

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

VALPARAÍSO-CHILE



**SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA
DETECTORES DE MUONES**

JAIRO ESTEBAN GONZÁLEZ CABEZAS

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL ELECTRÓNICO**

**PROFESOR GUÍA
DR. GONZALO CARVAJAL**

**PROFESOR CO-REFERENTE
DR. HAYK HAKOBYAN**

MES, AÑO

AGRADECIMIENTOS

agradecer

RESUMEN

resumen

Palabras claves: palabras, palabras.

ABSTRACT

abstract

Keywords: words, words.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Contexto	1
1.2. Motivación	2
1.3. Planteamiento del Problema	3
1.4. Alcances y contribuciones	6
1.5. Organización del documento.	6
A. CONTROL DE VERSIONES DE PROYECTOS VIVADO CON GIT	8
B. CONEXIÓN DE SEÑALES LVDS EN UNA FPGA ARTIX 7	9
C. AJUSTE DE FORMA EN PULSOS ELECTRÓNICOS PARA LA FÍSICA	10
D. RAYOS CÓSMICOS Y PARTÍCULAS DE ALTA ENERGÍA	11
REFERENCIAS	12

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Representación artística de rayos cósmicos y lluvia de partículas subatómicas sobre la corteza terrestre.	3
1.2. Imagen referencial de un mapa de calor para representación de densidades en un corte transversal de terreno.	4
1.3. Diagrama del sistema de muongrafía de terreno para un solo detector. Se incluyen en azul las formas de señal asociadas a la señal de disparo, eventos de detección, y lectura de pulsos.	5

ÍNDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

En este documento se detalla el trabajo realizado en torno al diseño ¹ de un ² sistema de adquisición de datos para detectores de muones. ³ El sistema fue implementado en una FPGA ⁴ utilizando SystemVerilog. ⁵

El presente capítulo relata el contexto, las principales motivaciones que originan este proyecto de titulación, el planteamiento del problema, sus alcances y las contribuciones asociadas. Al final del capítulo se incluye además la organización del documento y detalles de cada capítulo.

1.1. Contexto

⁶ El planeta tierra es constantemente bombardeado por rayos cósmicos. Estos provienen del espacio exterior y corresponden principalmente a partículas cargadas, como protones y núcleos atómicos. ⁷Se caracterizan por viajar a grandes velocidades,

¹Gonzalo's comment: entiendo que estaras haciendo el diseño, implementacion, y validacion, cierto?

²Gonzalo's comment: prototipo? Para acotarlo mas.

³Gonzalo's comment: Incluir una breve frase sobre el origen y contexto de uso para el desarrollo. Por ejemplo: "El sistema de adquisicion fue diseñado en base a indicaciones y requerimientos especificos del CERN/CCTval para ser usado en aplicaciones de"

⁴Gonzalo's comment: Introducir el acronimo la primera vez que se usa

⁵Gonzalo's comment: borre la frase, pero no es necesario poner *hardware* en cursivas. Vas a usar demasiados terminos en ingles, asi que quedaria raro el texto. Deja los terminos en fuente normal, y despues se ve cuales vale la pena destacar.

⁶Gonzalo's comment: Articula mejor el texto para que fluya mejor. Estas usando frases cortas separadas por puntos seguidos, que lo hacen ver como un telegrama. Cada vez que termines un texto, leelo en voz alta siguiendo las reglas gramaticales del colegio, y eso te dara una idea de donde poner las puntuaciones. Si se lee muy golpeado o interrumpido es indicacion de que hay demasiados puntos, si te quedas sin aire en algun frase es indicacion de que falta una coma o la frase esta muy larga, etc.

⁷Gonzalo's comment: que es lo que se caracteriza por viajar a grandes velocidades? Esto gramaticalmente se llama un *dangling modifier*. Estudia en que consiste y evitalos en el resto del documento y para el resto de tu vida. Tambien tiene que ver con el exceso de puntuacion.

por lo cual también son llamadas partículas de alta energía.⁸

Los rayos incidentes interactúan con la atmósfera, produciendo la ionización del medio y decayendo en partículas secundarias. Estas últimas vuelven a interactuar con otras, generando una efecto en cadena y produciendo así una lluvia de partículas subatómicas sobre la corteza terrestre. La figura 1.1 corresponde a una representación artística de la lluvia de partículas originada por radiación cósmica.

