

**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**



---

---

# CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>IV</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Contexto general	1
1.2. Motivación	3
1.3. Planteamiento del Problema	4
1.4. Alcances y contribuciones	6
1.5. Organización del documento.	7
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>9</b>
2.1. LabPet II	9
2.2. PET 4D	11
2.3. ATLAS	12
<b>3. SISTEMA DE DETECCIÓN</b>	<b>16</b>
3.1. Detector de Partículas	16
3.2. Interfaz de Lectura	16
<b>4. SISTEMA DE ADQUISICIÓN</b>	<b>17</b>
<b>5. SIMULACIONES</b>	<b>18</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>19</b>
<b>A. CONTROL DE VERSIONES DE PROYECTOS VIVADO CON GIT</b>	<b>20</b>
<b>B. CONEXIÓN DE SEÑALES LVDS EN UNA FPGA ARTIX 7</b>	<b>21</b>

**REFERENCIAS****22**

---

---

# ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Representación artística de rayos cósmicos y lluvia de partículas subatómicas sobre la corteza terrestre.	3
1.2. Diagrama del experimento ATLAS. CCTVal colabora en la actualización de la zona indicada como "New small Wheel", que contiene detectores sTGC.	5
1.3. Fotografía correspondiente al montaje de detectores sTGC en la New Small Wheel del proyecto ATLAS.	6
1.4. Fotografía de la fabricación de detectores sTGC en laboratorios de CCTVal. Cada una de placas observadas en la imagen corresponde a capas constitutivas de un detector.	7
1.5. Diagrama del sistema de muongrafía de terreno utilizando un solo detector.	8
2.1. Diagrama de bloques del sistema de adquisición de datos para LabPET II [1]	10
2.2. Diagrama de bloques del sistema de adquisición de datos para Detector PET 4D [2]	11
2.3. Diagrama de la interfaz de lectura para detectores de muones [3]. Los muones se representan con el símbolo $\mu$ . Existen 3 capas de detectores, por lo tanto se observan 3 bloques que incluyen retardos, selección y captura de los pulsos.	12
2.4. Diagrama del sistema de disparo y adquisición de datos en el experimento ATLAS. [4]	13
2.5. Diagrama de la tarjeta de lectura ROBIN en ATLAS [5].	14
2.6. Diagrama de bloques de la FPGA en ROBIN [5].	14

---

# ÍNDICE DE TABLAS

# INTRODUCCIÓN

En este documento se detalla el trabajo realizado en torno al diseño, implementación y validación de un prototipo de un sistema de adquisición de datos para detectores sTGC (small-strip Thin Gap Chamber), cuya función es detectar muones. Este sistema fue diseñado en base a indicaciones y requerimientos específicos del CCTVal (Centro Científico Tecnológico de Valparaíso) para aplicaciones de detección de partículas y muongrafía de terrenos mineros. El sistema fue implementado en una FPGA (Field-programable gate array) utilizando el lenguaje de descripción de hardware SystemVerilog<sup>12</sup>.

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 también la organización de este informe.

### 1.1. Contexto general

El planeta tierra es constantemente bombardeado por rayos cósmicos provenientes del espacio exterior, correspondiendo principalmente a partículas cargadas como protones y núcleos atómicos. El<sup>3</sup> origen de estos rayos cósmicos es variado, y aunque la fuente de algunos es desconocida, la mayor parte de ellos provienen de tormentas solares, agujeros negros e incluso de eventos astronómicos asociados al origen del universo [6]. La velocidad alcanzada por estas partículas cósmicas es tan grande que entran en la categoría de partículas de altas energías, alcanzando desde unos cuantos GeV (Giga Electron Volts) en partículas provenientes del sol, hasta más de 1000 TeV (Tera Electron Volts) para rayos originados en centros galácticos y agujeros

---

<sup>1</sup>Gonzalo's comment: El trabajo principal fue solo diseno en HDL? Verificar.

<sup>2</sup>Jairo's comment: Efectivamente, solo diseñé en HDL

<sup>3</sup>Gonzalo's comment: dangling modifier

negros [7] <sup>4</sup>.

Los rayos cósmicos inciden en el planeta tierra e interactúan con la atmósfera terrestre, produciendo partículas secundarias y la ionización del medio. Estas partículas secundarias decaen en nuevas partículas o vuelven a interactuar con otras a su paso, generando una efecto en cadena y produciendo así una lluvia de partículas subatómicas sobre la corteza terrestre, entre las cuales se encuentran los muones. La Figura 1.1 corresponde a una representación artística que ayuda a ilustrar una lluvia de partículas originada por radiación cósmica.

Los muones corresponden al 70 % de las partículas que logran llegar a la superficie del planeta. Un muon posee una carga eléctrica equivalente a la de un electrón, pero su masa equivale a casi 200 electrones <sup>5</sup>. Los muones viajan a velocidades cercanas a la de la luz, lo que sumado a su gran masa, les permite atravesar la materia casi sin interactuar con ella. Durante sus cerca de  $2\mu s$  de vida media [6] (desde su origen hasta su decaimiento) <sup>6</sup>, los muones son incluso capaces de llegar a zonas bajo tierra.

