

LA-CoNGA Physics

Curso: Introducción a la Instrumentación científica

Profesor: Dennis Cazar Ramírez

PRACTICE 1: PMT signal conditioning circuit

Nicolás Fernández Cinquepalmi

1 Introducción

A photomultiplier (PMT) is the most popular transducer in High Energy Particle (HEP) detection application. A PMT produce an electric pulse proportional to the intensity of light produced by the interaction of a HEP particle with matter (water for a Water Cerenkov detector for example). The basic task in detecting HEP particle is to calculate the rate, i.e. count the amount of particles arriving at the detector in a certain time. Rate is measured in Hertz and depends of several factors, see ref(1).

In this activity you have to design and simulate a peak detector circuit which be used to convert the PMT signal to an impulse suitable for a digital system which will perform the counting task.

Some of the contents needed to this work you already know, others must be studied during this activity.

2 Objetivos

Main Objective: Design and simulate a PMT signal conditioning circuit.

Activities:

- To design a signal amplifier with op amps.
- Learn about a peak detection techniques.
- To design an amplifier and peak detection circuit.
- To simulate the circuit and show results.

3 Desarrollo

1) Signal Amplifier. La primera actividad a realizar consiste en diseñar un amplificador de señales mediante la aplicación de operacional amplificador (op-amp). Existen varias formas de conectar un op-amp en las cuales se amplifica la señal. Algunas de ellas se muestran en la Figura 1,

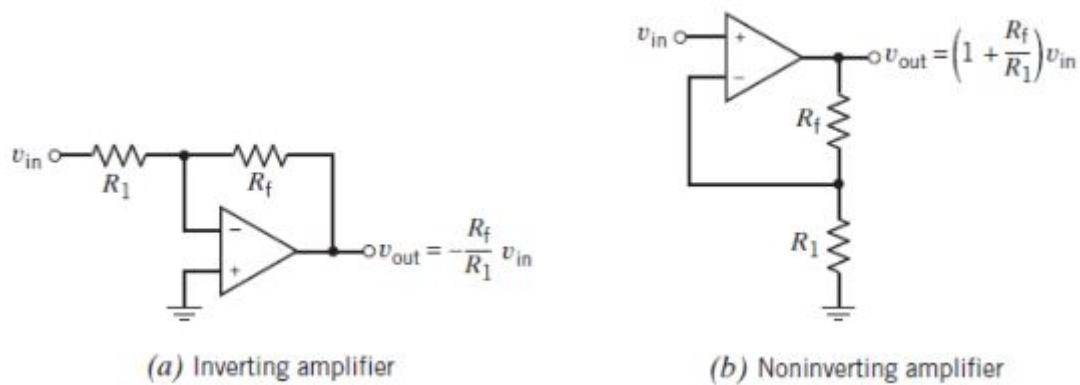


Figura 1: Aplicaciones de Operacionales

El caso (a) corresponde a un amplificador operacional inversor, debido a que amplifica la señal recibida pero la invierte en signo. El caso (b) corresponde a un amplificador operacional no-inversor, ya que, amplifica la señal entrante sin cambiar su signo.