Cerca del 70 % de las partículas que logran llegar a la superficie del planeta corresponden a muones.⁹ Estos poseen la misma carga que un electrón, pero con una masa cerca de 200 veces mayor.¹⁰ Esta característica, sumada a su altísima velocidad¹¹, permite que los muones pasen a través de la materia.¹² Incluso, son capaces de alcanzar zonas bajo tierra durante el transcurso de su vida media, correspondiente a aproximadamente $2\mu s$.

Al atravesar materia, los muones son absorbidos o su energía se ve disminuida. Detectarlos y medir su energía permite entonces conocer propiedades de la materia que ha sido atravesada por estas partículas. Por ejemplo, es posible realizar un mapa de densidad de terreno a partir de los cruces de muones, proceso conocido como muongrafía o tomografía muónica¹³.

Para llevar a cabo mediciones y análisis de detección de muones se requieren detectores, interfaces de lectura, análisis computacional, y por supuesto, un sistema de adquisición de datos capaz de transformar las características físicas de eventos detectados a datos computables y analizables para extracción e interpretación de la información.

1.2. Motivación

El “Sistema de adquisición de datos para detectores de muones” nace como un requerimiento del Centro Científico Tecnológico de Valparaíso (CCTVal) para aplicaciones de física de partículas, en el marco del proyecto “sTGC Minería”.

⁸Gonzalo's comment: Falta tambien un contexto de donde provienen o algo así (no aparecen de la nada) y por que son relevantes, aunque sea algo intuitivo para el lector comun y corriente.

⁹Gonzalo's comment: dangling modifier

¹⁰Gonzalo's comment: dangling modifier

¹¹Gonzalo's comment: cuanto?

¹²Gonzalo's comment: dangling modifier. El ultimo que marco. Corregir en todo el documento.

¹³Gonzalo's comment: seria bueno ir dando referencias de literatura para estos conceptos, en caso de que el lector quiera saber mas al respecto. Dar tambien un ejemplo de aplicaciones practicas (minería, topografía, otros.). Esto es en forma breve, y despues en el resto del capitulo explicas mas detalles de las aplicaciones especificas. COnsidera la motivacion como un trailer motivacional para que el lector quiera seguir viendo la pelicula. Detectar muones es aburrido, las aplicaciones que tiene este tipo de tecnologia en entornos productivos es lo interesante desde el punto de vista de ingeniería.



Figura 1.1: Representación artística de rayos cósmicos y lluvia de partículas subatómicas sobre la corteza terrestre.

Uno de los objetivos principales de “sTGC Minería” es realizar tomografías muónicas de terreno minero detectando partículas que provengan de radiación cósmica, método similar al que se utiliza para encontrar criptas y cavernas en pirámides egipcias¹⁴. Estas tomografías sientan las bases para la detección de cavernas subterráneas y estimación de densidad en terrenos mineros. La figura 1.2 corresponde a una muongrafía de un corte transversal de terreno.¹⁵

Producto de la colaboración existente entre CCTVal y el experimento ATLAS, en CERN, el centro cuenta con las herramientas y conocimientos necesarios para la fabricación de detectores de muones en Chile. Los detectores de partículas a utilizar en “sTGC Minería” corresponden precisamente a unos basados en los detectores del espectrómetro de muones presente en el experimento ATLAS.

1.3. Planteamiento del Problema

La detección de muones implica una serie de etapas y detectores desarrollados con tecnologías que se utilizan en experimentos tales como ATLAS, en CERN¹⁶.

¹⁴Gonzalo's comment: interesante, pero da una referencia a algun articulo

¹⁵Gonzalo's comment: explicar un poco mejor la figura. Que informacion util entrega esa figura? Que significa el mapa de colores?