Al interactuar con la materia, los muones son absorbidos o su energía se ve disminuida. Detectarlos y medir su energía restante permite conocer las propiedades de la materia que ha sido atravesada por estas partículas. Dado que la probabilidad de interacción de los muones es directamente proporcional a la densidad de la materia atravesada, se puede realizar un mapa de densidad de terreno a partir de la reconstrucción de vértices de interacción entre la materia y los muones, proceso conocido como muongrafía o tomografía muónica, útil en áreas como la arqueología, vulcanología, geología y minería. [8] [9]. <sup>7</sup> <sup>8</sup>

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 detecciones a datos computables y analizables para extracción e interpretación de la información.

---

<sup>4</sup>Gonzalo's comment: Trata de dar referencias para todos los datos que pones como verdad absoluta y que son relevantes.

<sup>5</sup>Gonzalo's comment: electrones no lleva tilde

<sup>6</sup>Gonzalo's comment: medido de cuando hasta cuando? Desde su origen? Desde que ingresan a la tierra?

<sup>7</sup>Gonzalo'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.

<sup>8</sup>Gonzalo's comment: en que areas es relevante esto? Da ejemplos.



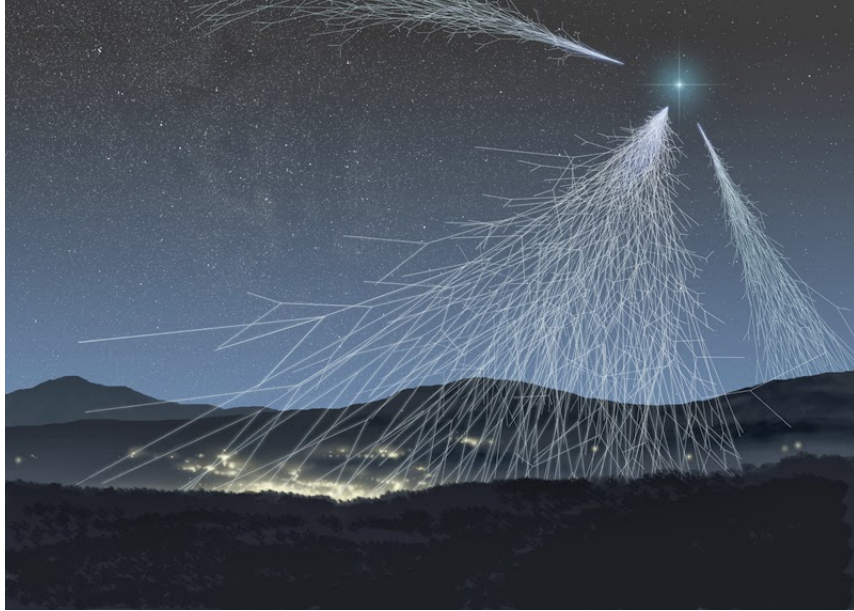


Figura 1.1: Representación artística de rayos cósmicos y lluvia de partículas subatómicas sobre la corteza terrestre.

## 1.2. Motivación

El “Sistema de adquisición de datos para detectores de muones” nace como un requerimiento del CCTVal<sup>9</sup> para aplicaciones de física de partículas en el marco del proyecto “sTGC Minería”, cuyo nombre se debe al tipo de detector utilizado, llamado “small-strip Thin Gap Chamber”.

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 egipcias [10]. Estas tomografías sientan las bases para la detección de cavernas subterráneas y estimación de densidad en terrenos mineros.

Producto de la colaboración existente entre CCTVal y el experimento ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) en CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), CCTVal<sup>10</sup> cuenta con las herramientas y conocimientos necesarios para la fabricación de detectores de muones. Esta colaboración internacional consiste en la actualización de un sector del experimento ATLAS, llamado Small Wheel, cuyos

<sup>9</sup> Gonzalo's comment: ya introdujiste este acronimo.

<sup>10</sup> Gonzalo's comment: eual centro?

detectores son fabricados solamente en Chile y otros 4 países<sup>11</sup>. La Figura <sup>12</sup> 1.2 ilustra el diagrama del experimento, indicándose la Small Wheel en el sector central del instrumento. La Figura 1.3 corresponde a una fotografía del proceso de montaje de la Small Wheel. Los trapecios dorados (marcado en rojo)<sup>13</sup> que se observan en dicha imagen corresponden a los detectores sTGC, donde los tercios superiores (marcado en azul) de cada trapecio son los detectores fabricados en CCTVal. La Figura 1.4 ilustra una fotografía de los detectores sTGC en su etapa de fabricación. La tecnología utilizada para confeccionar estos detectores es la misma a utilizar en “sTGC Minería”.

Actualmente, CCTVal<sup>14</sup> cuenta con el conocimiento para fabricación de detectores, pero no cuenta con toda la experiencia respecto al manejo de datos provenientes de ellos. El diseño de un sistema de adquisición representa uno de los primeros pasos para adquirir experiencia práctica. Esta experiencia será<sup>15</sup> valiosa para este y futuros proyectos relacionados con detección de partículas.

