado los pasos de actualización y configuración de controladores no se debería tener ningún inconveniente para acceder a la interfaz gráfica de usuario que permite controlar el digitalizador.

Ingreso e interfaz de la GUI

Usando un navegador, vaya a la URL: <http://192.168.7.2>. Debería aparecer una página web de BeagleBone. Este ingreso verifica que los controladores se configuraron correctamente, se puede cerrar el navegador e ingresar cuando lo requiera.

El programa de control FemtoDAQ LV-2 es una aplicación para PC que proporciona una interfaz gráfica de usuario(GUI) para controlar y recuperar el estado y las medidas del FemtoDAQ LV-2.

4.1. INSTRUMENTACIÓN

Inicio de la interfaz gráfica de usuario

La ventana GUI debería aparecer primero como se muestra a continuación:

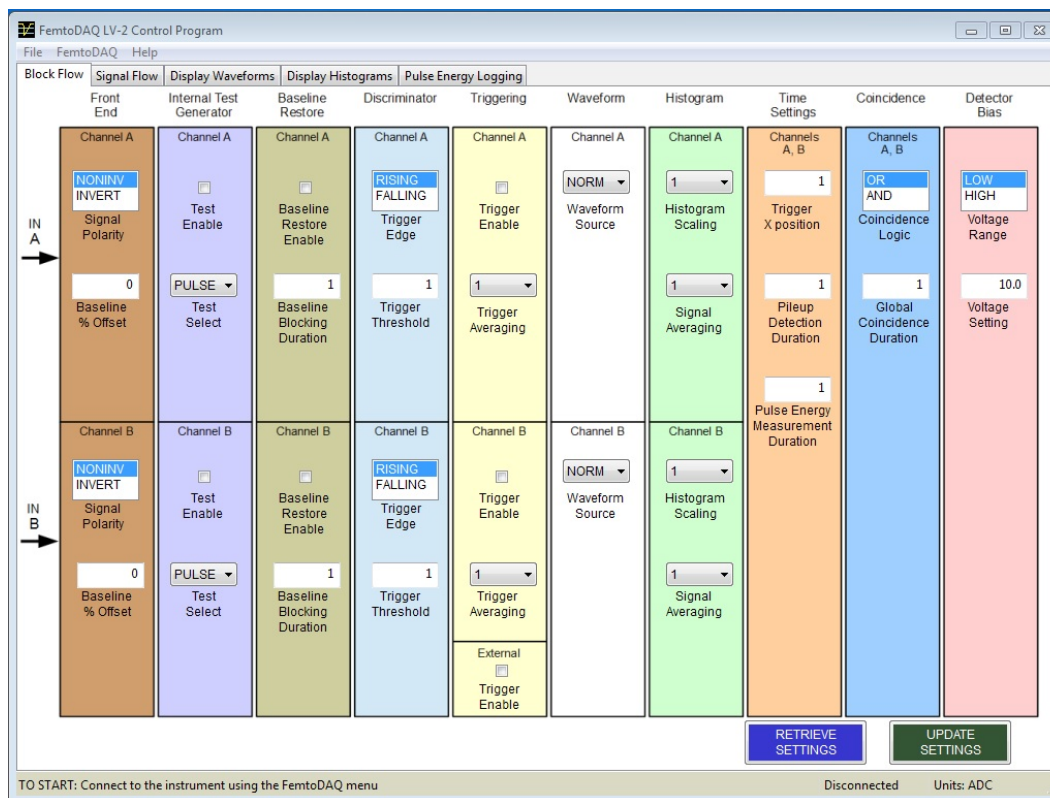


Figura 4.1.30: Ventana interfaz gráfica de usuario(GUI)

Barra de estado

En la parte superior de la ventana se encuentra la barra de estado. Hay tres campos en la barra de estado, son para mensajes e información para el usuario, indican el estado de conexión. Dirá Desconectado o Conectado y las unidades seleccionadas.

Configuración de FemtoDAQ

Cargar un archivo de configuración

Después de conectarse al FemtoDAQ, se puede configurar para mediciones, tanto de manera manual como cargando una archivo de configuración con los siguientes pasos:

1. En el menú, seleccione - Cargar archivo de configuración.
2. La configuración del archivo se actualizará en la pantalla de configuración.
3. La barra de estado debe mostrar que se completó la actualización de la configuración del instrumento.

Guardar un archivo de configuración

Después de que se hayan completado los ajustes para el instrumento en la configuración, la configuración se puede guardar en un archivo usando guardar configuración.

Es necesario guardar y descargar la configuración para poder iniciar con el proceso de toma de datos, de otra manera no tomara la configuración modificada o cargada.

Para descargar la configuración se debe hacer uso de la opción descargar y así la configuración quedara cargada para el FemtoDAQ.

Recuperación de configuraciones del FemtoDAQ

Para recuperar la configuración actual del FemtoDAQ, haga clic en el botón RECUPERAR CONFIGURACIÓN. El panel de configuración se actualizará con la configuración del instrumento.

Medidas de forma de onda

Realizar una medición de forma de onda

Para realizar la medición de una forma de onda se debe:

1. Haga clic en la pestaña Mostrar formas de onda para ir a la pantalla de formas de onda.
2. Se muestran los ajustes de medición predeterminados, ellos deberían ser:
 - Modo de captura
 - Selección de captura: entrada A y entrada B
 - Número de muestras
3. Marque la entrada B o A para capturar y trazar solo los datos para la entrada que desee capturar.
4. Haga clic en el botón INICIAR CAPTURA para capturar una forma de onda.
5. La forma de onda aparecerá en el gráfico cuando se complete la captura.
6. El gráfico de manera automática. mostrará el valor máximo de la forma de onda visible.
7. Para acercar el gráfico, haga clic en cualquier parte del gráfico y use la rueda de desplazamiento del mouse para acercar y alejar. El ratón también se puede usar para desplazar la forma de onda hacia la izquierda y hacia la derecha. Otra forma de hacer zoom y desplazarse en el gráfico es hacer uso de las opciones flotantes de la parte superior derecha del gráfico.
8. Haga clic en el botón FULL SPAN para devolver el gráfico a la captura de forma de onda completa.

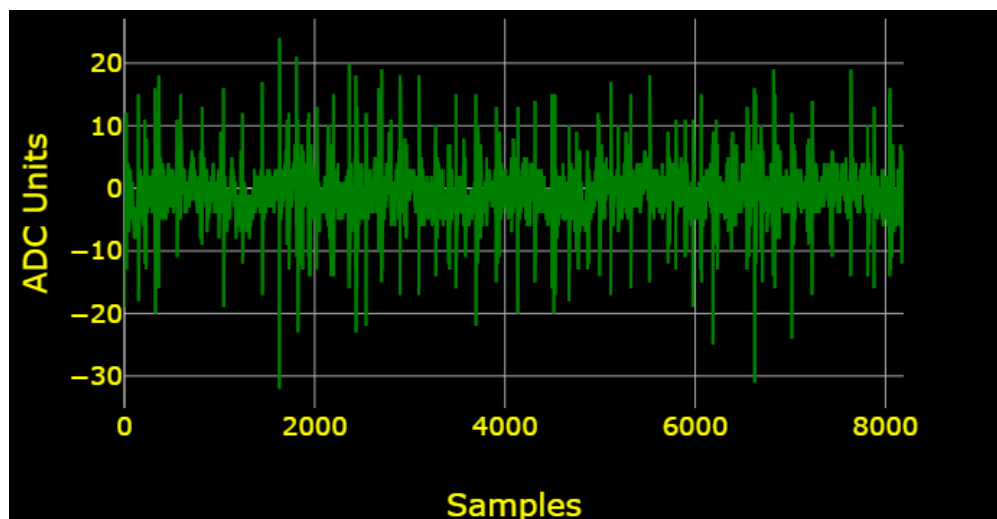


Figura 4.1.31: Forma de onda de única captura para un láser rojo

Configuración de medición de forma de onda

Modo de captura

El modo de captura establece si se trata de una sola captura, un conjunto continuo de capturas o un número específico de capturas.

Si se selecciona SINGLE, se producirá una captura de forma de onda única cuando se haga clic en START CAPTURE.

Si se selecciona CONTINUO, se realizarán múltiples capturas después de hacer clic en INICIAR CAPTURA. Para detener las capturas continuas, haga clic en DETENER CAPTURA.

Si se selecciona CUANTOS, se realizarán varias capturas después de hacer clic en INICIAR CAPTURA. El número de capturas será igual al valor ingresado para cuántas capturas de formas de onda. Para detener las capturas prematuramente, haga clic en DETENER CAPTURA.

Para los modos CONTINUO y CUÁNTOS, cada captura se adjuntará a un archivo de datos sin grabar. La captura más reciente se mostrará en la pantalla de gráficos.

Tiempo de espera de forma de onda

El valor de tiempo de espera de forma de onda establece el intervalo de tiempo (en segundos) para esperar un disparo después de INICIO, se hace clic en CAPTURA. Si no se produce un disparador dentro del período de tiempo de espera, la captura se detendrá y el mensaje de la barra de estado indicará que no se cumplieron las condiciones de activación. Este valor debe establecerse en el intervalo máximo entre eventos de captura para evitar señales perdidas.

Número de muestras

Esto selecciona el número de muestras recuperadas del FemtoDAQ para la forma de onda entrante. se puede recuperar un número máximo de 8192 muestras para cada forma de onda. El número de las muestras deben seleccionarse para incluir la forma de onda completa, o al menos la región de interés en el forma de onda.

Interpretación gráficas de forma de onda

Las unidades ADC (eje y) representan el valor máximo de ADC para cada pulso o evento que se presenta en la señal. Esto normalmente se denomina altura del pulso y (con la calibración adecuada) es un método para determinar la energía del pulso. Las muestras (eje x) son los eventos de pulso durante los eventos seleccionados a detectar.

La altura del pulso no siempre es un método de energía óptimo, por lo que un paso siguiente a este trabajo es guardar las formas de onda directamente y crear conjuntamente los histogramas utilizando otro software. Además no se pudo presentar una conversión entre las unidades ADC y la energía o la frecuencia de la fuente de radiación, hasta la obtención de un modelo matemático del montaje, el cual depende de la respuesta de cada uno de los componentes y se requiere una gran cantidad de datos y fuentes de luz caracterizadas para obtener este modelo.

Desafortunadamente, no puede guardar formas de onda e histogramas simultáneamente en la GUI, pero se puede hacer usando scripts en python.

Guardar datos

Cuando la casilla de guardado está marcada, los datos se grabarán en un archivo de datos csv y mdf.

Para acceder a los datos registrados mediante la interfaz web, se debe recordar que la FemtoDAQ es una computadora con Linux, y está enlazada con los servidores remotos a la que fue conectada.

La forma más sencilla de obtener los datos es con un programa como Filezilla (u otro programa FTP que se debe descargar en su computadora). Le permitirá conectarse al FemtoDAQ, los servidores y su PC y descargar datos.

conectarse usando:

host: sftp:// 192.168.7.2(dirección IP femtodaq)
nombre de usuario: user
contraseña: skutek
puerto: 22

4.1. INSTRUMENTACIÓN

Navegue hasta el directorio: /home/user/data (mitad derecha de la siguiente imagen de la pantalla de Filezilla).

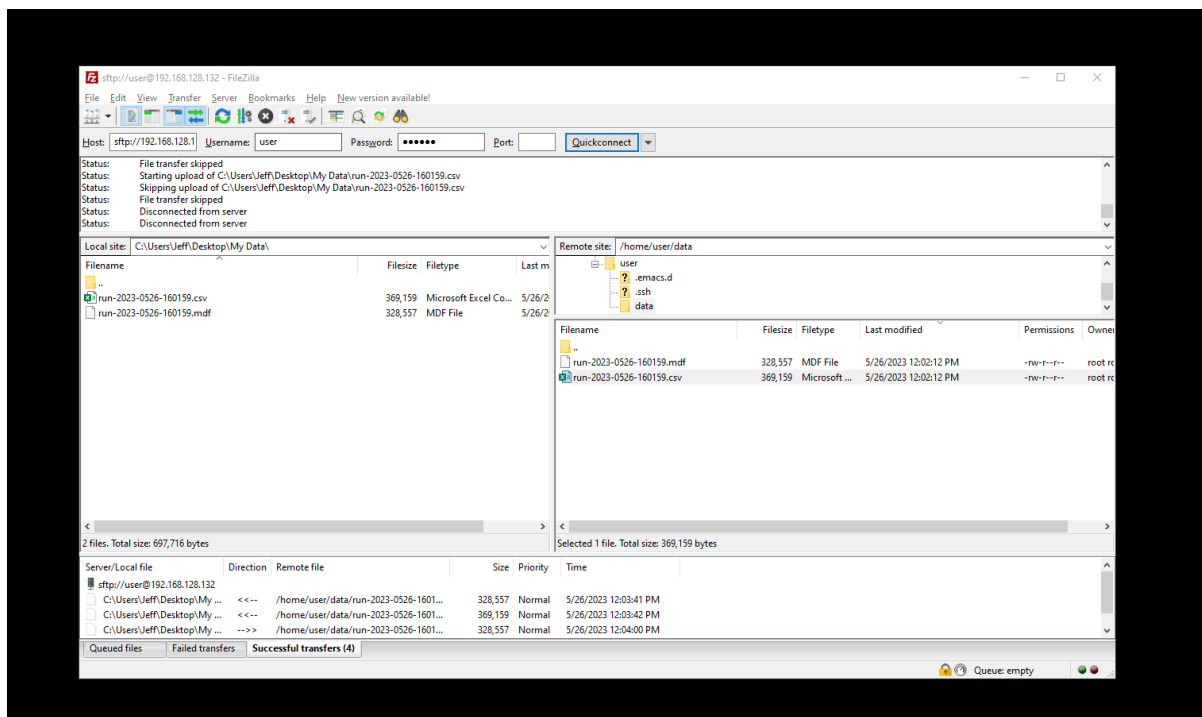


Figura 4.1.32: interfaz gráfica de Filezilla

Se verán los archivos de datos con la marca de tiempo. Todos los datos se guardan en dos formatos separados .csv y .mdf. Haga doble clic en los archivos que desee descargar. Los archivos CSV se pueden abrir en Excel o un programa similar, también se puede usar IGOR o Python. Recuerde seleccionar el destino de la descarga en la parte central izquierda.

