

Desarrollo de un detector de centelleo de bajo costo para el conteo de muones atmosféricos

Maria Amelia Melo Ruales

Universidad de Nariño



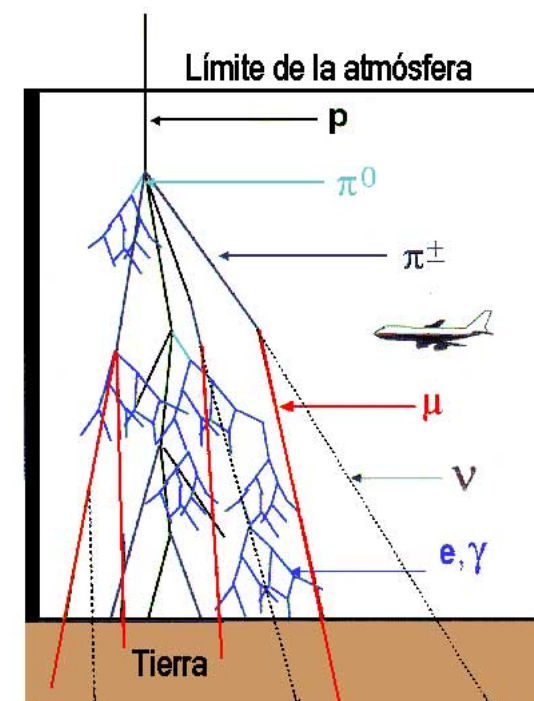
Resumen

Esta propuesta de investigación tiene como objetivo diseñar, construir y evaluar un detector de centelleo de bajo costo capaz de registrar el flujo de muones atmosféricos.

El sistema se desarrolla utilizando componentes económicos como alternativa accesible a los detectores profesionales basados en fotomultiplicadores (PMT), demostrando su viabilidad para realizar mediciones de conteo de muones en intervalos de tiempo definidos.

Rayos cósmicos

Son partículas de alta energía originadas fuera de la Tierra, principalmente protones y núcleos atómicos, que al chocar con la atmósfera terrestre generan cascadas de partículas secundarias. Contienen electrones, fotones, neutrinos y muones, entre otras partículas.



Muones atmosféricos

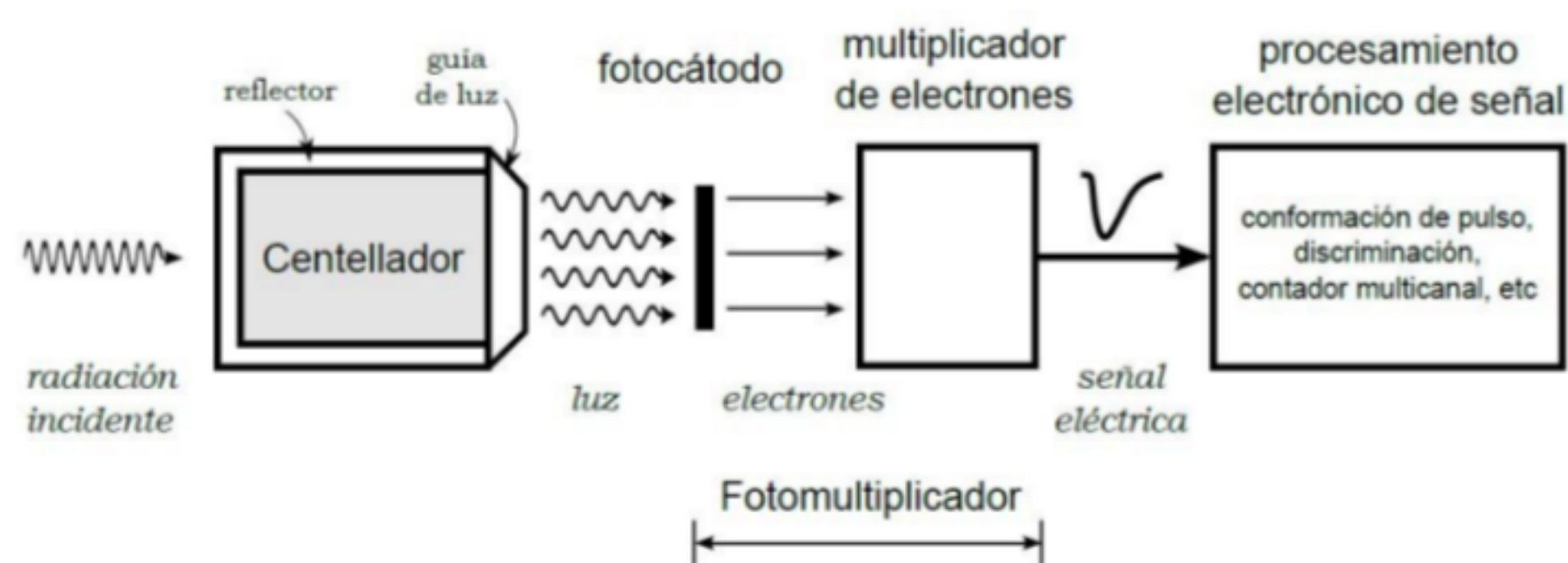
Los muones son partículas cargadas producidas en las cascadas de rayos cósmicos al interactuar con la atmósfera terrestre. Con una vida media de $2.2 \mu s$ y una alta capacidad de penetración, pueden atravesar varios metros de materiales densos como concreto, plomo o agua.