### 1.3. Planteamiento del Problema

La detección de muones requiere una serie de etapas y variados detectores, tales como los utilizados en el experimento ATLAS, en CERN<sup>16</sup>. Las etapas más esenciales<sup>17</sup>son<sup>18</sup> la generación de una señal de disparo, la detección de partículas y la adquisición de los datos. En “sTGC Minería” ya se cuenta con un sistema disparo y detección, pero hace falta diseñar un sistema de adquisición. Es este sistema de adquisición el que se desarrollará en este proyecto de titulación. Se espera que este sistema de adquisición sea capaz de captar las señales generadas por los detectores y determinar los vértices de interacción entre los muones y el detector, proceso que será explicado en el Capítulo cap:sdet<sup>19</sup>.

El “Sistema de adquisición de datos para detectores de muones” cumplirá con las funciones de adquirir, discriminar y transferir la información captada por el detector, para contribuir a la tomografía muónica del terreno. La Figura 1.5 ilustra el sistema de muongrafía de terreno considerando un solo detector de muones. Para

<sup>11</sup>Gonzalo's comment: efectivamente son pocos países? Quizas sea mejor destacar el rol local de la region.

<sup>12</sup>Gonzalo's comment: figura en mayuscula cuando te refieras a una figura especifica con numero.

<sup>13</sup>Gonzalo's comment: editar la figura para marcar estas partes. No es evidente encontrar los trapezoides. No es un juego de donde esta Wally.

<sup>14</sup>Gonzalo's comment: cual centro?

<sup>15</sup>Gonzalo's comment: sera

<sup>16</sup>Gonzalo's comment: Hay algo cojo en esta oracion

<sup>17</sup>Gonzalo's comment: suena mal basicas. Debe haber un mejor termino

<sup>18</sup>Gonzalo's comment: Hay algo raro en la escritura

<sup>19</sup>Gonzalo's comment: los detalles de este proceso los explicaras en un capitulo posterior?

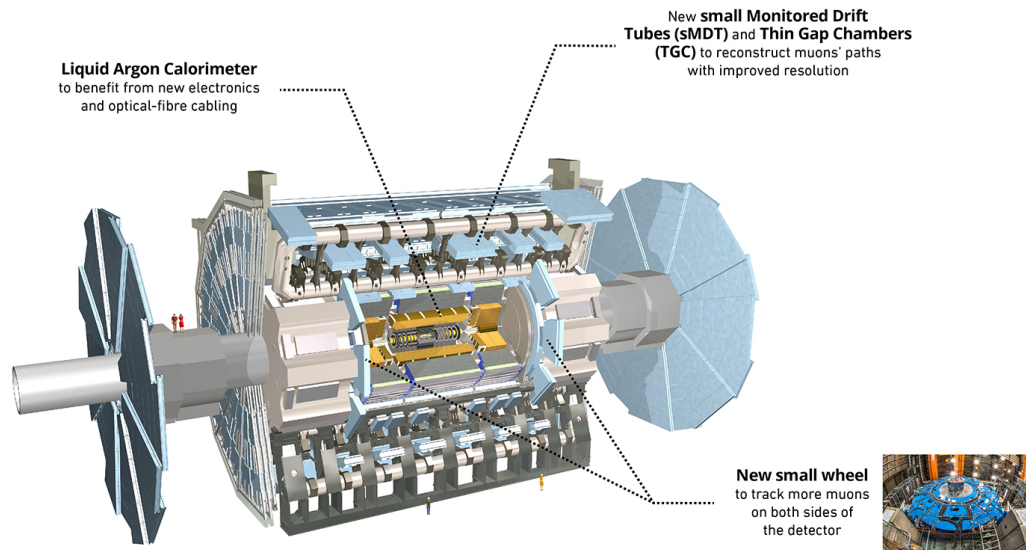


Figura 1.2: Diagrama del experimento ATLAS. CCTVal colabora en la actualización de la zona indicada como "New small Wheel", que contiene detectores sTGC.

su operación, el sistema utiliza detectores secundarios (centelladores), un sistema de coincidencias, un detector sTGC y una interfaz de lectura. Los dos primeros corresponden a la etapa de generación de señal de disparo (en azul), mientras que los últimos dos corresponden a la etapa de detección (en verde). La etapa de adquisición de datos, (correspondiente al sistema a diseñar) capta y discrimina los pulsos generados por el sistema de detección. La información resultante será comunicada a etapas posteriores para análisis de datos.<sup>20</sup>

<sup>21</sup>Si bien en este prototipo funcional solo se realizarán pruebas a pequeña escala, se requiere que este sistema sea capaz de operar con detectores de mayor tamaño o con arreglos de varios detectores, 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 escalable, sobre todo en torno a la cantidad de señales que es capaz de procesar.