Nota: La marca de tiempo de los archivos esta asociada a la configuración del reloj interno del digitalizador, si se requiere actualizar la hora y fecha se debe conectar el digitalizador a internet, de esta manera se actualizara automáticamente. Sin embargo esta configuración se pierde cada vez que el digitalizador es desconectado de la fuente de y retorna a los valores de fabricación.

Mediciones de histograma

Para realizar la medicion de un histograma se debe:

1. Haga clic en la pestaña Mostrar histogramas para ir a la pantalla de histograma.
2. Se mostrarán los ajustes de medición predeterminados. Ellos deberían ser:
 - Modo de captura:
 - Selección de captura: entrada A y entrada B
 - Duración del histograma(s)
3. Marque la entrada B o A para capturar y trazar solo los datos para la entrada que desee capturar.

4. Haga clic en el botón INICIAR CAPTURA para capturar un histograma.
5. El gráfico se actualizará mientras se ejecuta un histograma.
6. El valor máximo mostrará el valor máximo de los datos del histograma en el gráfico visible.
7. Para acercar, haga clic en cualquier parte del gráfico y luego gire la rueda de desplazamiento hacia adelante para acercar y atrás para alejar. Otra forma de hacer zoom y desplazarse en el gráfico es hacer uso de las opciones flotantes de la parte superior derecha del gráfico.

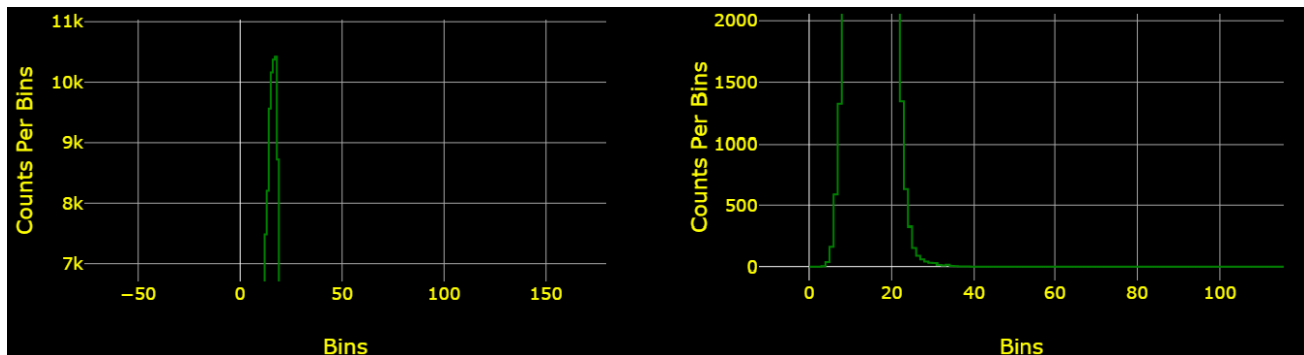


Figura 4.1.33: Histograma para un láser rojo, captura de 2s

Configuración de medición de histograma

Duración del histograma

El valor de duración del histograma establece el período de tiempo (en segundos) para capturar los datos del histograma.

Intervalo de actualización

En la captura de histograma, el intervalo de actualización determina la frecuencia con la que se actualiza la pantalla durante un histograma. Por ejemplo, si un histograma se ejecuta durante varios minutos, puede ser conveniente tener la actualización de pantalla cada 10 segundos durante la medición para ver cómo está progresando. Si los datos están siendo registrados, sólo se registra el histograma final.

Interpretación gráficas de histogramas

Las unidades ADC se traducen a bins (eje x) y representan el valor de ADC para cada pulso o evento que se presenta en la señal. El ADC se relaciona con la longitud de onda, frecuencia o energía de la fuente de medición. El conteo de bins (eje y) determina la cantidad de eventos que se producen por cada valor de ADC.

Como se menciono anteriormente, aun no es posible presentar una conversión entre las unidades ADC y la energía o la frecuencia de la fuente de radiación, hasta la obtención de un modelo matemático del montaje, el cual depende de la respuesta de cada uno de los componentes y se requiere una gran cantidad de datos y fuentes de luz caracterizadas para obtener este modelo. Este modelo permitiría encontrar la cantidad de eventos asociados a una determinada longitud de onda, frecuencia o energía. También permitiría encontrar la eficiencia del detector exponiéndolo a una fuente de radiación caracterizada.

Guardar una medida de histograma

4.1. INSTRUMENTACIÓN

Igual que en las ondas, se guarda un histograma en archivos csv y mdf. Se debe seguir la misma ruta que en las formas de onda para guardar los archivos y descargarlos.

Apagando la FemtoDAQ

Es seguro simplemente desconectar el instrumento de la corriente eléctrica luego de desconectar el puerto USB de manera correcta de la computadora.

Implementación en el montaje

Dentro de nuestro montaje el digitalizador FemtoDAQ LV-2 permite la obtención de las señales digitales después de generar una conversión de la señal analógica del detector.

Nos brinda una interfaz gráfica por medio de la PC en donde podemos configurar nuestra toma de datos y podemos generar los histogramas y formas de onda para las diferentes fuentes de radiación y podemos obtener los datos csv y mdf mediante la conexión de su computadora y los servidores remotos a los que se encuentra vinculada.

4.1.4. Fotomultiplicador Hamamatsu MPPC serie S13360-3025CS

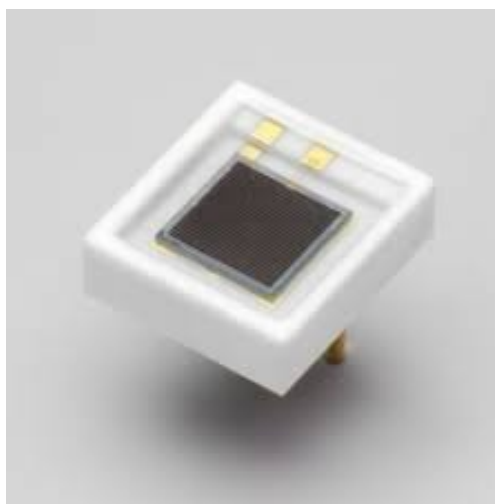


Figura 4.1.34: Fotomultiplicador MPPC serie S13360-3025CS. Extraído guía de usuario Hamamatsu MPPC serie S13360.

El fotomultiplicador Hamamatsu MPPC (referencia de los fotomultiplicadores de silicio de Hamamatsu) serie S13360 es un tipo de dispositivo que se encuentra en el grupo de los SiPM (fotomultiplicadores de silicio por sus siglas en inglés). Es un nuevo tipo de dispositivo de conteo de fotones que consiste en múltiples píxeles APD (fotodiodo de avalancha) en modo Geiger. Es un opto-semiconductor con un excelente recuento de fotones.

Tiene una capacidad y bajo voltaje de operación y es inmune a los efectos de los campos magnéticos, los detectores de la serie S13360 son MPPC para mediciones de precisión. Son adecuados para mediciones de citometría de flujo, secuenciador de ADN, microscopio láser y medición de fluorescencia, que requieren características de bajo ruido.

Características

EL fotomultiplicador Hamamatsu MPPC serie S13360-3025CS cuenta con una serie de características:

- Funcionamiento de bajo voltaje, máximo 5V.
- Tiene una área fotosensible de 3.0x3.0mm.
- Excelente resolución de tiempo.
- Inmune a los efectos de los campos magnéticos.
- Funciona con un circuito de lectura simple.
- Incluye una reducción de diafonía.
- Excelente capacidad de conteo de fotones con buena eficiencia de detección contra número de fotones incidentes.
- Funciona a temperatura ambiente.

Aplicaciones

Las aplicaciones de este tipo de detectores abarcan muchos campos de estudio en diferentes contextos y que pueden ser futuros enfoques de estudio, algunos de ellos son:

- Medición de fluorescencia.
- Citometría de flujo.
- Microscopios láser.
- Secuenciadores de ADN.
- Análisis ambiental.
- Astronomía.
- Diversas investigaciones académicas.

Recomendaciones de seguridad

Condensación

Cuando hay una diferencia de temperatura entre el fotomultiplicador y el área circundante en ambientes de alta humedad, se produce condensación de rocío. Puede ocurrir en la superficie del producto, la condensación de rocío puede causar deterioro en las características y la precisión del instrumento. Se recomienda trabajar en un ambiente donde este controlada la humedad.

Nota: Superar los valores máximos de conexión, aunque sea momentáneamente, puede provocar una caída en la calidad del producto. Asegúrese siempre de utilizar el producto dentro de los valores máximos absolutos.

4.1. INSTRUMENTACIÓN

El fotomultiplicador Hamamatsu MPPC serie S13360-3025CS funciona a su máxima eficiencia mediante una conexión de 5V y 0,2A. Valores inferiores a estos pueden ser permitidos pero se requiere evaluar su eficiencia en los valores seleccionados de voltaje y corriente

Pulsos de salida

Cuando un MPPC detecta fotones, la salida puede contener pulsos espurios, es decir, post-pulso y diafonía, que están separados del pulsos de salida de los fotones incidentes, cuando los pulsos se emiten más tarde que el momento en que se recibe la luz incidente, se emite un post pulso. Se emite diafonía cuando otros píxeles emiten un pulso al mismo tiempo que la detección de luz.

En la serie S13360, se ha logrado una baja diafonía además de un bajo post-pulso. Sin embargo en algunas medidas de histograma se logra detectar estos pulsos separados de los datos experimentales.

Conexión

Para la conexión de los fotomultiplicadores se debe seguir el siguiente esquema, que muestra como debe conectarse adecuadamente el detector.

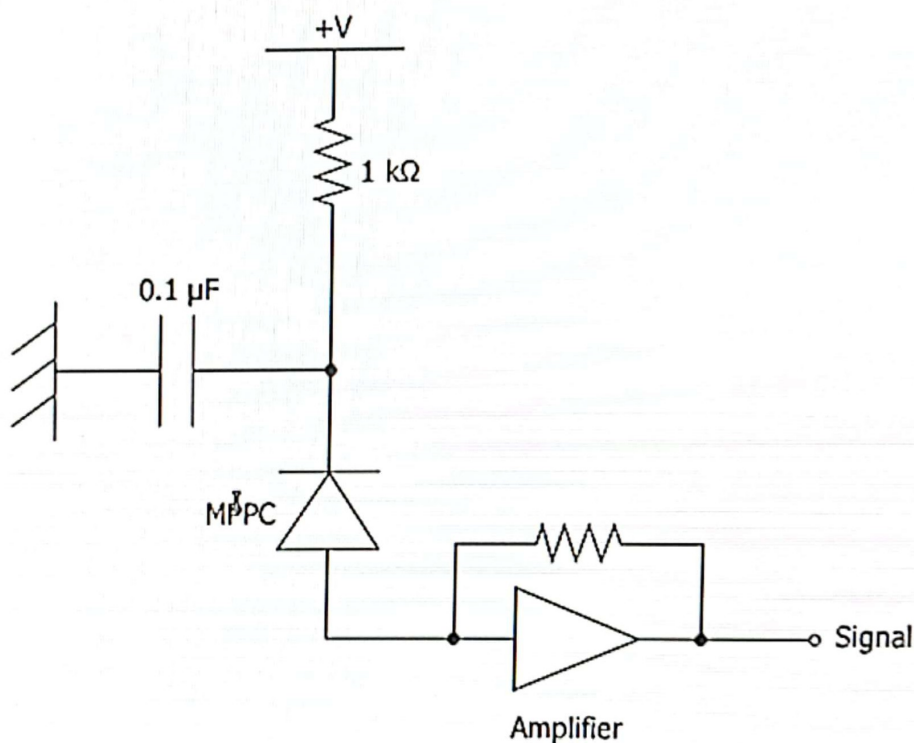


Figura 4.1.35: Conexión Fotomultiplicador. Extraído guía de usuario Hamamatsu MPPC serie S13360.