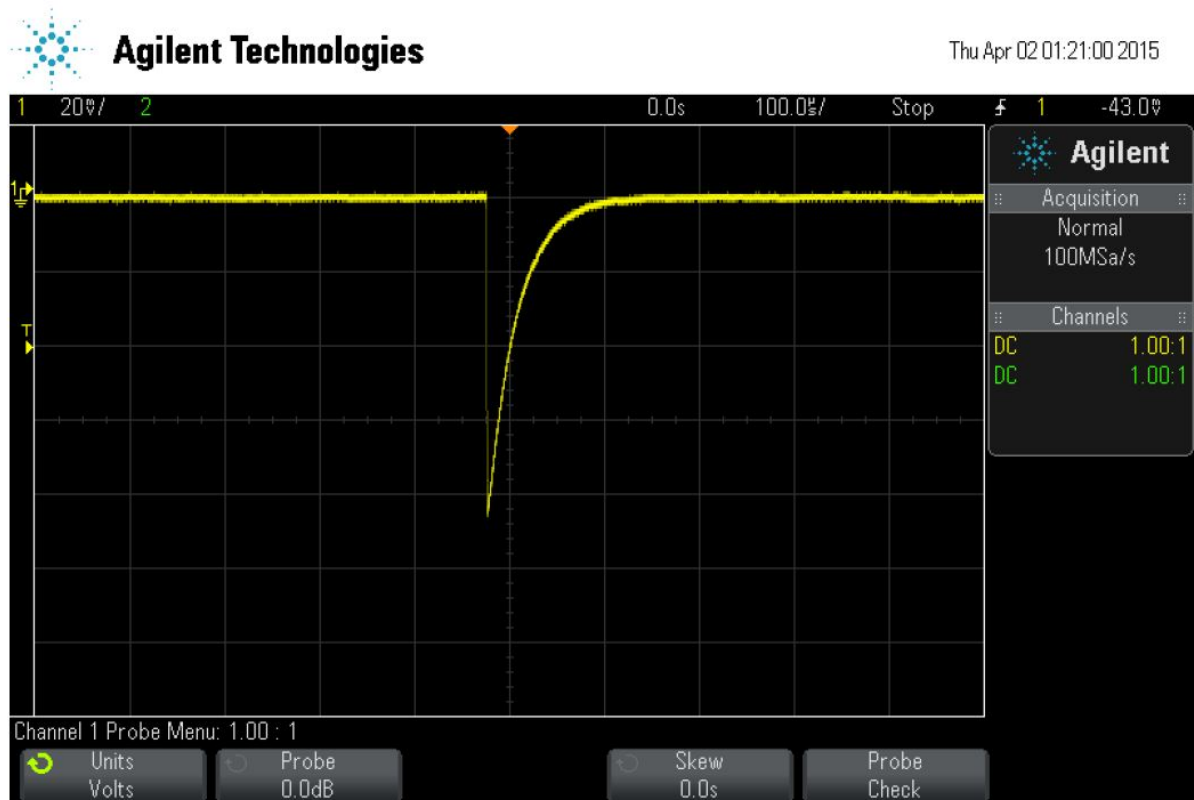


Figura 2: Señal generada por un PMT (Photo-Multiplier-Tube)

El objetivo final del presente trabajo es realizar un circuito que permita detectar rayos cósmicos; para esto consideraremos la radiación de Cherenkov. La radiación de Cherenkov es una radiación de tipo electromagnético producida por el paso de partículas cargadas eléctricamente en un determinado medio a velocidades superiores a la velocidad de fase de la luz en ese medio. La velocidad de la luz depende del medio, y alcanza su valor máximo en el vacío. El valor de la velocidad de la luz en el vacío no puede superarse, pero sí en un medio en el que ésta es forzosamente inferior.

Los rayos cósmicos, compuestos principalmente por partículas cargadas, al incidir (interactuar) sobre los átomos y moléculas de la atmósfera terrestre (el medio), producen otras partículas, las cuales producen

más partículas, y éstas producen más, creándose una verdadera cascada de partículas (muchas de ellas cargadas eléctricamente). Cada una de estas partículas polariza asimétricamente las moléculas de nitrógeno y oxígeno (componentes principales de la atmósfera terrestre) con las que se encuentra a su paso, las cuales, al despolarizarse espontáneamente, emiten radiación Cherenkov (detectada con telescopios Cherenkov). Es decir; son las moléculas de la atmósfera (el dieléctrico) las que emiten la radiación, no la partícula incidente.

La señal a amplificar dada como ejemplo, corresponde a un pulso generado por un PMT (Photo-Multiplier-Tube) como se muestra en la Figura 2. Un fotomultiplicador absorbe la luz emitida por un centelleador y la reemite en forma de electrones por medio del efecto fotoeléctrico.

Utilizaremos LTspice para simular este ejemplo. Comenzamos con generar el circuito del caso (a) en la Figura 1, ya que generalmente se trabaja con voltajes positivos, y contamos con un pulso negativo.