El objetivo principal del sistema a diseñar es determinar los vértices de interacción en el detector. Como objetivo secundario, el proyecto debe ser una herramienta replicable que esté disponible para ser utilizada en nuevos proyectos y experimentos

<sup>20</sup> Gonzalo's comment: ~~Esto debería ir antes. Ver comentarios anteriores.~~

<sup>21</sup> Gonzalo's comment: Parte con algo como ~~Si bien en este trabajo solo se realizaran pruebas a pequeña escala... (especificar un poco mas~~

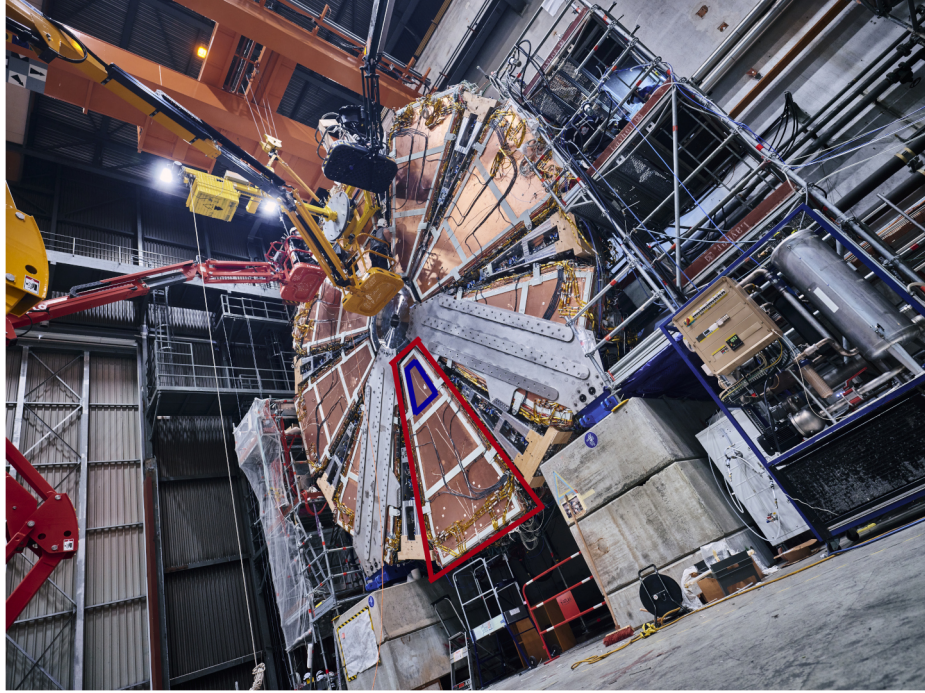


Figura 1.3: Fotografía correspondiente al montaje de detectores sTGC en la New Small Wheel del proyecto ATLAS.

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 en CCTVal <sup>22</sup>.

## 1.4. Alcances y contribuciones

Se espera que este sistema sea capaz de generar información suficiente para representar la ubicación de los vértices de interacción en la superficie del detector, con una resolución de al menos  $1\text{cm}^2$ .

El sistema deberá ser capaz de captar al menos 8 pares de señales, con la opción de ampliarlo a más canales, discriminando interacciones con partículas no deseadas mediante la interpretación de la señal de disparo.

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

<sup>22</sup>Gonzalo's comment: eual-centro?





Figura 1.4: Fotografía de la fabricación de detectores stGC en laboratorios de CCT-Val. Cada una de las placas observadas en la imagen corresponde a capas constitutivas de un detector.

debe ser enviada de manera tal que permita distinguir un evento de otro y reconocer el canal del detector asociado a cada señal captada.

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 su implementación 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. Esto incluye documentación sobre la operación de la interfaz de lectura, el manejo de señales digitales y el software empleado para el diseño del hardware. Además, el diseño desarrollado estará disponible en un repositorio, permitiendo así replicar los experimentos y extender el sistema de adquisición partiendo de una base ya probada.<sup>23</sup>

## 1.5. Organización del documento.

Este documento se estructura de la siguiente manera:

- El **Capítulo 2** incluye el estado del arte en cuanto a dispositivos de adquisición de datos para partículas de altas energías.
- El **Capítulo 3** describe las características del detector de partículas utilizado

---

<sup>23</sup>**Gonzalo's comment:** se dejara el diseño en un repositorio para que los experimentos sean repetibles y se pueda extender el sistema partiendo de una base probada?