Es de notar que dentro del montaje se encuentra un amplificador, el cual puede ser diseñado mediante un integrado de amplificación que se tenga como preferencia, en nuestro montaje experimental fue usado un amplificador LM324.

Implementación en el montaje



Los fotomultiplicador Hamamatsu MPPC serie S13360 para nuestro montaje experimental son los detectores de partículas usados, son capaces de detectar fuentes de radiación que se encuentren entre 270nm a 900nm, involucrando parte del infrarrojo, luz visible y el ultravioleta.

Por eso en nuestro experimento serán usados para detectar las partículas y generar las señales analógicas para fuentes de rayos láser de colores rojos y verdes, señales que serán llevadas al proceso de digitalización previamente mencionado.

Capítulo 5

Guía de laboratorio

Preinforme

Lea cuidadosamente la descripción completa del laboratorio, la caracterización de los instrumentos, las condiciones de seguridad y responda las siguientes preguntas basadas en el contenido de la lectura.

1. ¿Que es un fotomultiplicador?

2. ¿Con que voltaje se debe alimentar los fotomultiplicadores MPPC de las serie S1336

3. Realice un esquema o plano del montaje de un amplificador de señal para conectar un fotomultiplicador MPPC de la serie S1336. al digitalizador FemtoDAQ LV-2.

4. ¿Con que voltajes se debe conectar los amplificadores conectados al circuito?



5. Mencione las precauciones de seguridad para los instrumentos de laboratorio:

- FemtoDAQ LV-2.

- Fotomultiplicador Hamamatsu serie S1336.

- Fuente de alimentación CC lineal PWS2721.

- SDS2000X Series Digital Oscilloscope UM0102X-E01A.

6. Mencione brevemente la utilidad y el funcionamiento los instrumentos de laboratorio:

- FemtoDAQ LV-2.

- Fotomultiplicador Hamamatsu serie S1336.

- Fuente de alimentación CC lineal PWS2721.

- SDS2000X Series Digital Oscilloscope UM0102X-E01A.

Objetivos

En esta práctica de laboratorio se expondrá un fotomultiplicador a una fuente de radiación a fin de lograr los siguiente objetivos:

- Comprobar el valor ADC para una determinada fuente de radiación.
- Realizar el montaje del procedimiento experimental en el que se expongan los detectores fotomultiplicadores a una fuente de radiación.
- Obtener los datos de señales ADC con sus respectivas gráficas y tablas de datos.
- Comparar la respuesta del fotomultiplicador para validar los datos y el funcionamiento del montaje.

Materiales

- SDS2000X Series Digital Oscilloscope UM0102X-E01A.
- Fuentes de alimentación CC lineal PWS2721.
- Digitalizador FemtoDAQ LV-2.
- Fotomultiplicador Hamamatsu MPPC serie S13360.
- Cables de arduino.
- Cables de conexión.
- Multímetro.
- Materiales para elaboración de una amplificador. (capacitador, resistencias, amplificador LM324)

Fundamento Teórico

El fotomultiplicador Hamamatsu MPPC serie S13360 es un tipo de dispositivo que se encuentra en el grupo de los SiPM (fotomultiplicadores de silicio). Es un dispositivo de conteo de fotones que consiste en múltiples píxeles APD (fotodiodo de avalancha) en modo Geiger. Es un opto-semiconductor con un excelente recuento de fotones.

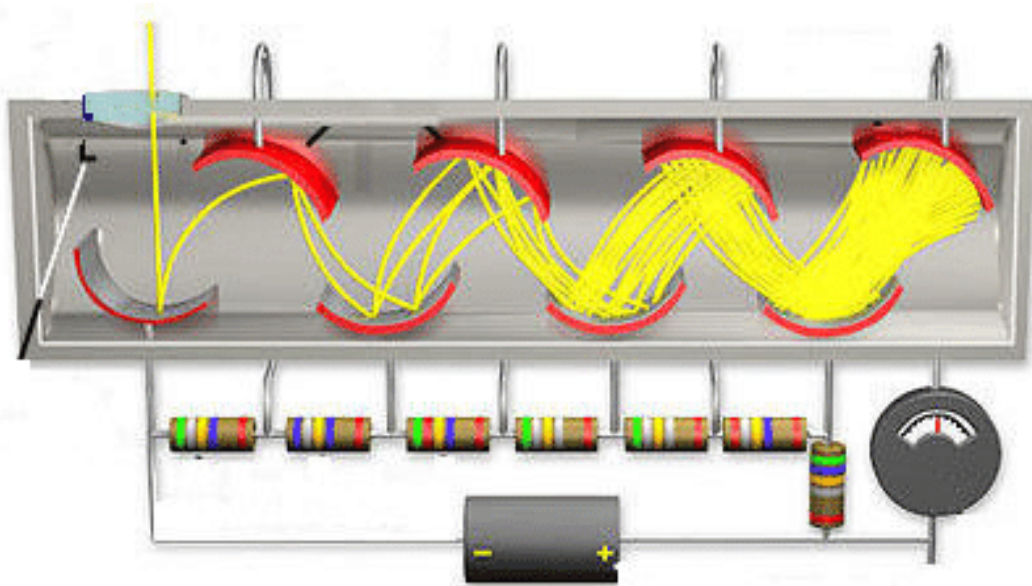


Figura 5.0.1: Misael Rosales University of the Andes (Venezuela) | ULA · Department of Physics. experimento-Carmen-b

La figura ejemplifica el proceso de fotomultiplicación dentro de un detector, aclarando que se refiere a un fotomultiplicador de tubo en el que es más fácil visualizar este proceso.

Cuando los fotones interactúan con un receptor fotosensible generan una corriente eléctrica que puede ser amplificada mediante una serie de pasos, los fotomultiplicadores MPPC de la serie S1336. pueden captar la radiación de diferentes fuentes entre 270nm a 900nm y generan una señal analógica representativa de las partículas captadas, señal que al ser digitalizada puede ser analizada por diferentes softwares.

En esta práctica Las señales producidas por el fotomultiplicador que son de carácter analógico y de baja intensidad, se llevan a un proceso de amplificación estas señales pueden ser digitalizadas y analizadas por la computadora.

Este proceso permite encontrar los valores de las conversiones analógicas digitales (ADC) los cuales se relacionan con la cantidad de eventos detectados, su energía, longitud de onda o frecuencia asociada.

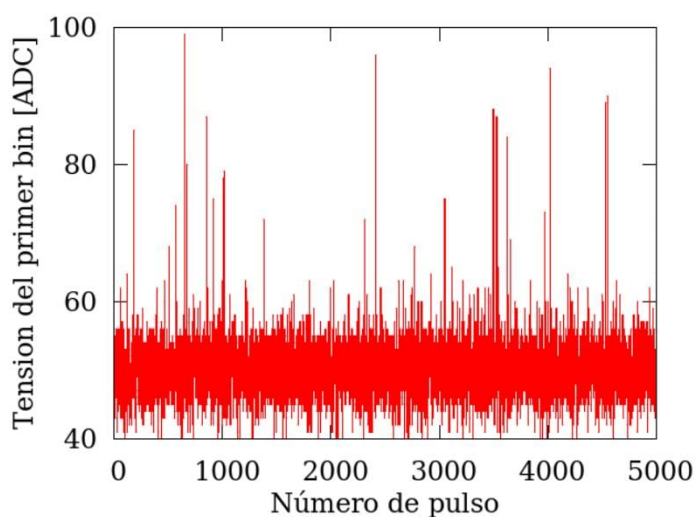


Figura 5.0.2: Y. Oda. Sistemas de detección de partículas basados en fotomultiplicadores con matriz de Silicio, con aplicaciones a muongrafías de volcanes. Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, 2016.

En la figura anterior se muestra una forma de onda para eventos consecutivos, en donde cada evento representa un pulso generado por la detección de partículas, una forma de onda similar se debe producir en caso de que la señal del fotomultiplicador y posterior digitalización sea correcta.

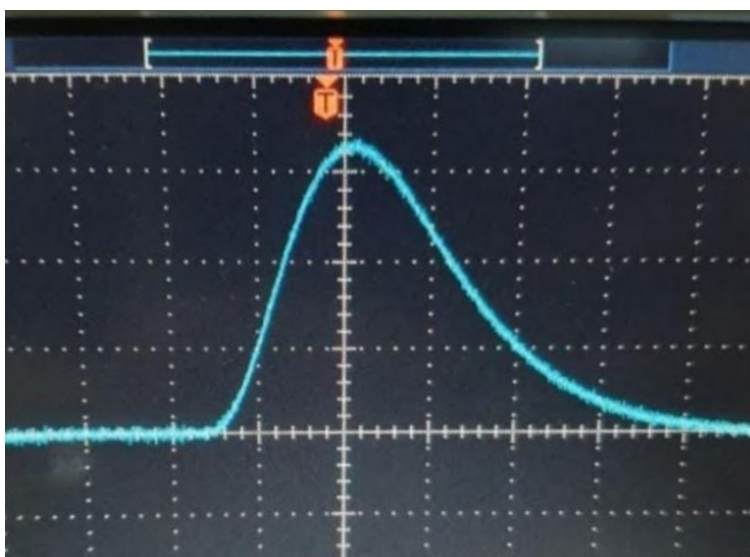


Figura 5.0.3: Nadia W. Brzostowicz. Caracterización de un detector de centelleo de última generación de $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$. centros de investigación asociados al CSIC.

En la imagen anterior se muestra la visualización en el osciloscopio, de como las señales digitales de distinta altura se colocan en el histograma en valor creciente de su amplitud. Los datos de este histograma, cuyo eje horizontal lo constituyen los canales (bins) asignados en función de la amplitud del pulso, y el eje vertical

el número de veces que se repiten señales de la misma amplitud. Si la señal es correcta el Histograma de valores ADC debe presentar una tendencia similar. La señal correcta también se especifica en el libro [4].

En esta practica se validara los datos de salida para un un montaje de fotomultiplicadores expuestos a una fuente de radiación electromagnética, mediante las formas de onda para eventos consecutivos y los histogramas de valores ADC esperados.

Procedimiento Experimental

Primero observe toda la caracterización de los instrumentos y los procedimientos de configuración. **Nota:** recuerde que en el procedimiento experimental se debe usar guantes aislantes que protejan los dispositivos electrónicos usados, si es posible use manillas antiestáticas como una medida adicional de precaución.

Realice la configuración y pruebas de los instrumentos de laboratorio y anote los resultados.

Realice un montaje de un amplificador usando un integrado de amplificación, mediante este amplificador conecte los dispositivos del montaje. **Nota:** se recomienda usar el amplificador LM324 que cuenta con 4 amplificadores en uno.

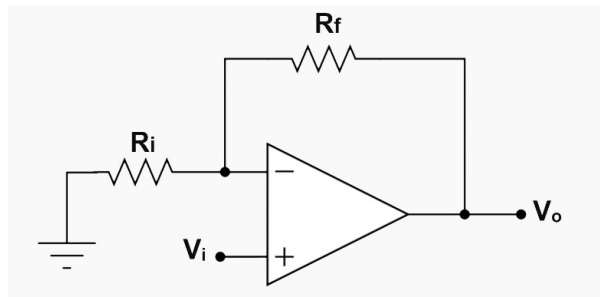


Figura 5.0.4: Circuito amplificador

Conecte mediante una protoboard el circuito anterior, en donde las resistencias elegidas se deben ubicar teniendo en cuenta que la ganancia generada esta determinada por:

$$V_0 = V_i(1 + R_2/R_1)$$

Nota: se recomienda una salida aproximada de 0.6V a 0.7V, se probo experimentalmente una buena respuesta del digitalizador en estos voltajes. Recuerde que para el amplificador recomendado (integrado LM324) se debe usar una fuente de voltaje de 12V, fuente adicional a la fuente de alimentación CC lineal PWS2721 ya que esta es usada para conexión del fotomultiplicador.

Se debe terminar el circuito con las conexiones presentadas en la caracterización del Fotomultiplicador Hamamatsu MPPC serie S13360-3025CS.