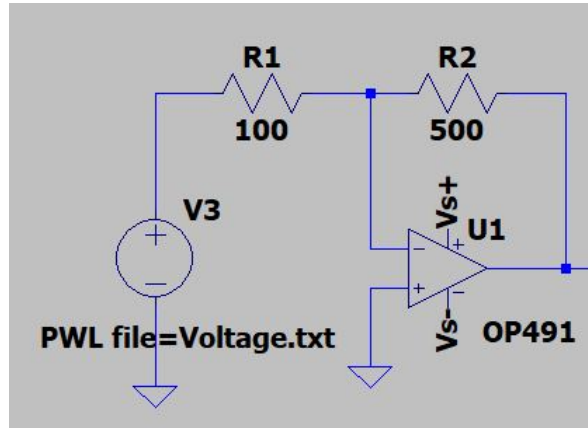


Figura 3: Esquema de Amplificador Operacional Inversor generado en LTspice

Realizmos el ejemplo con una resistencia $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 500 \Omega$, y un operacional OP491. Ahora debemos colocar el pulso del PMT, mostrado en la Figura 2, como un voltaje de ingreso. Para esto, utilizamos AutoCAD donde realizamos una polilínea que se asemeje al pulso, lo dividimos en pequeñas partes con puntos, obtenemos sus coordenadas, las pasamos a un archivo txt y lo importamos como archivo PWL en la fuente de voltaje del LTspice.