¹⁶Gonzalo's comment: Introducir los acronimos

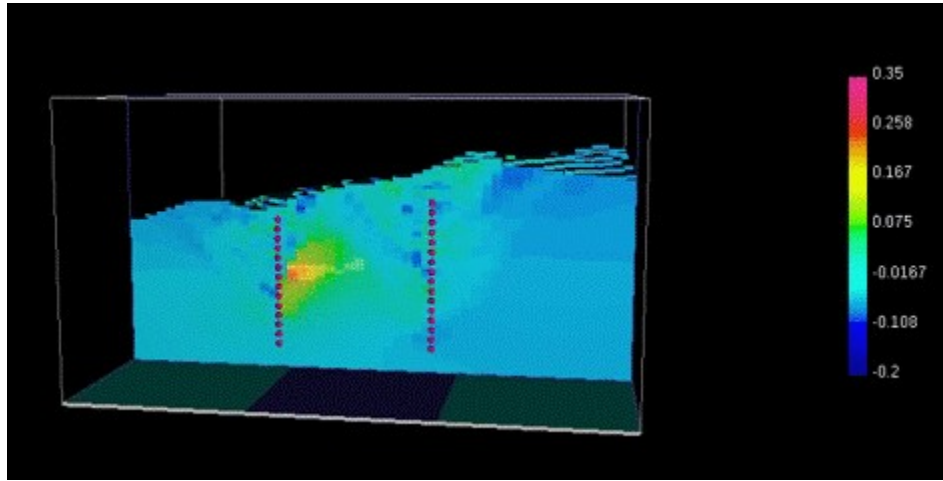


Figura 1.2: Imagen referencial de un mapa de calor para representación de densidades en un corte transversal de terreno.

Particularmente en “sTGC Minería”, se requiere un sistema que sea capaz de captar las señales generadas por los detectores y que determine de manera fiable y precisa¹⁷ aquellas zonas del detector por las cuales ha pasado un muon.

El “Sistema de adquisición de datos para detectores de muones” cumplirá con las funciones de adquirir, discriminar y estructurar la información captada desde el detector, para así contribuir a la tomografía muónica del terreno.

Como objetivo principal se tiene el detectar la posición del paso de muones en un detector de configuración matricial, indicando el o los cuadrantes¹⁸ que han sido excitados por el paso de las partículas, de manera fiable y eficiente¹⁹, logrando captar gran²⁰ cantidad de señales íntegramente²¹.

La figura 1.3 ilustra el sistema de muongrafía de terreno considerando un solo detector de muones. Para su operación, utiliza dos detectores centelleantes secundarios, un sistema de coincidencias y una interfaz de lectura. El sistema de adquisición de datos capta y discrimina los pulsos generados según se correspondan con la señal de coincidencia asociada a los detectores centelleantes. La información resultante es

¹⁷Gonzalo's comment: a que te refieres con fiable y precisa?

¹⁸Gonzalo's comment: no se han explicado lo de los cuadrantes ni cosa asociadas. Quizas debas mover las especificaciones tecnicas generales antes.

¹⁹Gonzalo's comment: antes dijiste eficiente y precisa. Se consistente con el lenguaje tecnico, no es un reporte literario ni de poesia (lo cual no quiere decir que puede estar mal escrito).

²⁰Gonzalo's comment: cuantas? Evita el uso/abuso de terminos no cuantificables y subjetivos. Da al menos ordenes (decenas, cientos, miles?)

²¹Gonzalo's comment: que es íntegramente? que no sean corruptas o eticamente correctas?

comunicada a etapas posteriores para análisis de datos.²²

Es requisito del proyecto que este sistema sea concebido como una herramienta adaptada para operar con detectores de mayor tamaño o con arreglos de detectores individuales, permitiendo el análisis de zonas de mayor área o el estudio de trayectorias de partículas con detectores superpuestos. Esto implica que el sistema debe ser de naturaleza modular y expansible, sobre todo en torno a la cantidad de señales que es capaz de procesar.²³

Como objetivo secundario, el proyecto debe ser una herramienta replicable que esté disponible para ser utilizada en nuevos proyectos y experimentos del centro de investigación. Así mismo, el desarrollo y la documentación del proceso debe ser un aporte al conocimiento sobre la implementación de sistemas electrónicos para la detección y análisis de partículas utilizando estas tecnologías, ya que es uno de los primeros en ser desarrollados y probados por el centro.²⁴