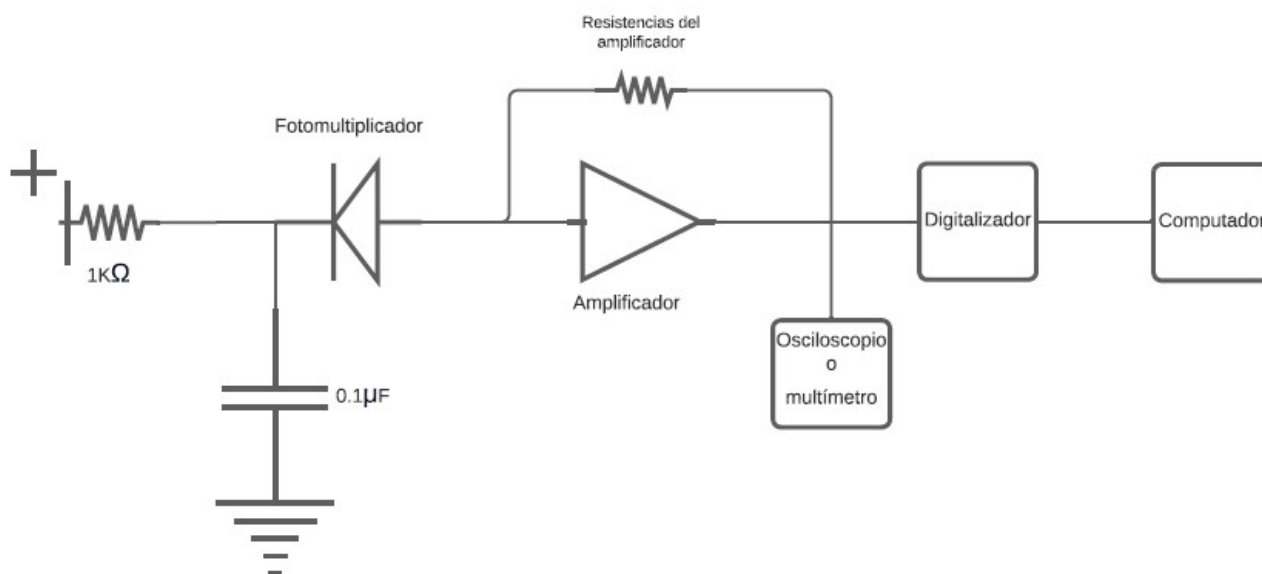


Figura 5.0.5: Montaje del experimento

En el diagrama anterior se muestra el montaje completo del experimento, es de aclarar que el osciloscopio no interfiere de manera significativa en el experimento, ya que solo nos permite verificar las señales que son enviadas al digitalizador y puede ser remplazado por un multímetro, el uso del osciloscopio presenta ventajas en la visualización gráfica de la señal y la precisión de la medida.

Recuerde que se debe hacer todos los pasos para permitir el funcionamiento de los controladores en su computador, los pasos de conexión a los servidores y la instalación de un software FTP que le permita acceder a la interfaz gráfica de usuario y a los archivos del experimento. De ser necesario realizar el procedimiento de actualización.

Seleccione la fuente de radiación que se quiere estudiar, recuerde reducir la interacción con otros tipos de radiación electromagnética y que los detectores son sensibles a un rango de de 270 a 900 nanómetros.

Medidas del fotomultiplicador

Para la toma de datos realice los siguientes pasos:

1. Realice la conexión para dos fotomultiplicadores y conecte a las dos entradas analógicas del digitalizador. En la forma de onda compare las formas de onda (puede ser para captura única) de las señales emitidas por un foto multiplicador a 0V y otro a 5V que es el voltaje máximo para este tipo de detectores. Registre y guarde la forma de onda. **Nota:** no olvide registrar la hora y fecha asociada a la forma de onda.
2. Dirija la fuente de radiación seleccionada para estudio a los fotomultiplicadores y tome las formas de onda y los histogramas. Esto depende de la cantidad de datos y fuentes de radiación que quiera tomar. **Nota:** Registre y guarde, no olvide registrar la hora y fecha asociada a la forma de onda.
3. Mediante los archivos csv. encuentre el numero de cuentas para las conversiones digitales y realice la tabla correspondiente. Si es posible compare el valor de las cuentas digitales con el valor de la



energía, longitud de onda o la frecuencia, esto sera posible si se cuentan con fuentes de radiación caracterizadas.

4. Finalmente registre sus conclusiones.

Informe

- **Registro de funcionamiento.** Registre la forma de onda producida en la comparación de los dos fotomultiplicadores a 0V y 5V.
- Registre la forma de onda y los histogramas producidos por la fuente de radiación, no olvide referencia la fuente de radiación y las características de la toma. **Nota:** No olvide guardar las gráficas y descargar los archivos csv. con ayuda de un software FTP
- Realice las tablas de datos para los histogramas en donde se muestre el numero de cuentas para las conversiones digitales.
- Con las tablas de datos realice las gráficas de respuesta asignado valores de 1, 2, 3 hasta el el numero donde tenga valores significativos. Compare la respuesta obtenida con la bibliografía para saber si su montaje esta encontrando la señal adecuada.
- ¿Cuál es es la interpretación de las tablas obtenidas?

- ¿Cuales son los valores ADC representativos para su fuente de radiación?

- De sus conclusiones

5.1. Aplicación de la guía de Laboratorio

En la aplicación de la guía de laboratorio se siguieron los pasos descritos para la calibración de los equipos de laboratorio y el montaje de nuestro procedimiento experimental.

Calibración fuente de voltaje

Inicialmente se realizó los montajes para la pruebas de ruido de voltaje y de ruido actual, para verificar el funcionamiento y la calibración de la fuente lineal, para esto se contó con la ayuda del osciloscopio y una resistencia de potencia de un ohmio y de una potencia de 10W. **Nota:** En esta paso se generaron dificultades por la implementación correcta de la resistencia, si esta no soporta la potencia se quemara el circuito



Figura 5.1.1: Montaje resistencia de potencia

Se encontraron los siguientes valores para el ruido:

Ruido de voltaje: 0mV

Ruido actual: 0,67mV

se recuerda que los valores aceptados para la la fuente PWS2721 son:

Ruido de voltaje: Máximo rms 2mV

Ruido actual: Máximo rms 5mV

De esta manera se pudo comprobar que los valores de ruido, para la fuente de voltaje que alimenta nuestro fotomultiplicador son aceptables y se puede continuar con el montaje.

En la siguiente figura se muestra el montaje elaborado para la fuente de radiación (láser rojo).



Figura 5.1.2: Montaje láser rojo

Conexión fotomultiplicador

Como se ha mencionado anteriormente, el proceso interno del fotomultiplicador permite la generación de una señal debido a la amplificación de una primera corriente generada por el efecto fotoeléctrico en la primera capa sensible del receptor.

Sin embargo, la amplificación interna generada por el fotomultiplicador no es lo suficientemente grande aún para trabajar la señal en los siguientes pasos del montaje, debido a esto es necesario la implementación de un sistema de amplificación, en este caso un montaje de realizado en protoboard con el uso de un integrado LM324.

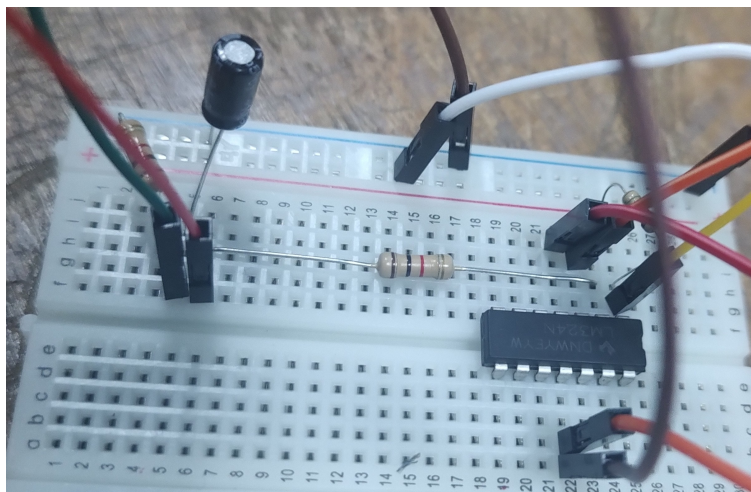


Figura 5.1.3: Montaje circuito amplificador

En la imagen anterior se muestra la conexión de un amplificador no inversor usando las primeras entradas del integrado LM324, se armó el montaje usando cable de arduino debido a la facilidad de conexión y calidad. En la misma protoboard se ubico el montaje requerido por parte del fotomultiplicador.

Es de aclarar que en este paso se integró al montaje una nueva fuente de voltaje de corriente directa, ya que la fuente lineal PWS2721 está calibrada en este montaje para entregar 5V que necesita el fotomultiplicador,

5.1. APLICACIÓN DE LA GUÍA DE LABORATORIO

pero los integrados de la serie LM324 necesitan 12V para trabajar de manera adecuada y la fuente lineal PWS2721 solo cuenta con una salida de voltaje.

Las señales de salida del fotomultiplicador fueron verificadas con ayuda del osciloscopio y un multímetro digital, de igual manera se verificó la señal de salida del circuito amplificador que tiene un valor de 0.66V. Estas señales fueron redirigidas al digitalizador de nuestro montaje (FemtoDAQ LV-2) que cuenta con dos entradas analógicas para recibir este tipo de señales.



Figura 5.1.4: Verificación de señal de salida.

En la siguiente imagen se muestra el montaje y la exposición del fotomultiplicador al láser rojo.

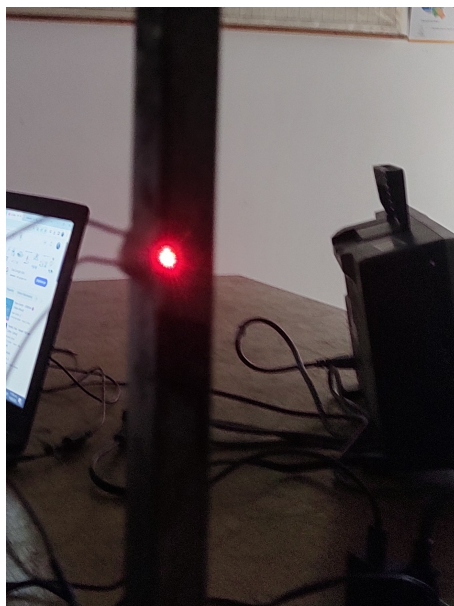


Figura 5.1.5: Fotomultiplicador expuesto a un láser rojo

De esta manera se logro montar el circuito siguiendo los esquemas y los pasos descritos en las guía de laboratorio.

Fue importante estudiar sobre sistemas de amplificación para montar el circuito y dejar la guía para conexión y montaje del amplificador.

Los procesos internos del digitalizador permiten que la señal analógica se convierta en una señal digital que puede ser transmitida mediante el puerto USB al computador.

Calibración del FemtoDAQ LV-2

Inicialmente fue necesario seguir los pasos de actualización de nuestro dispositivo, ya que el software que poseía nuestro dispositivo no permite la conexión con el computador, en donde se requiere la instalación de programas controladores en el computador y actualmente el FemtonDAQ LV-2 usa servidores remotos para su funcionamiento.

Con los inconvenientes presentados fue necesario solicitar la nueva imagen de software a Skutek instrumentation quienes son los fabricantes del FemtoDAQ LV-2, proceso que se lleva a cabo vía correo electrónico. Se recuerda que como indican los pasos de actualización de software se debe tener a disposición una memoria Micro SD de mínimo 4G y se debe tener instalado en nuestro computador un programa de flasheo de memorias en nuestro caso Win32 disk imager.

Siguiendo los pasos de actualización de software se completó la actualización del FemtoDAQ LV-2, para seguridad de que el proceso de instalación fue adecuado se dejó pasar un tiempo de 1 hora y media.

Controladores

Una vez se realiza la conexión con nuestras computadora a través del puerto USB se debe habilitar los controladores de la computadora que permiten tener control sobre el digitalizador FemtoDAQ LV-2. Encontramos que estos controladores windows los mantiene desactivados por defecto, debido al gran consumo de recursos que generan (memoria y energía), se siguieron los pasos de activación para lograr habilitarlos desde el administrador de dispositivos de windows.

Conexión con los servidores

Para lograr la conexión con los servidores remotos, que nos permiten ingresar a la interfaz gráfica de usuario, posterior calibración y toma de datos, se debe contar con el programa Putty que permite establecer la conexión y probarla como se indica en los pasos de esta conexión.

GUI o interfaz gráfica de usuario

Una vez se compruebe la conexión de los servidores se puede ingresar a la interfaz gráfica de usuario mediante el navegador. El ingreso se puede repetir cuantas veces sea necesario.

Nota: se debe ingresar inicialmente a la cuenta de gmail y conectar el digitalizador FemtonDAQ LV-2 mediante el puerto USB, antes de ingresar a la GUI, para que se permita el correcto ingreso a los servidores. Esto se noto despues de varias pruebas en las que no fue posible ingresar a la GUI.

Una vez dentro de la GUI se debe configurar para el experimento que se esté realizando, en nuestro caso tomamos un configuración precargada de pulso para tomar los datos de nuestro experimento ya que después de probar las diferentes configuraciones era la que nos permitía visualizar los histogramas generados por la señal de nuestro detector. Además de que la señal emitida por el fotomultiplicador tiene forma de pulso.