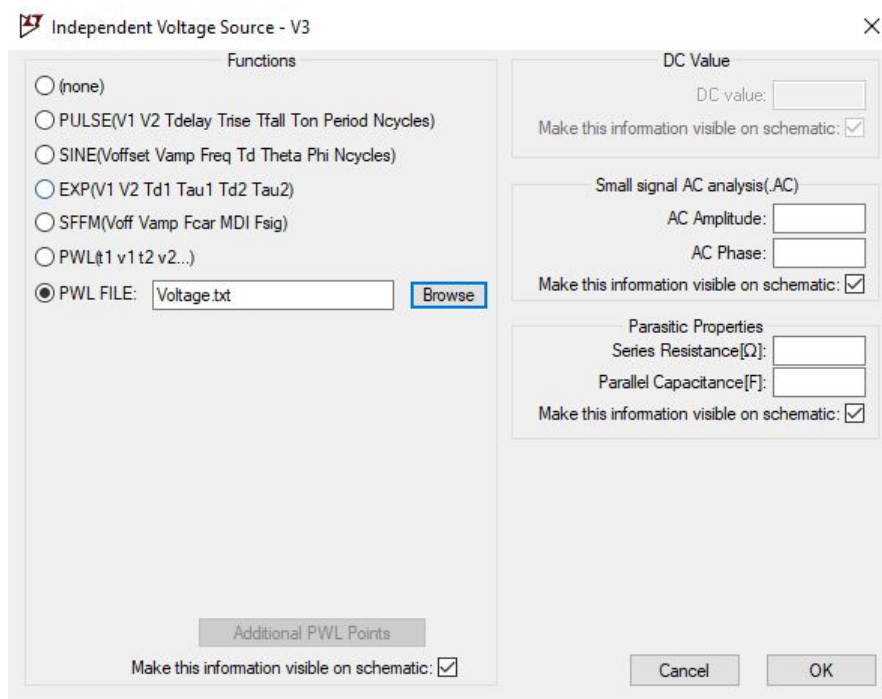


Figura 4: Ingreso del pulso PMT en LTspice

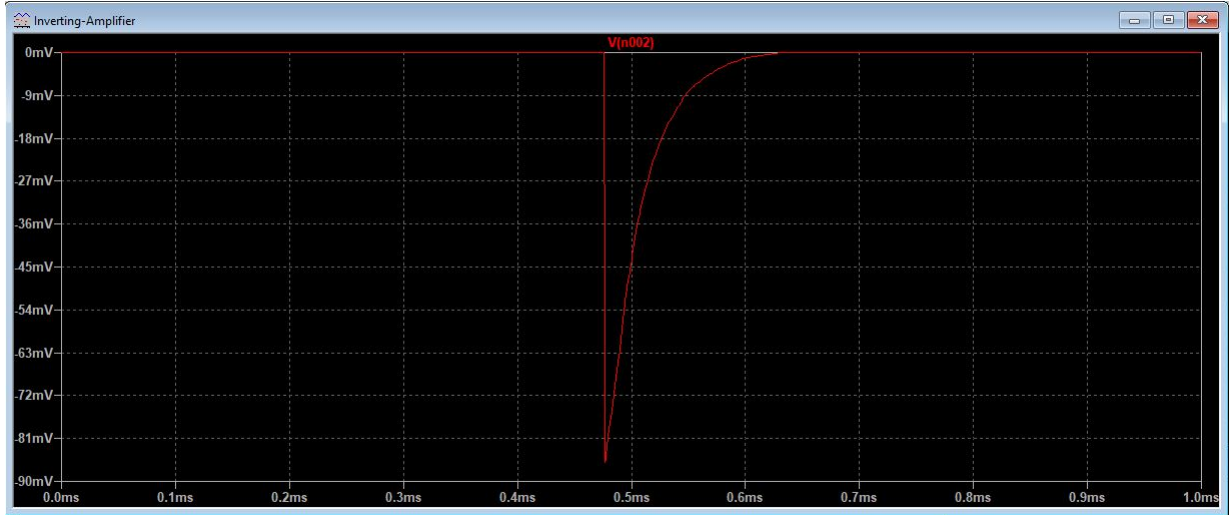


Figura 5: Señal de ingreso simulada en LTspice

Se utilizó el OP491 debido a que es el que mejor se asemeja al caso de un amplificador operacional ideal, el cual posee un valor Slew Rate de $0.4 \text{ V}/\mu\text{s}$ un tanto mayor que el OP77 de $0.3 \text{ V}/\mu\text{s}$. Este valor indica, básicamente, que el circuito puede reaccionar con mayor o menor rapidez ante una variación de voltaje en el ingreso.

Hemos considerado que el sistema trabajará en el rango de 0 - 1 Voltios, el pico dato es de 86 mV y el valor máximo de pico que puede darse es de 200 mV. Utilizando los valores de resistencia $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 500 \Omega$ y el operacional OP491, obtenemos la siguiente señal de ingreso,

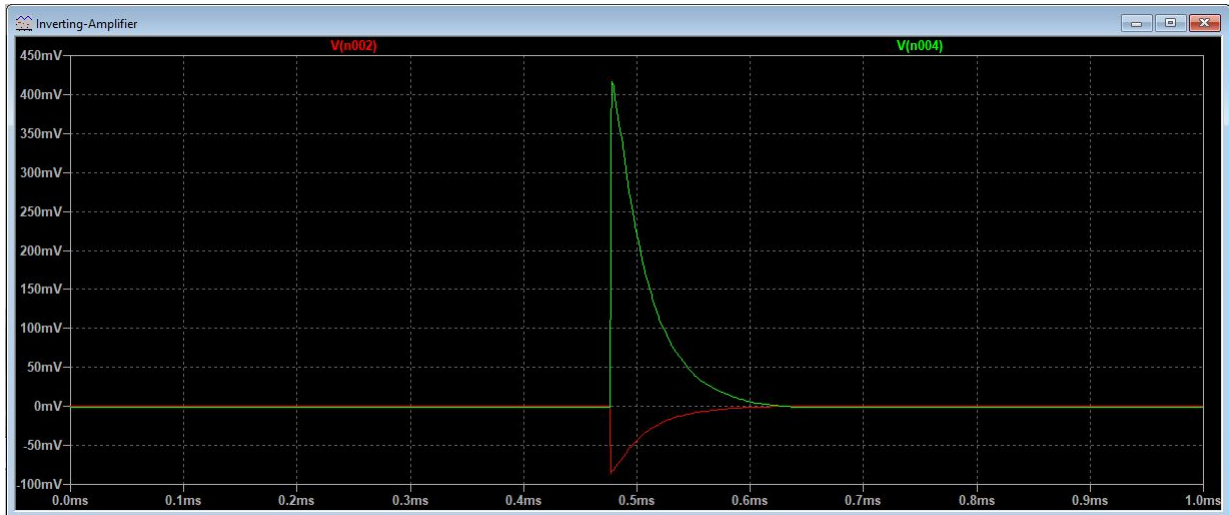


Figura 6: Señal amplificada con OP491 en LTspice

2) Peak Detection Techniques. Una forma de detectar los picos de una señal, consiste básicamente en la utilización de un diodo. El esquema más sencillo corresponde al rectificador de señal con el agregado de un condensador,

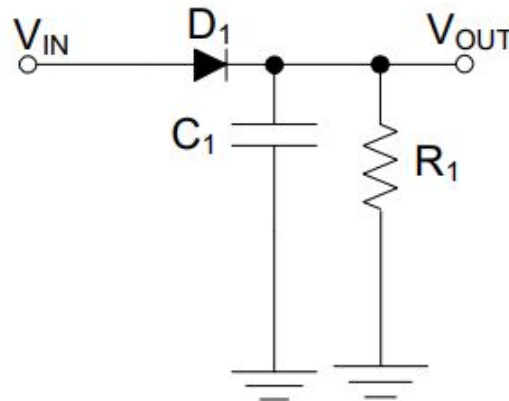


Figura 7: Circuito simple de detección de picos

Los principales inconvenientes del circuito anterior son: caída de voltaje y descarga del condensador muy lenta.