Su detección es posible mediante materiales centelladores, los cuales emiten destellos de luz al ser atravesados por estas partículas.

Prototipos Profesionales y Alternativas de Bajo Costo

Los detectores profesionales de rayos cósmicos emplean centelladores acoplados a fotomultiplicadores (PMT) y electrónica NIM para el procesamiento de señales.

Estos sistemas, que operan con altos voltajes (600–1200 V), ofrecen gran sensibilidad y son estándares en laboratorios de física de partículas.



No obstante, el alto costo de estos sistemas limita su uso en entornos educativos o de investigación con recursos reducidos.

Como alternativa accesible, se propone un detector de bajo costo basado en un centellador acoplado a un fotodiodo PIN BPW34 o un SiPM económico, un preamplificador OPA380, un comparador LM393 y un microcontrolador STM32 Blue Pill, complementado con un Arduino Uno para el almacenamiento de datos.

El sistema opera a bajo voltaje (3.3–5 V) y permite la detección de muones atmosféricos a partir de los pulsos de luz generados en el centellador.

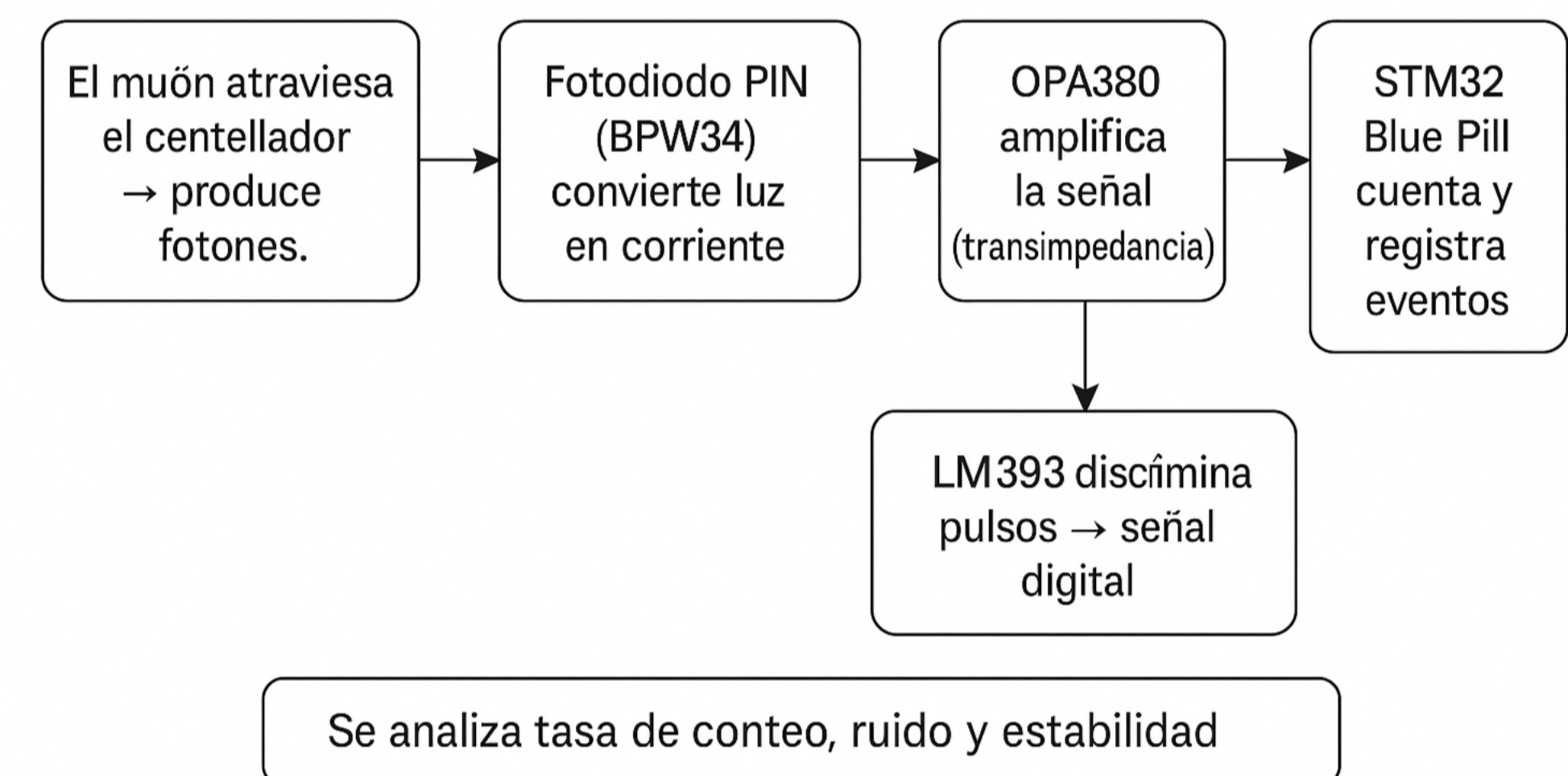
Característica	Detector Profesional (PMT)	Detector de Bajo Costo Propuesto
Sensor principal	Centellador acoplado a fotomultiplicador (PMT)	Centellador acoplado a fotodiodo PIN BPW34 o SiPM económico
Ganancia del sistema	Muy alta (cadena de dinodos del PMT)	Media-alta (amplificador transimpedancia + comparador)
Voltaje de operación	Alto voltaje: 600–1200 V	Bajo voltaje: 3.3–30 V
Procesamiento electrónico	Electrónica NIM especializada, módulos dedicados	Procesamiento digital mediante microcontrolador STM32 Blue Pill
Costo estimado	Elevado (USD 800–3000)	Bajo (USD 40–120)
Portabilidad	Limitada, requiere fuentes y módulos voluminosos	Alta, diseño compacto y de bajo consumo
Nivel de ruido	Muy bajo debido a la alta ganancia del PMT	Moderado, reducible mediante filtrado y discriminación electrónica
Aplicaciones típicas	Investigación profesional y espectrometría nuclear	Educación, formación práctica e investigación experimental inicial