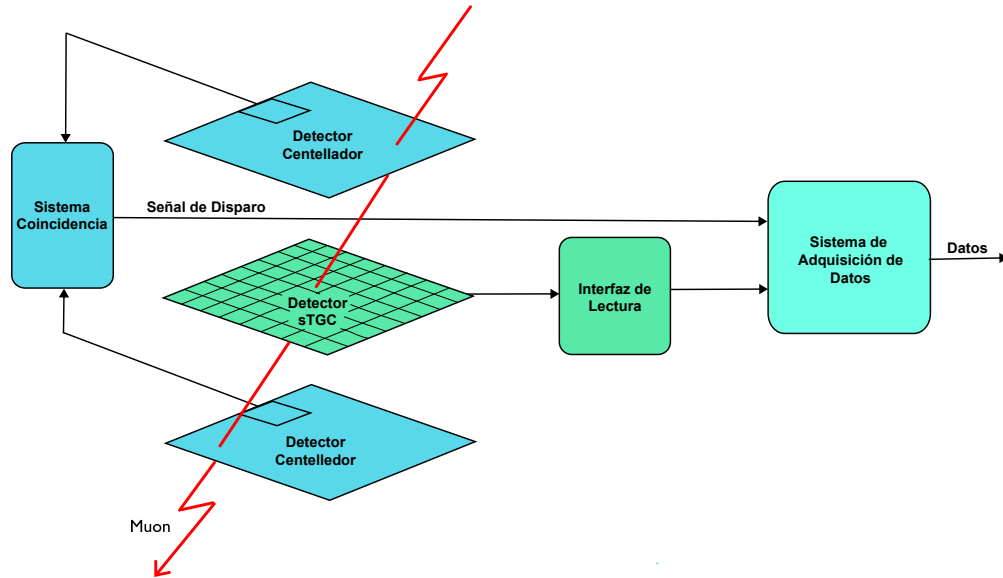


Figura 1.5: Diagrama del sistema de muongrafía de terreno utilizando un solo detector.

y resume las especificaciones del sistema de lectura para señales provenientes del detector, además de explicar su estructura y funcionamiento.

- El **Capítulo 4** detalla la arquitectura propuesta para la realización del sistema de adquisición, detallando el desarrollo de cada una de sus etapas.
- El **Capítulo 5** incluye pruebas realizadas en el sistema con el fin de comprobar funcionamiento y resultados del dispositivo.
- El **Capítulo 6** incluye las conclusiones finales y trabajo futuro propuesto a partir de lo realizado en este proyecto de titulación.

# ESTADO DEL ARTE

Previo al diseño de este sistema, es pertinente conocer el estado del arte de otros sistemas de adquisición de datos para física de partículas, con el fin de contrastar y rescatar las diferentes estrategias y tecnologías empleadas en la actualidad.

En las siguientes páginas se mencionan tres sistemas relacionados a esta temática, destacando ideas sobre el esquema general de adquisición de datos, tecnologías que se utilizan actualmente para construirlos y métodos para adquirir y procesar las señales captadas.

## 2.1. LabPet II

Como referencia para el diseño del sistema de adquisición, se han investigado detectores como los descritos en [11] y [12], enfocados a detección de partículas en diferentes rubros y condiciones.

Dentro de la variedad de detectores estudiados, LabPet II de Larissa Njejimana [1] presenta una estructura clara e interesante. Este detector posee un DAQ distribuido en tres FPGAs, contando con etapas para recolectar, procesar y transmitir la información obtenida. Una primera etapa consiste en registrar tiempo, energía y posición de las partículas captadas; una segunda etapa ordena cronológicamente los eventos capturados, mientras que una tercera etapa agrupa detecciones coincidentes, calculando además la tasa de eventos aleatorios ocurridos. La figura 2.1 ilustra este sistema.

Si bien, dicho detector está diseñado para otro tipo de partículas (positrones), la naturaleza de las señales es muy similar, y por lo tanto la lógica para su adquisición y procesamiento es comparable. Aún así, la cantidad de señales que es capaz de manejar dicho dispositivo ronda las 64 señales por módulo, a tasas cercanas a los 2 millones de eventos por segundo, las que comparativamente sobrepasarían las necesidades del sistema a desarrollar en este proyecto de titulación. Por ejemplo, los rayos cósmicos cruzan el planeta tierra a aproximadamente 1 rayo cósmico por minuto en un área de  $1\text{cm}^2$ , muy por debajo de lo que se espera en LabPET II.

The diagram illustrates the system architecture of the SP6805 Xilinx board, showing the flow of data and control signals between three main components: the Front-End board, the Hub board, and the Coincidence board.

- Front-End board (2X per Hub):** This board contains a MUX and four ASICs. It receives Commands/Replies transfer and sends Commands LVDS link (1x) and Replies LVDS link (1x) to the Hub board. It also receives Events LVDS links (6x) from the Hub board.
- Hub board (7X - 16X):** This board contains a Commands / Replies management block, Deserialization, Event counter, Energy correction, TOT timing correction Scanner timing correction, Energy histogramming, Sorting tree (serial sorters + parallel sorters), Event counter, and Aurora packets formatting. It receives Commands LVDS link (1x) and Replies LVDS link (1x) from the Front-End board and sends Events LVDS links (6x) to the Front-End board. It also receives Data from all Hub boards via Rocket IO gigabit links and sends Data to the Coincidence board via Rocket IO gigabit links.
- Coincidence board (1X):** This board contains a Count rate tables transfer management block, Aurora packets reception formatting, Event counter, Final sorting tree (parallel sorters), Event counter, Coincidence engine, Prompts counter, Randoms counter, Optical fiber packets formatting, and SRAM (512KB). It receives Data from all Hub boards via Rocket IO gigabit links and sends Data to the Hub board via Rocket IO gigabit links. It also receives Data from the Hub board via Rocket IO gigabit links and sends Data to the Hub board via Rocket IO gigabit links.