3 and 4) Design an amplifier and peak detection circuit, simulate it and show results. En la mayoría de los casos prácticos, los inconvenientes mencionados anteriormente quieren ser evitados, y es por esto que se acude al circuito detector de picos activo de dos etapas. En la primera etapa se produce la amplificación e inversión de la señal, y en la segunda etapa se realiza la detección de picos. Se realizó una pequeña modificación agregando un diodo, logrando que se mantenga un poco la señal y que el tiempo de descarga del condensador es más rápida. El diodo utilizado es de tipo Schottky cuyo código técnico es NSR20F30NXT5G, ya que generan una mayor capacidad de recuperación en el circuito.

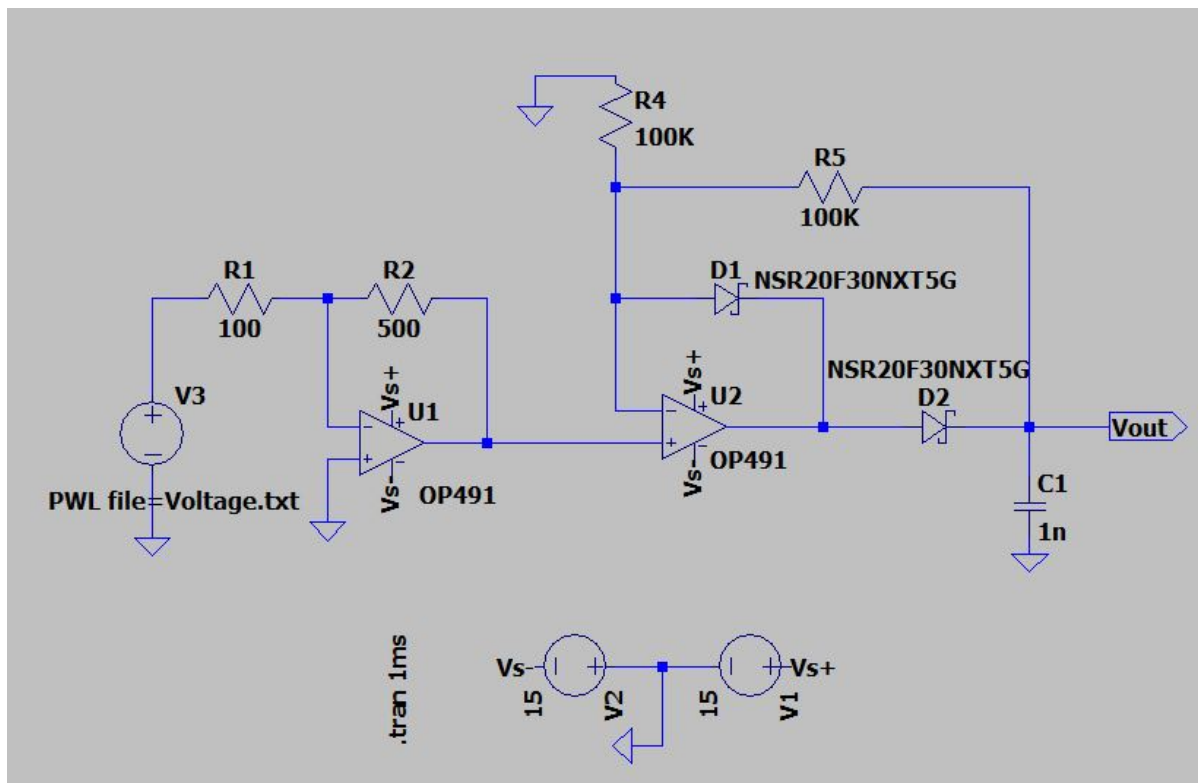


Figura 8: Circuito de dos etapas para la detección de picos simulado en LTspice

De esta manera, logramos una señal acorde a los requisitos de este trabajo, ilustrada en la Figura 9,