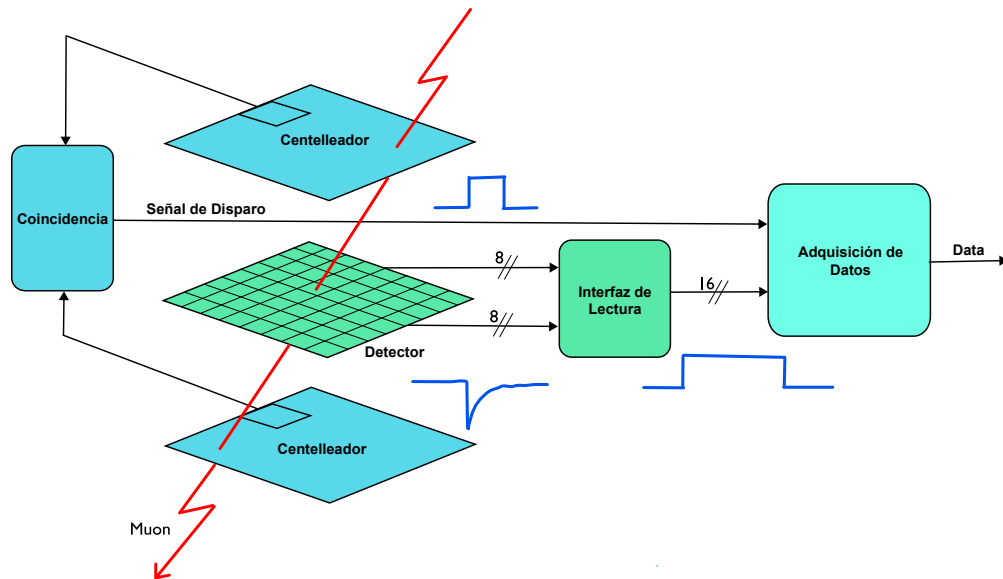


Figura 1.3: Diagrama del sistema de muongrafía de terreno para un solo detector. Se incluyen en azul las formas de señal asociadas a la señal de disparo, eventos de detección, y lectura de pulsos.

²²Gonzalo's comment: Esto debería ir antes. Ver comentarios anteriores.

²³Gonzalo's comment: No queda claro que es lo que ya está hecho y que es lo que harás tú? Estas haciendo el detector completo, o solo el sistema de adquisición? Explicar mejor. También dejar claro que es un prototipo de cierto tamaño.

²⁴Gonzalo's comment: Esto último debería plantearse como una motivación. "Actualmente no se tiene conocimiento sobre esto, por lo que en este proyecto se busca adquirir experiencia práctica..."

1.4. Alcances y contribuciones

²⁵ Se espera que este sistema sea capaz de generar información suficiente para representar la ubicación del paso de las partículas en la superficie del detector, determinando cuadrantes de 1cm^2 que hayan sido excitados por el cruce de partículas.

El sistema deberá ser capaz de captar cantidades pares arbitrarias de canales, discriminando partículas mediante la utilización de las señales de disparo disponibles.

La información generada pasará a etapas siguientes de análisis detallado o de representación gráfica, por lo cual es importante que el sistema sea capaz de entregar información pertinentemente ordenada, procesada y seleccionada para dichos fines.

Finalmente, uno de los principales aportes recae en la documentación respecto a entorno, operación y desarrollo del sistema en cuestión. Esto con el fin de facilitar la implementación del diseño en nuevos sistemas, permitir profundizar y mejorar la propuesta diseñada y entregar las herramientas al centro y a futuros estudiantes para operar dispositivos que posean etapas equivalentes.

1.5. Organización del documento.

Este documento se estructura de la siguiente manera: ²⁶

- El **Capítulo ??** incluye el estado del arte en cuanto a dispositivos de adquisición de datos para partículas de altas energías.
- El **Capítulo ??** detalla la arquitectura propuesta para la realización de este proyecto, contemplando componentes y estructura del mismo.
- El **Capítulo ??** describe las características del detector de partículas utilizado.
- El **Capítulo ??** resume las especificaciones del sistema de lectura para señales provenientes del detector, además de explicar su estructura y funcionamiento.
- El **Capítulo ??** detalla la primera etapa de diseño de hardware, encargada de tomar muestras de los pulsos digitales provenientes de la etapa inmediatamente anterior.
- El **Capítulo ??** trata sobre el diseño para la etapa de discriminación del sistema de adquisición, la cual selecciona aquellos eventos temporalmente coincidentes con una señal de disparo.

²⁵Gonzalo's comment: Toda esta seccion debe ser mas concreta y especifica.

²⁶Gonzalo's comment: demasiados capitulos. No deberian ser mas de 5 o 6.