5.1. APLICACIÓN DE LA GUÍA DE LABORATORIO

Se debe tener en cuenta los siguientes pasos para que la configuración quede registrada de manera adecuada:

1. Cargar la configuración requerida (los valores pueden ser modificados dependiendo de las necesidades del experimentador).
2. Guardar la configuración de la GUI.
3. Descargar la configuración en el FemtoDAQ LV-2.

Una vez esté lista la configuración de la GUI se puede pasar a la toma de datos.

Una de las opciones es tomar las formas de onda que se producen en donde se tienen varios modos de captura. También se puede tomar el histograma en donde se puede escoger el tiempo para la captura del mismo.

En los dos casos con la opción de guardar, es posible guardar los datos en archivos csv. y mdf. para su posterior análisis.

Este procedimiento fue usado para guardar las formas de onda y los histogramas requeridos junto a sus archivos csv. para dos fuentes de radiación, láseres de color verde y rojo que están a disposición en el laboratorio de física moderna, pero que lamentablemente no se encuentran caracterizados.

Obtención de datos csv.

Para la obtención de los datos en csv. se debe recordar que debido a la incompatibilidad de los servidores, el sistema linux del FemtoDAQ LV-2 y el sistema operativo (windows) del computador, se debe hacer uso de un software FTP en nuestro caso usamos FileZilla.

Mediante el software se realizó la transmisión de los archivos al computador, donde fueron clasificados mediante su marca temporal junto a las respectivas gráficas de histogramas y formas de onda, que fueron descargados directamente desde la GUI.

Es importante aclarar que todos los pasos descritos para el proceso de amplificación y la puesta en marcha del digitalizador no se encuentran en ningún manual de usuario y todo este proceso de caracterización y puesta en marcha se logró mediante la interacción con los instrumentos de laboratorio.

Este proceso generó muchas dificultades y convirtió en un reto la puesta en marcha del montaje, debido a la falta de bibliografía, se tuvo que estudiar sobre controladores, actualización de software, conexión con servidores remotos y locales, programas FTP y probar la interfaz gráfica de usuario del digitalizador, desde sus modos de uso, hasta sus formas de calibración. De esta manera se logra dejar una caracterización y una guía detallada de estos procesos.

Capítulo 6

Análisis guía de laboratorio

Para probar el montaje experimental se escogieron láseres de colores verde y rojo, ya que están compuestos de un solo tipo de luz y están dentro del rango de las longitudes de onda que captan los fotomultiplicadores con que se está trabajando, que van de 270 a 900 nanómetros.

Prueba de la forma de onda

Para probar la correcta recolección de las señales de los fotomultiplicadores y evaluarlas con referente al ruido del sistema, se comparó las señales de los canales analógicos, uno conectado a la señal del fotomultiplicador y el otro únicamente expuesto al ruido electrónico. En el canal A se conectó la señal analógica del fotomultiplicador al máximo voltaje con el que trabaja que es de 5V, expuesto a la luz natural del laboratorio y en el canal B se presenta conexión para un fotomultiplicador a 0V. Para todos los datos tomados durante nuestro experimento se tomó el valor máximo de voltaje de operación.

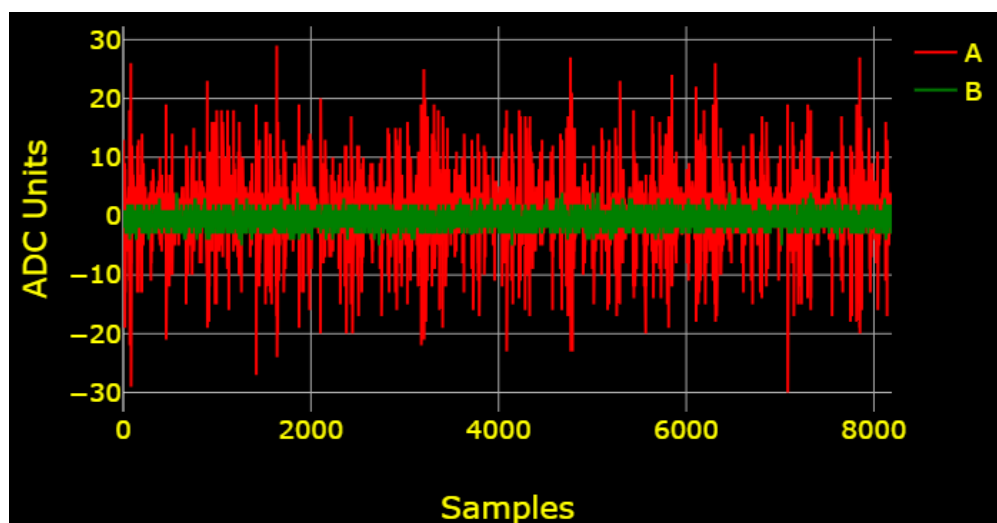


Figura 6.0.1: Forma de onda de única captura señal ruido-luz natural

En la imagen anterior se evidencia los picos representativos de una señal del detector (canal A en rojo) y las unidades ADC que se están captando de manera correcta, también se evidencia la diferencia de la señal del ruido del sistema (canal B en verde). El disparo en la interfaz gráfica de usuario pudo ser configurado

para que el ruido electrónico no sea representativo en la toma de datos, definiendo la energía mínima en la activación para el conteo.

Gracias a la calibración y caracterización, el montaje experimental fue un éxito y se tomaron formas de onda como prueba que evidencia que la señal de los fotomultiplicadores, está siendo amplificada y digitalizada de manera correcta como se muestra en la siguiente figura.

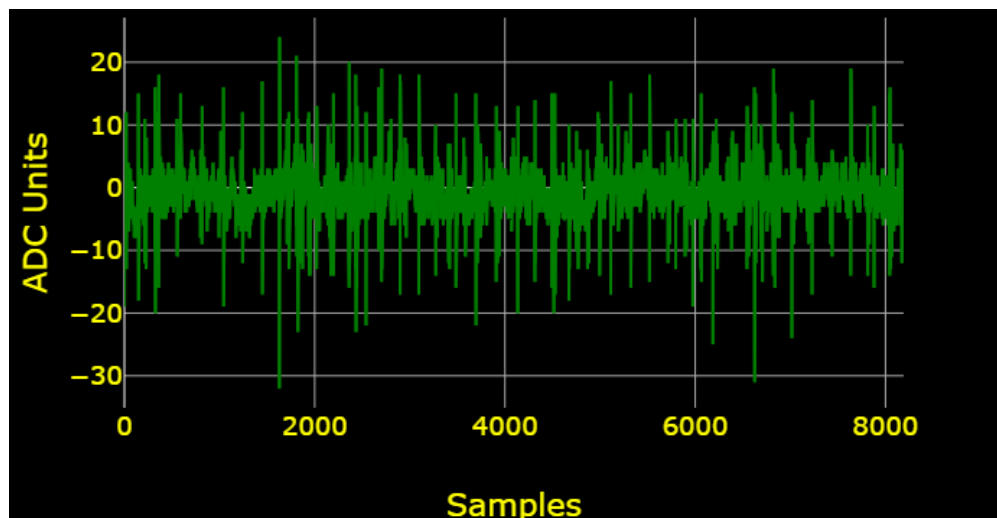


Figura 6.0.2: Forma de onda de única captura láser rojo

Las formas de onda permiten tener seguridad en que la señal se está captando de manera correcta y se puede seguir con la toma de los histogramas. Todo esto tomando como referente el trabajo [3] donde nos indican como debe ser una forma de onda después del proceso de digitalización. La prueba entre canales A y B también es relevante ya que permite evidenciar las diferencias entre la señal y el ruido electrónico.

Prueba de los histogramas

En las gráficas de histogramas es posible evidenciar la relación entre las unidades de conversión digital y la longitud de onda, energía o frecuencia, también es posible relacionar la cantidad de eventos por valor ADC o para las variables en mención (por frecuencia, longitud de onda o energía) que se generan con la exposición del fotomultiplicador, esto depende en gran medida de la intensidad de la radiación electromagnética y el tiempo de exposición.

Para obtener la relación matemática que nos permita traducir los valores ADC en alguna de las variables mencionadas se debe realizar la curva de calibración y obtener la ecuación que modele nuestro montaje. Es de aclarar que esta conversión depende de la respuesta electrónica que tenga nuestro experimento y no es posible obtener de manera teórica, para lograr obtener esta relación se necesita contar con luces caracterizadas en alguna de las variables mencionadas, en laboratorio de la Universidad de Nariño no se cuenta con este tipo de fuentes de radiación, incluso los datos tomados a partir de la fuente de radiación verde que se presentan a continuación, fueron tomados usando un láser de venta comercial y no de laboratorio.

Se tomaron datos para 3 diferentes tiempos que fueron de 1, 2 y 3 segundos, para dos fuentes de radiación, láseres de color rojo y verde.

A continuación se presenta la prueba de exposiciones de 3 segundos para láseres rojo y verde y las tablas de cuentas digitales para cada caso.

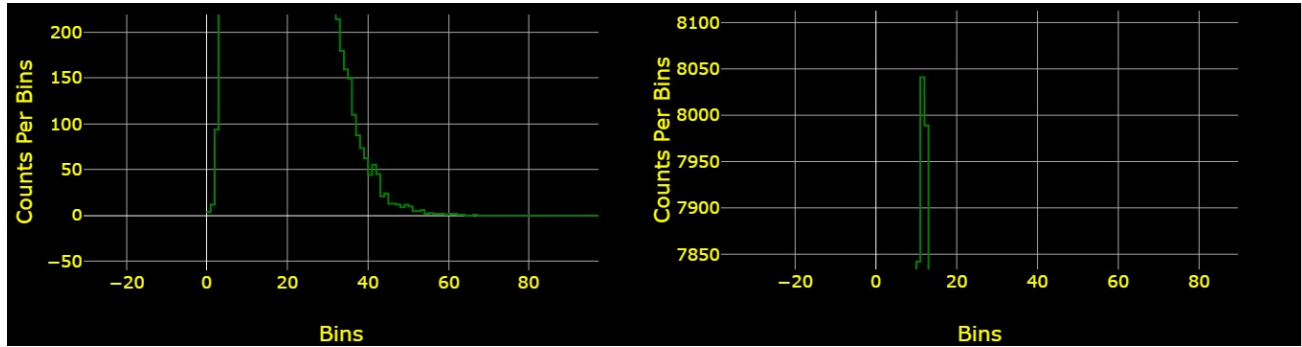


Figura 6.0.3: Histograma captura de 3s láser rojo

Para el láser rojo a una exposición de 3s se encontraron algunos valores a destacar:

- El valor máximo de eventos o cuentas fue de 8041 cuentas correspondientes al valor ADC de 12
- El valor ADC máximo fue de 64
- EL valor ADC mínimo fue de 1

Nota: La cuenta que se da el valor ADC de 67 se descarta por ser un evento único y que se separa de los datos principales del histograma, como se explico anteriormente este tipo de pulsos penden generarse dentro de la misma electrónica del circuito y no hacer parte de los pulsos generados por el detector.

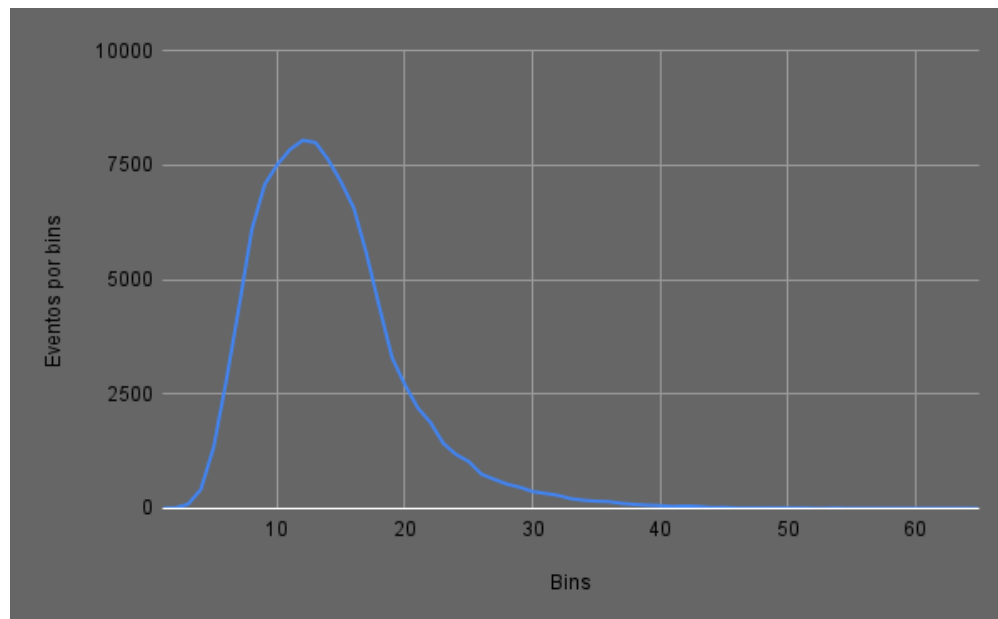


Figura 6.0.4: Respuesta captura de 3s láser rojo

La respuesta en la toma de datos del láser rojo a 3 segundos de exposición, muestra la forma característica de una señal de fotomultiplicador según nos indica [5]. Este tipo de distribución en la respuesta, no se podría generar por ruido electrónico o por otra fuente de señal, ya que la distribución de los datos se organizan al

rededor de un valor central y por ejemplo en el ruido electrónico encontraríamos datos ubicados en cualquier valor de ADC, este valor central junto con los valores ADC máximos y mínimos podrían ser relacionados con alguna de las variables de la fuente de radiación (longitud de onda, frecuencia, energía) una vez se obtuviera la ecuación de conversión para estas variables.