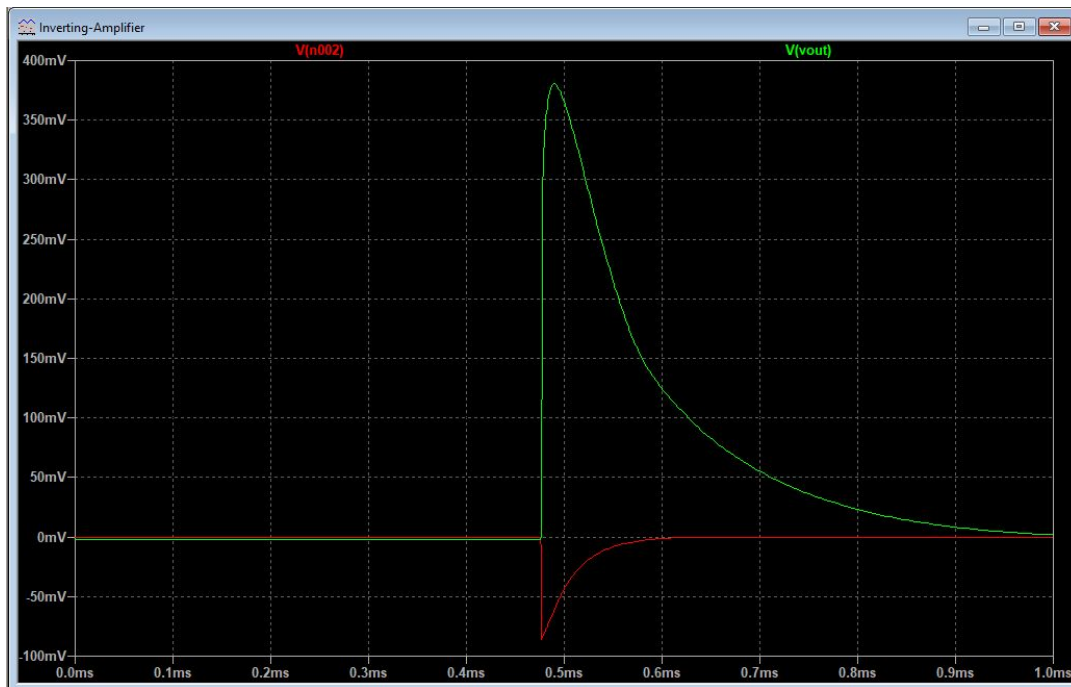


Figura 9: Circuito de dos etapas para la detección de picos simulado en LTspice

Ahora incluimos una segunda señal de ingreso a continuación de la primera, para poder observar la respuesta del circuito.