The system is connected to an Ethernet TCP/IP network and a PC via PCIe and Ethernet TCP/IP interfaces.

Figura 2.1: Diagrama de bloques del sistema de adquisición de datos para LabPET II [1]



## 2.2. PET 4D

Otro sistema de referencia es el DAQ para un detector PET 4D [2], similar al LabPET II. Este dispositivo permite capturar gran cantidad de señales provenientes de arreglos matriciales de fotomultiplicadores. Se caracteriza principalmente por poseer una tarjeta madre central en la cual es posible conectar hasta 18 tarjetas de adquisición. Cada una de estas últimas cuenta con 8 o hasta 32 canales para la adquisición de pulsos provenientes del detector, encargándose de capturar, procesar y enviar información a la placa madre.

Las señales son capturadas por ASICs (*Application Specific Integrated Circuits*), muestreadas por conversores análogo-digitales, procesadas por una FPGA y controladas por una FPGA principal (etiquetada como la placa madre). El procesamiento se encarga de calcular energía y datos temporales, mientras que el control final relaciona los eventos que hayan sido temporalmente coincidentes y calcula el tiempo de vuelo de las partículas con apoyo de un conversor de tiempo a señal digital (TDC).

Este sistema destaca por su modularidad, la cual permite escalamiento. En contraste con LabPET II, se sustituye la serialización de datos con la presencia de varias placas adquisidoras de datos, procesando la información antes de llegar a la FPGA principal. Cabe destacar que esta arquitectura está relacionada con la necesidad de encontrar múltiples eventos simultáneos en distintas ubicaciones físicas, requerimiento que no está presente en el sistema que se planea diseñar para este proyecto de titulación. La figura 2.2 ilustra la arquitectura de este sistema.

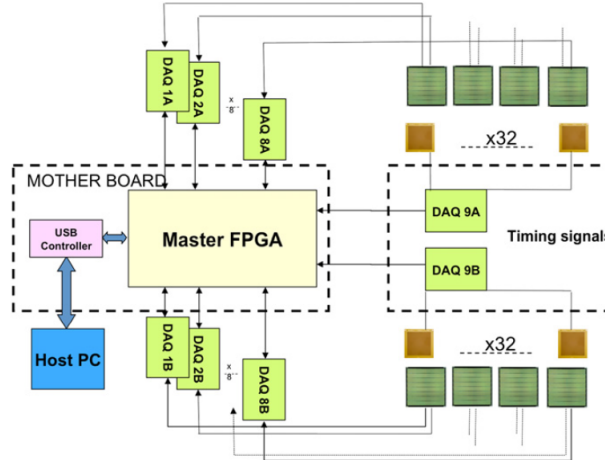


Figura 2.2: Diagrama de bloques del sistema de adquisición de datos para Detector PET 4D [2]

## 2.3. ATLAS

Finalmente, la referencia más importante corresponde a la del experimento ATLAS, donde se utiliza la misma tecnología de detectores y la misma interfaz de adquisición (ASD) en una de sus etapas, como se mencionada en [3].

Este experimento intercepta grupos de partículas provenientes de haces de protones acelerados en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) en CERN. Estos grupos de partículas producen colisiones espaciadas en el tiempo en aproximadamente  $25\mu s$  entre si, cada una produciendo cerca de 23 interacciones con el detector, que junto a otros factores implica cerca de  $10^9$  eventos cada segundo [5]. La magnitud, tasa de aparición y nivel de energía de estos eventos son las principales razones de la complejidad tecnológica de este detector.

Este detector posee dos etapas previas de selección de eventos, donde la primera etapa involucra detectores de muones y calorímetros, mientras que la segunda involucra algoritmos distribuidos en varios computadores. La figura 2.3 ilustra la interfaz para la captura de los pulsos generados por muones en los detectores (TGC).