histograma láser rojo exposición 3s			
numero de cuentas	Bins (valor ADC)	numero de cuentas	Bins (valor ADC)
4	1	159	35
12	2	149	36
94	3	110	37
416	4	87	38
1331	5	73	39
2801	6	62	40
4415	7	44	41
6094	8	55	42
7073	9	45	43
7514	10	21	44
7842	11	24	45
8041	12	13	46
7989	13	13	47
7610	14	12	48
7124	15	9	49
6554	16	12	50
5548	17	10	51
4393	18	5	52
3284	19	5	53
2701	20	6	54
2199	21	2	55
1878	22	3	56
1424	23	2	57
1180	24	2	58
1025	25	2	59
748	26	1	60
637	27	2	61
531	28	2	62
465	29	1	63
370	30	1	64
329	31	0	65
286	32	0	66
214	33	1	67
179	34	0	68

Tabla 6.0.1: Histograma láser rojo 3s

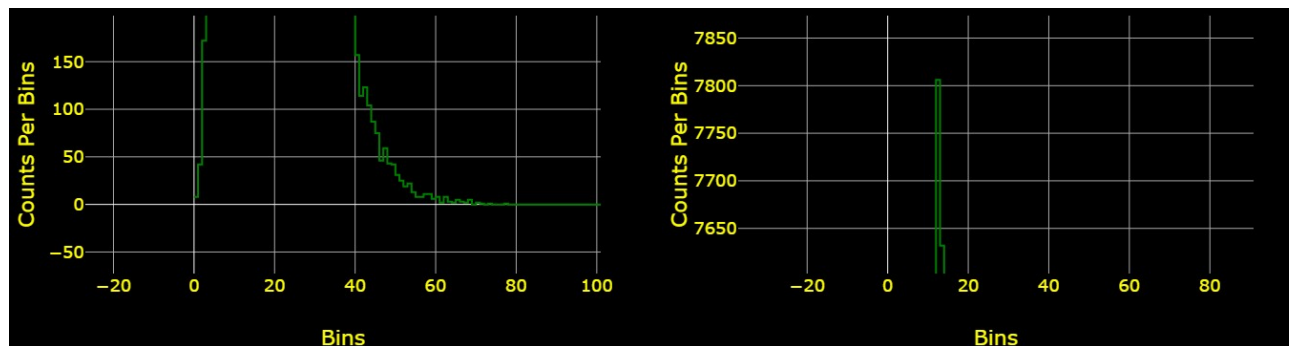


Figura 6.0.5: Histograma captura de 3s láser verde

Para el láser verde a una exposición de 3s se encontraron algunos valores a destacar:

- El valor máximo de eventos o cuentas fue de 7806 cuentas correspondientes al valor ADC de 13
- El valor ADC máximo fue de 72
- EL valor ADC mínimo fue de 1

Nota: Las cuentas que se dan en los valores ADC de 74 y 78 se descartan por ser un eventos únicos y que se separa de los datos principales del histograma, como se explico anteriormente este tipo de pulsos penden generarse dentro de la misma electrónica del circuito y no hacer parte de los pulsos generados por el detector.

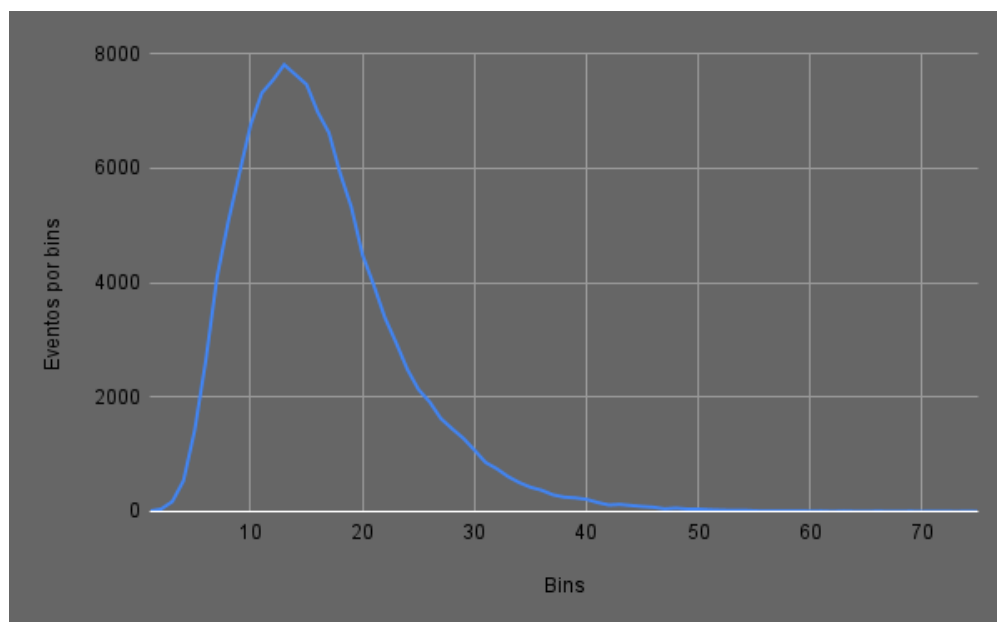


Figura 6.0.6: Respuesta captura de 3s láser verde

La respuesta en la toma de datos del láser verde a 3 segundos de exposición, muestra la forma característica de una señal de fotomultiplicador según nos indica [5].

histograma láser verde exposición 3s			
numero de cuentas	Bins (valor ADC)	numero de cuentas	Bins (valor ADC)
8	1	157	41
42	2	114	42
172	3	123	43
537	4	104	44
1416	5	87	45
2644	6	75	46
4093	7	46	47
5065	8	59	48
5909	9	43	49
6755	10	42	50
7311	11	31	51
7537	12	25	52
7806	13	19	53
7632	14	22	54
7459	15	13	55
6975	16	8	56
6616	17	8	57
5908	18	11	58
5317	19	11	59
4483	20	6	60
3955	21	8	61
3385	22	2	62
2948	23	8	63
2484	24	3	64
2131	25	2	65
1913	26	5	66
1623	27	3	67
1446	28	2	68
1280	29	5	69
1072	30	0	70
856	31	2	71
746	32	1	72
610	33	0	73
505	34	1	74
424	35	0	75
371	36	0	76
292	37	0	77
251	38	1	78
238	39	0	79
213	40	0	80

Tabla 6.0.2: Histograma láser verde 3s

A continuación se presenta la prueba de exposiciones de 2 segundos para láseres rojo y verde y las tablas de cuentas digitales para cada caso.

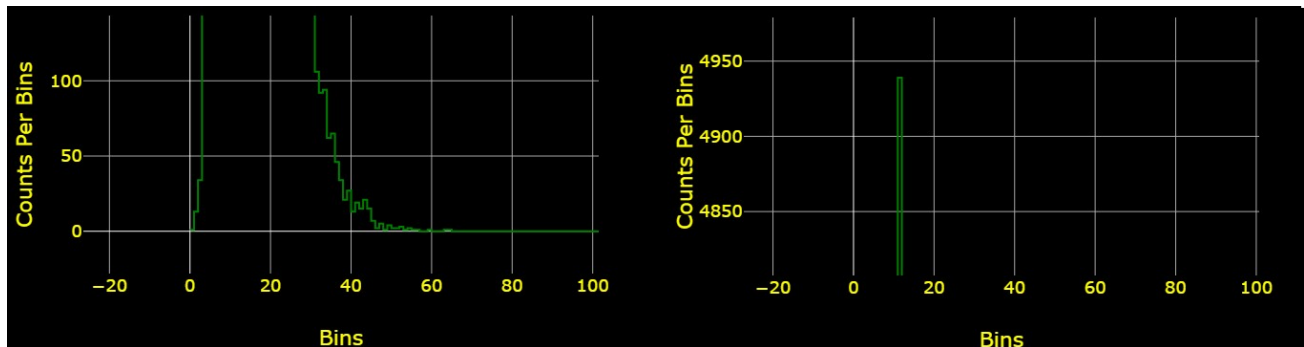


Figura 6.0.7: Histograma captura de 2s láser rojo

Para el láser rojo a una exposición de 2s se encontraron algunos valores a destacar:

- El valor máximo de eventos o cuentas fue de 4939 cuentas correspondientes al valor ADC de 12
- El valor ADC máximo fue de 57
- EL valor ADC mínimo fue de 1

Nota: Las cuentas que tienen los valores ADC de 60, 64 y 65 se descartan por ser eventos únicos y que se separan de los datos principales del histograma, como se explicó anteriormente este tipo de pulsos pueden generarse dentro de la misma electrónica del circuito y no hacer parte de los pulsos generados por el detector.

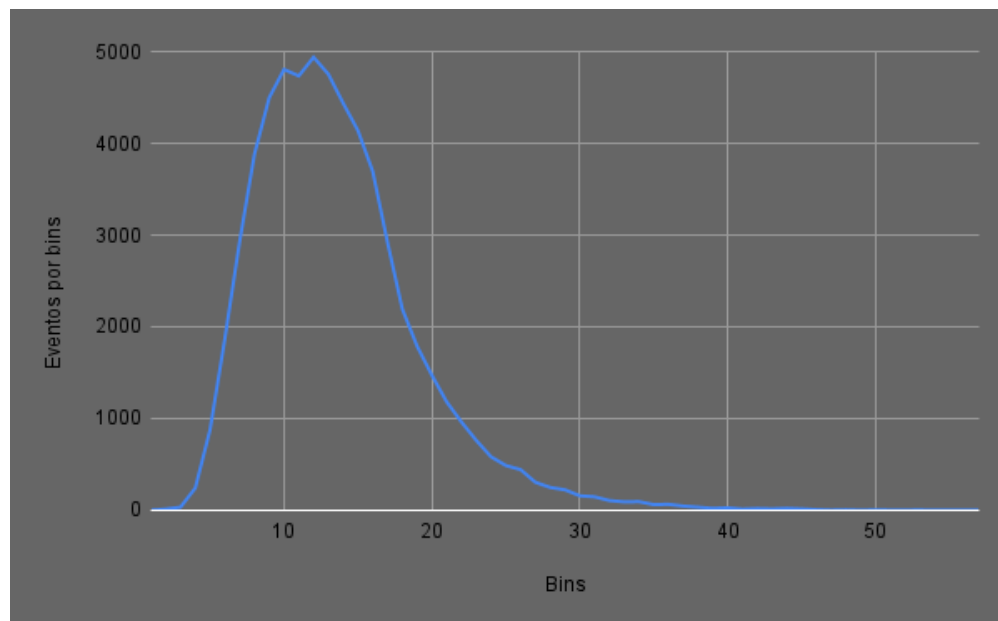


Figura 6.0.8: Respuesta captura de 2s láser rojo

La respuesta en la toma de datos del láser rojo a 2 segundos de exposición, muestra la forma característica de una señal de fotomultiplicador según nos indica [5]. los picos en la parte alta del histograma se podrían explicar por saturación del fotomultiplicador, ya que no se uso filtros ni difusores en este montaje.

histograma láser rojo exposición 2s			
numero de cuentas	Bins (valor ADC)	numero de cuentas	Bins (valor ADC)
1	1	94	34
13	2	62	35
34	3	65	36
242	4	46	37
878	5	34	38
1870	6	21	39
2929	7	27	40
3880	8	13	41
4498	9	19	42
4806	10	15	43
4735	11	21	44
4939	12	15	45
4754	13	7	46
4438	14	2	47
4139	15	5	48
3694	16	1	49
2920	17	4	50
2194	18	2	51
1789	19	2	52
1472	20	3	53
1182	21	1	54
962	22	2	55
762	23	1	56
583	24	1	57
488	25	0	58
443	26	0	59
305	27	1	60
249	28	0	61
223	29	0	62
158	30	0	63
147	31	1	64
106	32	1	65
92	33	0	66

Tabla 6.0.3: Histograma láser rojo 2s

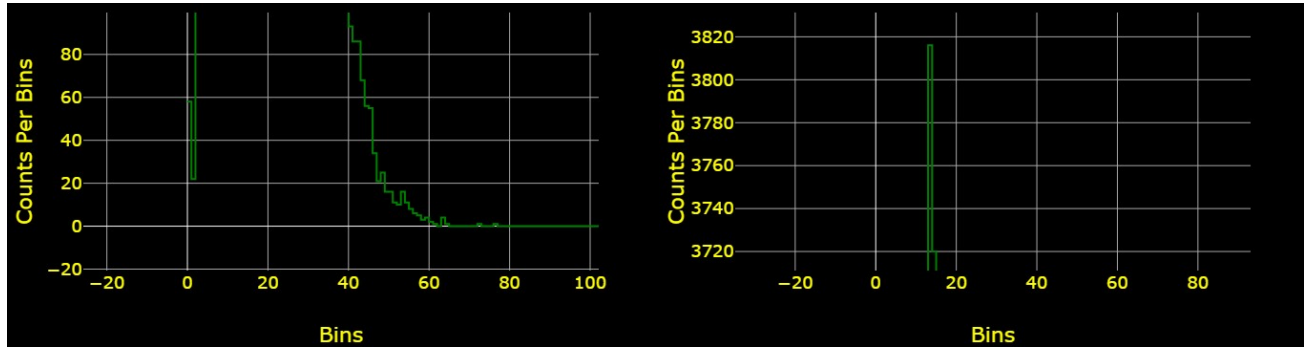


Figura 6.0.9: Histograma captura de 2s láser verde

Para el láser verde a una exposición de 2s se encontraron algunos valores a destacar:

- El valor máximo de eventos o cuentas fue de 3816 cuentas correspondientes al valor ADC de 14
- El valor ADC máximo fue de 65
- EL valor ADC mínimo fue de 1

Nota: Las cuentas que tienen los valores ADC de 72 y 77 se descartan por ser un eventos únicos y que se separan de los datos principales del histograma, como se explico anteriormente este tipo de pulsos penden generarse dentro de la misma electrónica del circuito y no hacer parte de los pulsos generados por el detector. Una explicación similar se le da al numero de cuentas del valor ADC 1 en donde el numero de cuentas es superior al que se esperaría en el comportamiento natural del histograma, la electrónica y una posible saturación del sensor podrían estar generando pulsos adicionales que no son eventos reales y que afectan el conteo de este valor ADC.