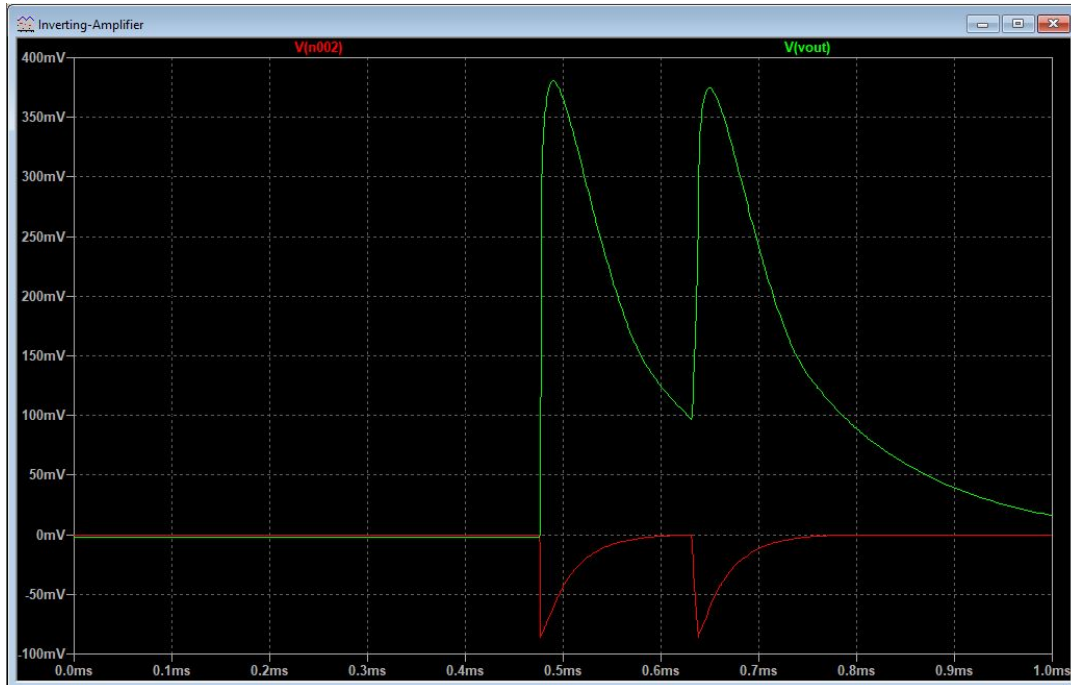


Figura 10: Circuito de dos etapas para la detección de picos simulado en LTspice

Podemos observar que el circuito nos permite una rápida recuperación, lo cual se traduce en un mayor número de partículas que podrán ser detectadas con diferencias temporales del orden de 0.1 ms. Además, el rango de entrada (input range) del circuito debe asegurar que el voltaje luego de la amplifi-

cación no supere 1 V. Debido a esto, podemos definir el rango de entrada del circuito entre 0 - 200 mV. La señal más estrecha que el circuito puede detectar está relacionada con el tiempo de procesamiento de los datos, y en nuestro caso consideraremos esta señal cuando nuestra respuesta del sistema sea muy aguda y no prolongue el pico un determinado tiempo. Variando los valores entrada del sistema se pueden observar ambos parámetros,



Figura 11: Disminución del ancho de la señal en un 300 por ciento

En la Figura 11 puede verse que el pico no se extiende lo suficiente, por lo que, debemos considerar señales con mayor ancho.

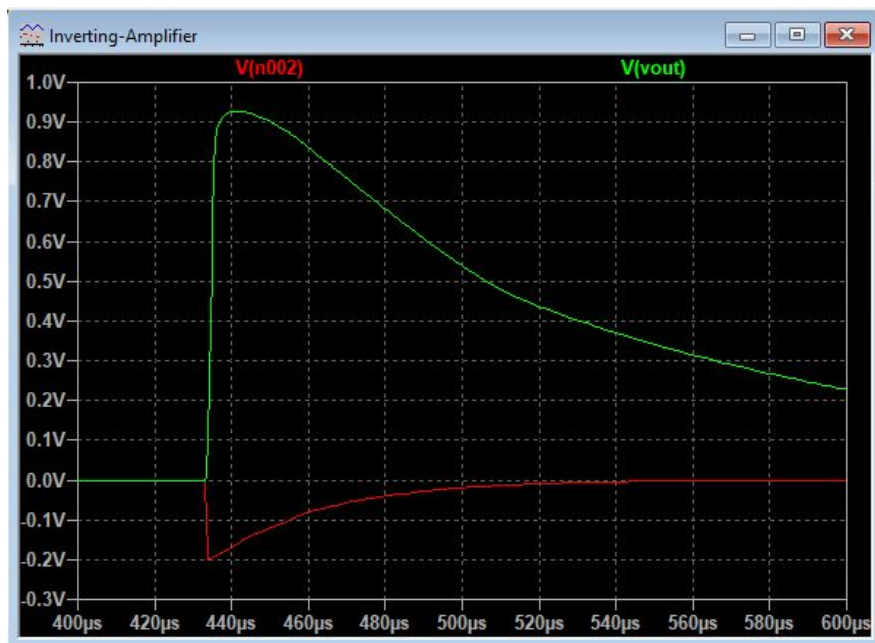


Figura 12: Disminución del ancho de la señal en un 110 por ciento

En la Figura 12 obtenemos una señal acorde a los requisitos mencionados anteriormente, con un ancho de unos 100 μ s.

4 Observaciones Finales

En el presente trabajo, hemos creado un circuito amplificador de señales y detector de picos con el propósito de captar rayos cósmicos en forma de pulsos de voltaje, por medio de un PMT que recibe los fotones emitidos durante la radiación Cherenkov.

Las señales recibidas por el PMT varían desde 0 hasta 200 mV y nuestro circuito funcionará en el rango de 0 a 1 V. Debido a esto, el circuito fue realizado en dos etapas. En la primer etapa se amplifica la señal 500 por ciento con la utilización de un operacional y resistencias de 100 y 500 Ω . En una segunda etapa se realiza la detección del pico utilizando diodos, resistencias y un condensador.

Observando los resultados obtenidos por simulación, llegamos a la conclusión de que el ancho mínimo que es posible detectar y continuar con un pulso aceptable para el procesamiento de la información, es de unos 100 μ s con un rango de entrada de 0 a 200 mV.