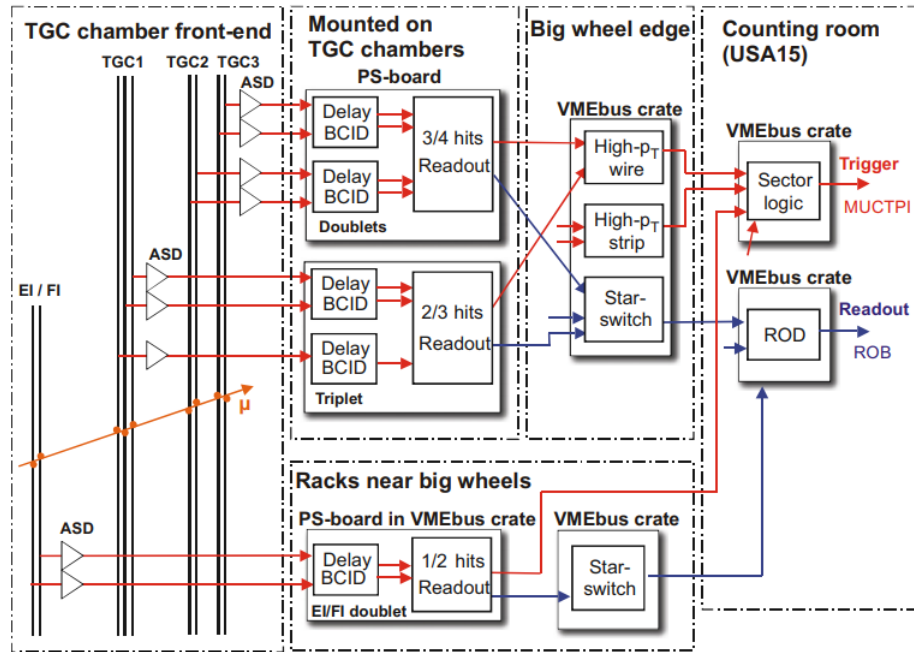


Figura 2.3: Diagrama de la interfaz de lectura para detectores de muones [3]. Los muones se representan con el símbolo  $\mu$ . Existen 3 capas de detectores, por lo tanto se observan 3 bloques que incluyen retardos, selección y captura de los pulsos.

Luego de generarse la primera señal de disparo, se da paso a la adquisición de datos en la tarjeta de lectura del detector (*Readout System*), enviando paralelamente información sobre regiones de interés a analizar, con el fin de llevar a cabo la segunda etapa de selección de eventos mediante el disparo de alto nivel (*High-Level Trigger*). Esta segunda señal de disparo utiliza software distribuido en cerca de 2000 computadores conectados a una red Ethernet y filtra eventos en función a muestras de datos pertenecientes a las regiones de interés calculadas por la etapa de disparo anterior, como se describe en [4]. Finalmente, los eventos seleccionados son transferidos y almacenados en los bancos de datos del centro de investigación. La figura 2.4 ilustra las etapas mencionadas.

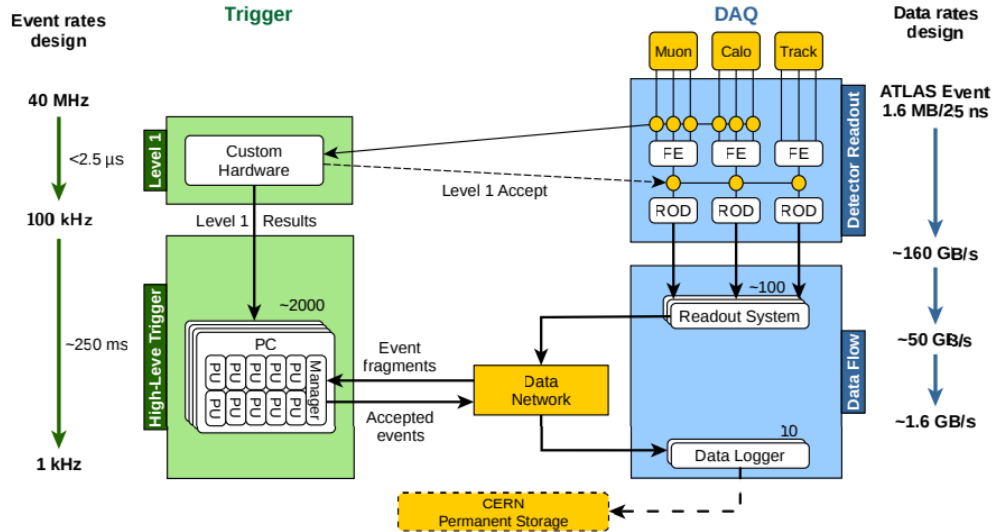


Figura 2.4: Diagrama del sistema de disparo y adquisición de datos en el experimento ATLAS. [4]

Entrando en detalle, según se indica en [5], el verdadero sistema de adquisición de datos para este experimento es el software distribuido en red, capaz de discriminar, procesar y transferir los eventos seleccionados a los bancos de datos. El sistema lectura (*Readout System*) en conjunto con el disparo de primer nivel solo serían un equivalente a una interfaz de captura muy sofisticada, más que las observadas en otros detectores, pero para el caso de esta memoria de titulación es comparable al sistema de adquisición que se desea diseñar.

El sistema de lectura consiste en una tarjeta llamada ROBIN, compuesta de buffers, chips de comunicación, memoria flash, procesador y una FPGA, como se ilustra en la figura 2.5

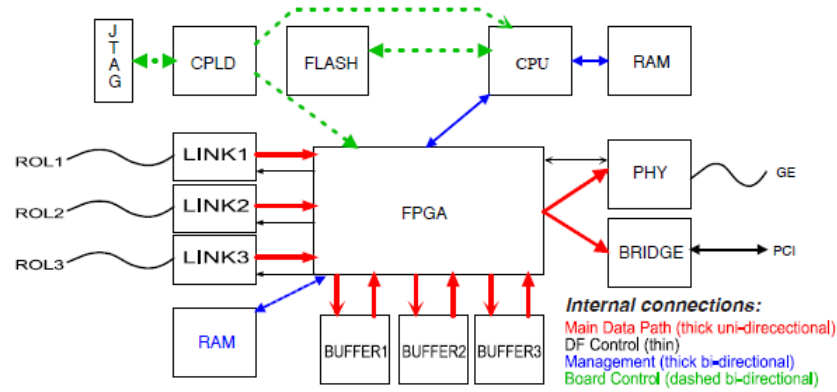


Figura 2.5: Diagrama de la tarjeta de lectura ROBIN en ATLAS [5].