- El **Capítulo ??** describe la etapa de estructuración de eventos y su diseño, en donde la información de pulsos capturados es asociada los canales y cuadrantes correspondientes.
- El **Capítulo ??** detalla la etapa de análisis de datos para determinación del paso de partículas cargadas por el detector.
- El **Capítulo ??** trata sobre la etapa de sincronización y su diseño, en donde se coordinan eventos capturados por distintos detectores simultáneamente.
- El **Capítulo ??** se refiere a la etapa de comunicación serial, a través de la cual el sistema se comunica con computadores externos para envío de datos.
- El **Capítulo ??** incluye pruebas realizadas en el sistema con el fin de comprobar funcionamiento y resultados del dispositivo.
- El **Capítulo ??** resume los resultados de experimentación y desempeño del sistema diseñado.
- El **Capítulo ??** incluye las conclusiones finales y trabajo futuro propuesto a partir de lo realizado en este proyecto de titulación.

CONTROL DE VERSIONES DE PROYECTOS VIVADO CON GIT

CONEXIÓN DE SEÑALES LVDS EN UNA FPGA ARTIX 7

AJUSTE DE FORMA EN PULSOS ELECTRÓNICOS PARA LA FÍSICA

RAYOS CÓSMICOS Y PARTÍCULAS DE ALTA ENERGÍA

REFERENCIAS

- [1] L. Njejimana, M. A. Tetrault, L. Arpin, A. Burghgraeve, P. Maille, J. C. Lavoie, C. Paulin, K. C. Koua, H. Bouziri, S. Panier, M. W. Attouch, M. Abidi, J. Cadorette, J. F. Pratte, R. Lecomte, and R. Fontaine, “Design of a real-time fpga-based data acquisition architecture for the labpet ii: An apd-based scanner dedicated to small animal pet imaging,” *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 60, no. 5, pp. 3633–3638, 2013.
- [2] S. Marcatili, N. Belcari, M. G. Bisogni, G. Collazuol, G. Ambrosi, F. Corsi, M. Foresta, C. Marzocca, G. Matarrese, G. Sportelli, P. Guerra, A. Santos, and A. Del Guerra, “Development and characterization of a modular acquisition system for a 4D PET block detector,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 659, no. 1, pp. 494–498, 12 2011.
- [3] H. Spieler, “Electronics and data acquisition,” pp. 197–222, 2 2012.
- [4] T. Colombo, “Data-flow performance optimisation on unreliable networks: The ATLAS data-acquisition case,” in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 608, no. 1. Institute of Physics Publishing, 5 2015.
- [5] D. Whiteson, F. J. Wickens, W. Wiedenmann, M. Wielers, P. A. Wijeratne, F. Winklmeier, K. S. Woods, S. L. Wu, X. Wu, B. Wynne, S. Xella, A. Yakovlev, Y. Yamazaki, U. Yang, L. Yao, Y. Yasu, L. Yuan, A. Zaitsev, L. Zanello, H. Zhang, J. Zhang, L. Zhao, N. Zhou, H. Zobernig, and N. M. Zur, “The ATLAS Data acquisition and high level trigger system,” 6 2016.
- [6] Diehl, E, “ATLAS Muon Detector Commissioning,” 2009. [Online]. Available: <http://cds.cern.ch/record/1213055/plots>
- [7] ATLAS Experiment, “Muon Spectrometer,” 2020. [Online]. Available: <http://cds.cern.ch/record/1213055/plots>

- [8] J. Chapman, T. Dai, E. Diehl, H. Feng, L. Guan, G. Mikenberg, V. Smakhtin, J. Yu, B. Zhou, J. Zhu, and Z. Zhao, “Atlas note simulation studies of characteristics and performances of small-strip, thin gap chambers for the atlas new small wheel 4 muon detector upgrade,” 2014.
- [9] V. D. Smet, “Study of a gem tracker of charged particles for the hall a high luminosity spectrometers at jefferson lab,” 2011. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/318016226>
- [10] S. G. Basiladze, “Methods for data readout, acquisition, and transfer in experimental nuclear physics setups (A Review, Part 1),” *Instruments and Experimental Techniques*, vol. 60, no. 4, pp. 463–521, 7 2017.
- [11] —, “Methods for data readout, acquisition, and transfer in experimental nuclear physics setups (A review, part 2),” *Instruments and Experimental Techniques*, vol. 60, no. 5, pp. 615–678, 9 2017.
- [12] L. Arpin, M. Bergeron, M. A. Tétrault, R. Lecomte, and R. Fontaine, “A sub-nanosecond time interval detection system using FPGA embedded I/O resources,” in *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 57, no. 2 PART 1, 4 2010, pp. 519–524.