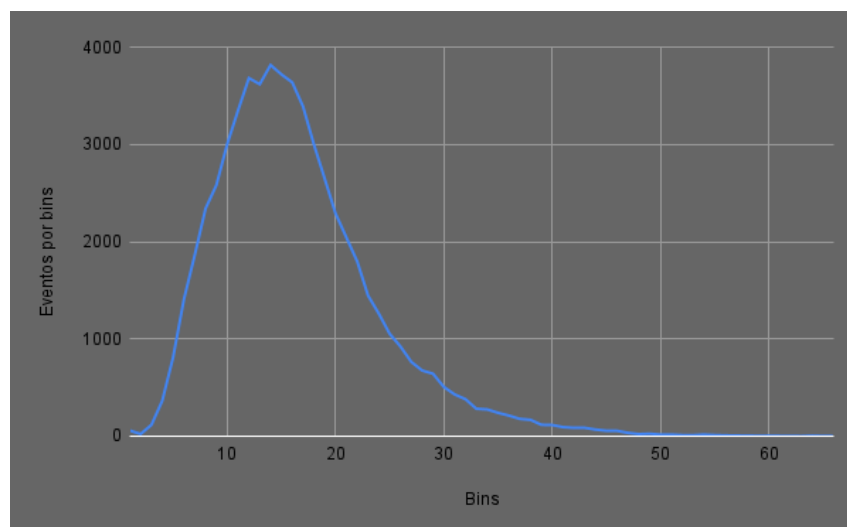


Figura 6.0.10: Respuesta captura de 2s láser verde

La respuesta en la toma de datos del láser verde a 2 segundos de exposición, muestra la forma característica de una señal de fotomultiplicador según nos indica [5]. los picos en la parte alta del histograma se podrían explicar por saturación del fotomultiplicador, ya que no se uso filtros ni difusores en este montaje.

histograma láser verde exposición 2s			
numero de cuentas	Bins (valor ADC)	numero de cuentas	Bins (valor ADC)
58	1	115	40
22	2	93	41
116	3	86	42
364	4	86	43
810	5	68	44
1407	6	56	45
1862	7	55	46
2341	8	34	47
2582	9	21	48
3004	10	25	49
3350	11	16	50
3682	12	16	51
3619	13	11	52
3816	14	10	53
3720	15	16	54
3638	16	11	55
3389	17	8	56
3000	18	6	57
2647	19	5	58
2290	20	3	59
2043	21	4	60
1797	22	2	61
1446	23	1	62
1259	24	0	63
1052	25	4	64
921	26	1	65
763	27	0	66
675	28	0	67
642	29	0	68
506	30	0	69
429	31	0	70
380	32	0	71
282	33	0	72
275	34	1	73
240	35	0	74
212	36	0	75
178	37	0	76
168	38	1	77
117	39	0	78

Tabla 6.0.4: Histograma láser verde 2s

A continuación se presenta la prueba de exposiciones de 1 segundos para láseres rojo y verde y las tablas de cuentas digitales para cada caso.

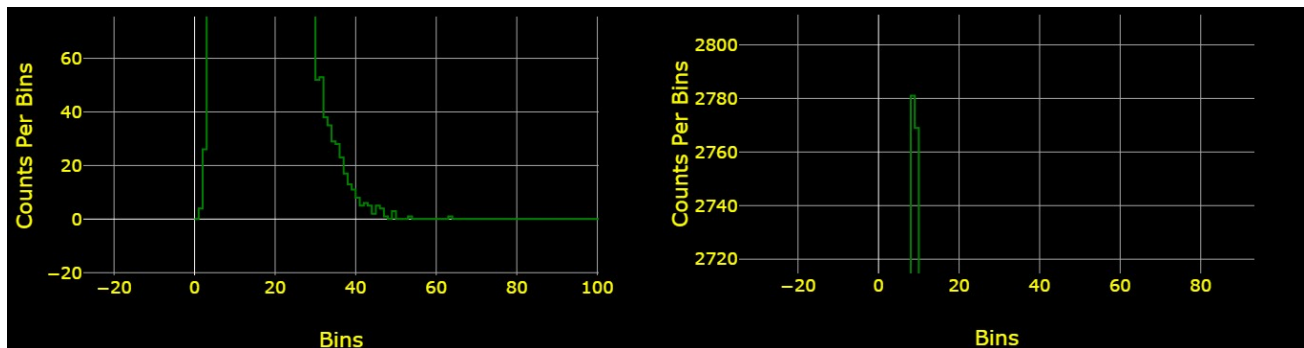


Figura 6.0.11: Histograma captura de 1s láser rojo

Para el láser rojo a una exposición de 1s se encontraron algunos valores a destacar:

- El valor máximo de eventos o cuentas fue de 2781 cuentas correspondientes al valor ADC de 9
- El valor ADC máximo fue de 50
- EL valor ADC mínimo fue de 2

Nota: La cuenta que tiene el valor ADC de 54 se descarta por ser un evento único y que se separa de los datos principales del histograma, como se explico anteriormente este tipo de pulsos penden generarse dentro de la misma electrónica del circuito y no hacer parte de los pulsos generados por el detector.

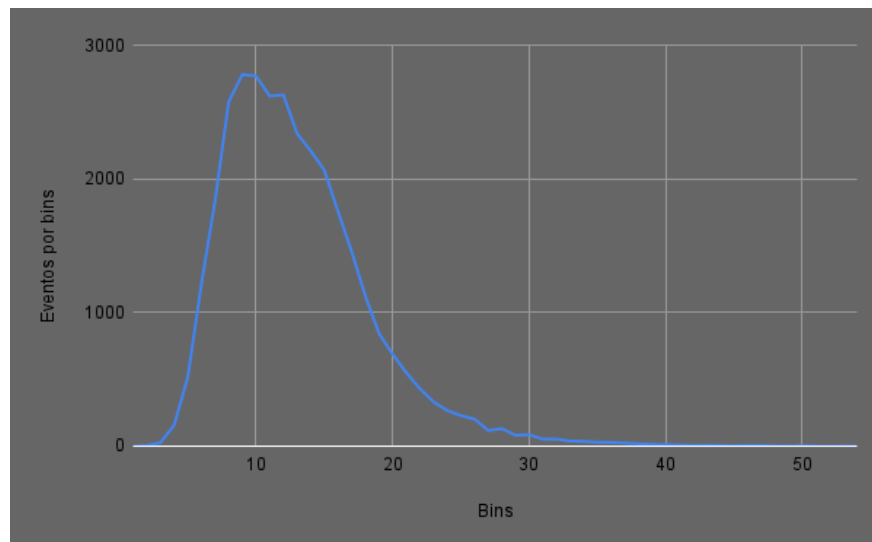


Figura 6.0.12: Respuesta captura de 1s láser rojo

La respuesta en la toma de datos del láser rojo a 1 segundos de exposición, muestra la forma característica de una señal de fotomultiplicador según nos indica [5]. Las variaciones de en la parte alta del histograma se generan como post-pulsos del fotomultiplicador.

histograma láser rojo exposición 1s			
numero de cuentas	Bins (valor ADC)	numero de cuentas	Bins (valor ADC)
0	1	81	29
4	2	85	30
26	3	52	31
156	4	53	32
515	5	38	33
1214	6	35	34
1837	7	29	35
2578	8	28	36
2781	9	23	37
2769	10	17	38
2619	11	13	39
2629	12	11	40
2340	13	8	41
2210	14	5	42
2065	15	6	43
1756	16	5	44
1457	17	2	45
1124	18	5	46
843	19	4	47
687	20	1	48
550	21	0	49
429	22	3	50
331	23	0	51
266	24	0	52
228	25	0	53
202	26	1	54
117	27	0	55
131	28	0	56

Tabla 6.0.5: Histograma láser rojo 1s

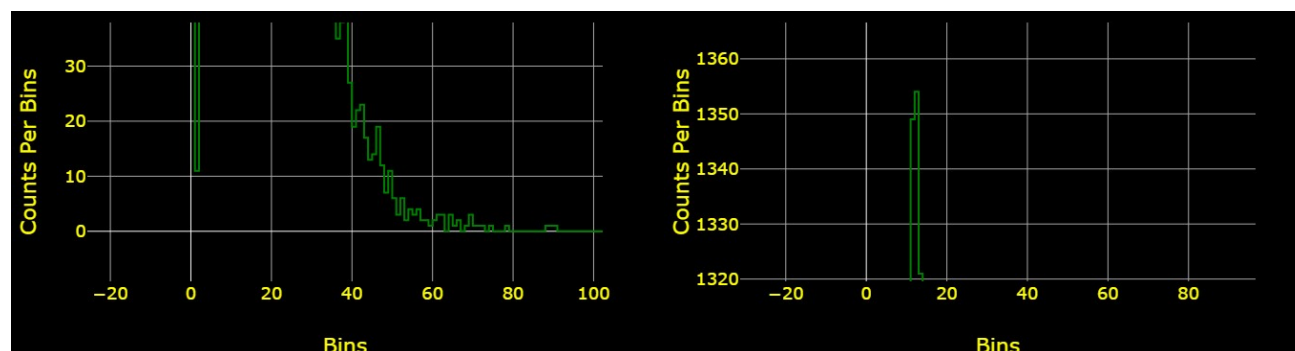


Figura 6.0.13: Histograma captura de 1s láser verde

Para el láser verde a una exposición de 1s se encontraron algunos valores a destacar:

- El valor máximo de eventos o cuentas fue de 1354 cuentas correspondientes al valor ADC de 13
- El valor ADC máximo fue de 73
- EL valor ADC mínimo fue de 1

Nota: Las cuentas que tienen los valores ADC de 75 y 79 se descartan por ser un eventos únicos y que se separan de los datos principales del histograma, como se explico anteriormente este tipo de pulsos penden generarse dentro de la misma electrónica del circuito y no hacer parte de los pulsos generados por el detector. Una explicación similar se le da al numero de cuentas del valor ADC 1 en donde el numero de cuentas es superior al que se esperaría en el comportamiento natural del histograma, la electrónica y una posible saturación del sensor podrían estar generando pulsos adicionales que no son eventos reales y que afectan el conteo de este valor ADC.