El detector de bajo costo opera mediante un material centellador que transforma el paso de los muones en pequeños destellos de luz.

Esta luz es captada por un fotodiodo PIN de bajo voltaje, cuya señal es amplificada y discriminada para obtener pulsos eléctricos. Un microcontrolador registra estos pulsos en tiempo real y calcula la tasa de detección en cuentas por segundo (cps).

Arquitectura del Sistema

Al atravesar el material centellador, el muón genera pequeños destellos de luz que son convertidos en corriente por un fotodiodo PIN (BPW34).



Esta señal es amplificada mediante un preamplificador (OPA380) y posteriormente discriminada por un comparador LM393, que produce un pulso digital limpio.

Finalmente, el microcontrolador STM32 Blue Pill registra cada evento, permitiendo analizar la tasa de conteo, el ruido electrónico.

Componente	Función Principal	Unidades / Capacidad	Justificación Técnica
STM32 Blue Pill	Conteo, adquisición y procesamiento	72 MHz, 3.3 V, ADC 12 bits, timers de alta precisión	Económico, rápido y con recursos suficientes para conteo rápido.
Fotodiodo BPW34	Sensor óptico	Área activa 7.5 mm ² , sensibilidad 0.25 A/W, 20–30 pF	Fotodiodo PIN sensible, barato y apto para pulsos de luz débiles.
OPA380	Preamplificador transimpedancia	Ganancia configurada por R _f (100k–1 MΩ), bajo ruido	Ideal para señales pequeñas; excelente relación ruido/ganancia.
LM393	Comparador / Discriminador	Umbral ajustable, salida digital open-collector	Genera pulsos limpios para detección de eventos.
Resistencias R_f	Ajuste de ganancia del TIA	100 kΩ – 1 MΩ, metal film 1%	Permiten definir la ganancia con estabilidad y bajo ruido.
Capacitores C_f	Estabilidad y control de oscilación	0.5 – 2 pF NPO/C0G	Reducen ruido y evitan oscilaciones del amplificador.
Buzzer y LEDs	Indicadores sonoros y visuales	3.3 V / 5 V, respuesta instantánea	Validación rápida del funcionamiento del detector.

Resultados Esperados

- Obtención de tasas de conteo estables y reproducibles en unidades de cuentas por segundo (cps), bajo condiciones controladas de operación.

- Discriminación clara entre eventos reales de muones atmosféricos y ruido electrónico, garantizando una señal detectable con buena relación señal-ruido.

- Validación de la viabilidad del diseño de bajo costo, demostrando su capacidad para aplicaciones en laboratorios y experimentación inicial en rayos cósmicos.

- Implementación operativa del sistema de adquisición basado en STM32, apto para el registro continuo de eventos, almacenamiento de datos y análisis posterior.

Agradecimientos

A Nebilson Portilla, por su valioso acompañamiento en el desarrollo del proyecto y por su asesoría técnica en los procesos de conexión y configuración del sistema.

Referencias

Referencias

- [1] J. A. Betancourt M., *Medición Preliminar del Flujo de Muones en los alrededores del Volcán Galeras*. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Física.
- [2] G. Afonin, *Scintillino – an Arduino-based Quick & Dirty Scintillation Counter*. Disponible en: <https://sites.google.com/view/scintillino>
- [3] Autor(es) desconocido(s), *Simulación de la interacción de un flujo de muones atmosféricos con un cono volcánico ideal*. Informe técnico / trabajo de simulación, 2016.