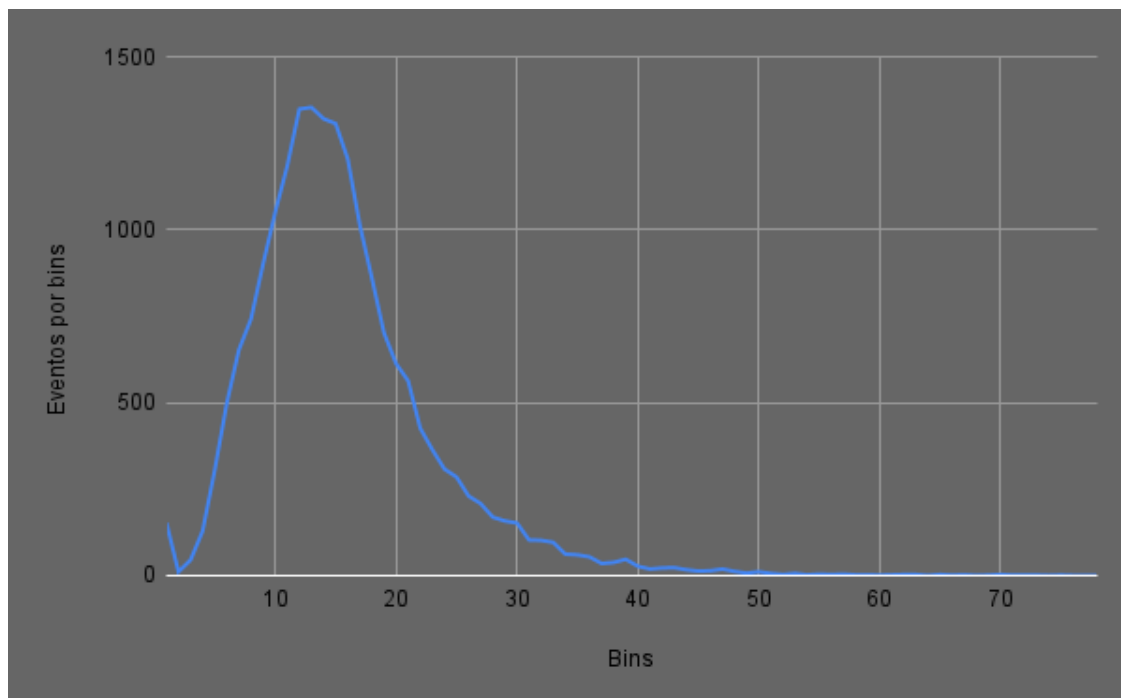


Figura 6.0.14: Respuesta captura de 1s láser verde

La respuesta en la toma de datos del láser rojo a 1 segundos de exposición, muestra la forma característica de una señal de fotomultiplicador según nos indica [5]. Las variaciones de en la parte alta del histograma se generan como post-pulsos del fotomultiplicador.

histograma láser verde exposición 1s			
numero de cuentas	Bins (valor ADC)	numero de cuentas	Bins (valor ADC)
153	1	19	41
11	2	22	42
45	3	23	43
129	4	17	44
305	5	13	45
499	6	14	46
653	7	19	47
742	8	12	48
901	9	7	49
1050	10	11	50
1185	11	6	51
1349	12	3	52
1354	13	6	53
1321	14	2	54
1307	15	4	55
1205	16	3	56
1014	17	4	57
860	18	2	58
702	19	2	59
613	20	1	60
563	21	2	61
426	22	3	62
364	23	3	63
308	24	0	64
285	25	3	65
230	26	1	66
208	27	2	67
169	28	0	68
158	29	1	69
152	30	3	70
103	31	1	71
102	32	1	72
96	33	1	73
62	34	0	74
60	35	1	75
54	36	0	76
35	37	0	77
38	38	0	78
47	39	1	79
27	40	0	80

Tabla 6.0.6: Histograma láser verde 1s

Después de comparar las señales esperadas, tanto para la forma de onda como para los histograma de respuesta con los referentes teóricos, se encuentra que la respuesta del montaje es adecuada y que la implementación del montaje fue exitosa. Queda pendiente para un posible futuro trabajo de grado la realización de una guía de calibración y la formulación de un modelo matemático que permita encontrar alguna variable física para la fuente de radiación ya sea longitud de onda, frecuencia o energía, para esto se deberían adquirir fuentes de radiación caracterizadas y realizar una toma de datos que permita generar la curva de calibración de manera detallada. Tomando como referente los datos obtenidos tanto gráficamente o por medio de las tablas de datos, notamos dos relaciones entorno a los valores obtenidos de la las cuentas de conversión digital.

La primera relación se presenta entre el los bins o el valor de cuenta digital, que indica que valor de las cuentas digitales crece a medida que la fuente de radiación tiene una mayor energía, esto lo evidenciamos en los 3 casos a 3 diferentes tiempos de exposición.

Se nota que los valores máximos de las cuentas digitales o bins son mayores para las exposiciones a la fuente de radiación de color verde, sin importar el tiempo de exposición, mientras son menores para la fuente de radiación de color rojo que es de menor energía.

El valor central del histograma debería representar la cuenta característica para cada tipo de radiación, sin embargo la traducción en términos de longitud de onda, frecuencia y energía para cada tipo de radiación dependería del modelo matemático que se pueda generar en futuros trabajos.

Por parte de las cuentas por bins (eje y), que representan el numero de eventos que se dan por cada cuenta digital, se presenta un aumento de eventos a medida que el tiempo de expoliación del fotomultiplicador aumenta, también se debe tener en cuenta que estos cambios se ven influenciados por variaciones presentes en el ambiente y en la intensidad de la radiación electromagnética, controlar de mejor manera estas variables y la formulación de un modelo matemático permitiría encontrar una relación entre el numero de cuentas digitales y la intensidad de la luz y el numero de partículas detectadas.

Como se menciona en el apartado de pulsos de salida cuando un MPPC detecta fotones, la salida puede contener pulsos espurios, es decir, post-pulso y diafonía, que están separados del pulsos de salida de los fotones incidentes, En los datos de los histogramas se logra detectar estos datos separados de los datos experimentales o de la tendencia central del histograma. Estos datos deben ser descartados dentro del proceso de análisis.

Una posible configuración que se deja como opción y que no fue parte de este trabajo, es la implementación de este montaje con voltajes diferentes al máximo de operación del fotomultiplicador que es de 5V, este cambio genera una respuesta diferente en el detector y puede ser provechoso si se quiere trabajar con diferentes intensidades de luz.

Por ultimo se puede decir que la implementación exitosa de la práctica experimental, nos permitió desarrollar una guía de laboratorio que indique los pasos para la replicación del montaje y de la formulación de trabajos posteriores, en donde se logre complementar este trabajo con una toma de datos y equipos adecuados que permitan generar una curva de calibración y un modelo que permita traducir los valores ADC en variables físicas, se adjunta los manuales de uso y caracterización de los equipos nuevos de la Universidad de Nariño y pueden ser un referente importante para el desarrollo de futuras investigaciones en electrónica, fotónica o física moderna.

Capítulo 7

Conclusiones

- La comparación entre las señales esperadas, tanto para la forma de onda como para los histograma de respuesta con los referentes teóricos, nos indica una respuesta correcta del montaje y podemos concluir que la implementación del montaje fue exitosa.
- La guía de laboratorio fue diseñada con éxito y será referente teórico para futuras investigaciones, al ser uno de los primeros trabajos en esta área en la Universidad de Nariño.
- La caracterización realizada es detallada y permite la manipulación y el control de los diferentes instrumentos de laboratorio, siendo la base para la implementación de detectores con fotomultiplicadores.
- La calibración se desarrolló para cada equipo de laboratorio y se dejó en los manuales la guía de partida para las posibles configuraciones de los equipos.
- Mediante el proceso de digitalización de las señales analógicas de los fotomultiplicadores fue posible graficar y obtener los valores de conversión digital para dos fuentes de radiación (láser de color rojo y láser de color verde).
- Siguiendo los manuales de caracterización y la guía para la ejecución del laboratorio es posible replicar este montaje experimental y plantear diferentes variantes de montajes usando fotomultiplicadores.
- La puesta en marcha o el encendido inicial presentó grandes dificultades, debido a la falta de bibliografía referente a las conexiones y el proceso de digitalización. Se profundizó en otros campos de estudio que no estaban contemplados como la electrónica y la informática, lo que nos permitió hacer funcionar el equipo por primera vez.
- Durante el desarrollo del trabajo se requirió información sobre los procesos de amplificación, si no se recuerda la electrónica usada en los integrados de amplificación, se recomienda estudiarlos antes de iniciar esta práctica.
- las conexiones propuestas para el montaje son derivadas de la manipulación directa de los equipos, previo a la consecución de un circuito adecuado, se presentaron varios circuitos fallidos en donde la prueba y error sobre la protoboar nos llevo a un circuito con los valores de salida esperados.

- El proceso de actualización software no se tenía contemplado, los manuales muestran una instalación que no esta actualizada por la empresa fabricante, en donde programas instalados en la computadora controlan el procesos de digitalización. Este medio de conexión no es posible con los equipos actuales, en este trabajo se presenta un paso a paso actualizado para acceder a los controladores.
- La interfaz gráfica de usuario o GUI difiere de los manuales presentados esto debió a la actualización antes menciona, por eso fue necesario probar las opciones presentes en la nueva GUI y poder dejar la caracterización y el manual de uso que se presentan en este trabajo.
- Fue necesario profundizar en el estudio de sistemas y software de conexión entre servidores, esto debido a que la GUI usa un acceso remoto para controlar el digitalizador. Proceso que tampoco se encuentra actualizado en los manuales de usuario que no contemplan este tipo de conexión.
- El estudio sobre software FPT fue primordial para la obtención de los archivos .csv los cuales registran los datos del experimento. Este tipo de programas permiten la interacción entre sistemas operativos diferentes y la extracción de información registrada en un sistema de almacenamiento externo, en esta practica le permite al computador extraer los datos que el digitalizador registra en su disco duro. Este proceso no estaba en ningún manual y es producto de la interacción con los equipos.
- Aún no es posible desarrollar un modelo experimental o un hit-rate para una fuente de radiación, ya que se requieren fuentes caracterizadas.
- Se propone un futuro trabajo de grado en donde se realice de una guía de calibración y la formulación de un modelo matemático que permita encontrar alguna variable (longitud de onda, frecuencia o energía) física para una fuente de radiación.
- Se sugiere adquirir fuentes de radiación caracterizadas u otros equipos como filtros, difusores o dispositivos de difracción que permitan la realización de diferentes trabajos con estos equipos de laboratorio.
- la implementación conjunta de de varios fotomultiplicadores puede conducir a construcción de de detectores de partículas mas complejos como los tubos centelleantes.
- Se recomienda la compra o la fabricación de montajes en donde los fotomultiplicadores puedan ser instalados y aislados, en donde las variables del ambiente puedan ser controladas.
- Se propone implementar este montaje con voltajes diferentes al máximo de operación del fotomultiplicador que es de 5V, este cambio genera una respuesta diferente en el detector y puede ser provechoso si se quiere trabajar con diferentes intensidades de luz.
- Se sugiere complementar este trabajo con una toma de datos y equipos adecuados que permitan generar una curva de calibración y un modelo que permita traducir los valores ADC en variables físicas.

Bibliografía

- [1] Michael W Burke. *Image Acquisition: Handbook of machine vision engineering: Volume 1*, volume 1. Springer Science & Business Media, 2012.
- [2] Albert Einstein. Über einen die erzeugung und verwandlung des lichtes betreffenden heuristischen gesichtspunkt, 1905.
- [3] Y. Oda. *Sistemas de detección de partículas basados en fotomultiplicadores con matriz de Silicio, con aplicaciones a muongrafías de volcanes*. Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, 2016.
- [4] William R. Leo. *Techniques For Nuclear And Particle Physics Experiments*. Springer-Verlag, Ecole Polytechnique Federate de Lausanne, Institut de Génie Atomique, Département de Physique, PHB-Ecublens, CH-1015 Lausanne, Switzerland, 1987.
- [5] Nadia W. Brzostowicz. *Caracterización de un detector de centelleo de última generación de LaCl₃(Ce)*. centros de investigación asociados al CSIC.
- [6] Jairo Rodríguez, David Martínez Caicedo, Alex Tapia, Denis Torres, Tatiana Cusís, Jhon Revelo, Alex Ríascos, and Danny Benavides. Construcción de un sistema de detección de partículas para su aplicación en la enseñanza de física de partículas. *Revista de enseñanza de la física*, 34(2):1–10, 2022.
- [7] Siyang Li and George F Smoot. Characterization of a silicon photomultiplier for the ultra-fast astronomy telescope. In *UV/Optical/IR Space Telescopes and Instruments: Innovative Technologies and Concepts IX*, volume 11115, pages 66–74. SPIE, 2019.
- [8] Stefan Van Der Sar, Stefan Brunner, and Dennis Schaart. X-ray photon-counting using silicon photomultiplier-based scintillation detectors at high x-ray tube currents. In *Medical Imaging 2022: Physics of Medical Imaging*, volume 12031, pages 118–124. SPIE, 2022.
- [9] LTD. SIGLENT TECHNOLOGIES CO. *Manual de usuario Osciloscopio digital serie SDS2000X UM0102X-E01A*. 2018.
- [10] Inc. Tektronix. *Manual de usuario Fuente de alimentación CC lineal PWS2721*. Beaverton, USA.
- [11] SkuTek Instrumentation. *Manual de usuario FemtoDAQ LV-2*. West Henrietta, NY 14586, 2017.
- [12] Hamamatsu. *Guía de usuario Fotomultiplicador Hamamatsu MPPC serie S13360-3025CS*. Hamamatsu city, Japan, 2022.
- [13] Yithsbey Giraldo y Fredy Santacruz. *Guía de laboratorio de física I*. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia., 2012.