La lógica descrita al interior de dicha FPGA se ilustra en la figura 2.6. Se observa que su labor es principalmente controlar los buffers de datos, traspasar los eventos captados hacia la siguiente etapa y eliminar los datos descartados por la señal de disparo de alto nivel.

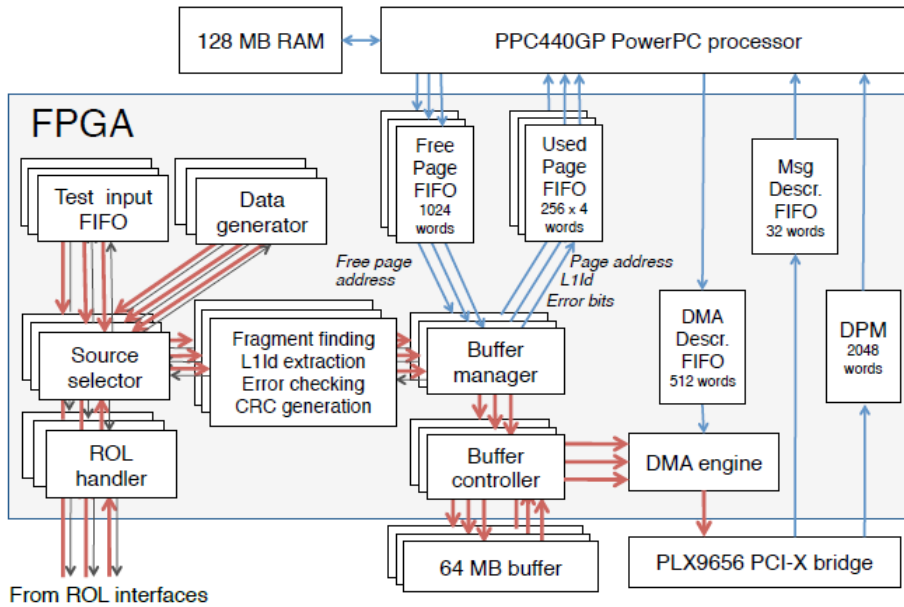


Figura 2.6: Diagrama de bloques de la FPGA en ROBIN [5].

---

Si bien este detector es comparativamente más complejo que los anteriores, presenta elementos comunes en su composición, sobretodo en la utilización de ASICs y FPGA para captura y control de los datos adquiridos. Se asemeja funcionalmente al PET 4D, en el sentido de implementar múltiples instancias de hardware equivalente, para así lograr manejar mayores cantidades de datos, brindando también mayor control e independencia en cada uno de ellos. El fuerte de este detector radica en su conectividad en red y sistemas distribuidos, necesarios para la gran cantidad de datos simultáneos que deben ser procesados.

# **SISTEMA DE DETECCIÓN**

## **3.1. Detector de Partículas**

## **3.2. Interfaz de Lectura**

# **SISTEMA DE ADQUISICIÓN**

# **SIMULACIONES**



# CONCLUSIONES

# **CONTROL DE VERSIONES DE PROYECTOS VIVADO CON GIT**

# **CONEXIÓN DE SEÑALES LVDS EN UNA FPGA ARTIX 7**

---

---

## REFERENCIAS

- [1] L. Njejjimana, 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] M. Tanabashi, K. Hagiwara, K. Hikasa, K. Nakamura, Y. Sumino, F. Takahashi, J. Tanaka, K. Agashe, G. Aielli, C. Amsler, M. Antonelli, D. M. Asner, H. Baer, S. Banerjee, R. M. Barnett, T. Basaglia, C. W. Bauer, J. J. Beatty, V. I. Belousov, J. Beringer, S. Bethke, A. Bettini, H. Bichsel, O. Biebel, K. M. Black, E. Blucher,

O. Buchmuller, V. Burkert, M. A. Bychkov, R. N. Cahn, M. Carena, A. Ceccucci, A. Cerri, D. Chakraborty, M. C. Chen, R. S. Chivukula, G. Cowan, O. Dahl, G. D'Ambrosio, T. Damour, D. De Florian, A. De Gouvêa, T. Degrand, P. De Jong, G. Dissertori, B. A. Dobrescu, M. D'Onofrio, M. Doser, M. Drees, H. K. Dreiner, D. A. Dwyer, P. Eerola, S. Eidelman, J. Ellis, J. Erler, V. V. Ezhela, W. Fetscher, B. D. Fields, R. Firestone, B. Foster, A. Freitas, H. Gallagher, L. Garren, H. J. Gerber, G. Gerbier, T. Gershon, Y. Gershtein, T. Gherghetta, A. A. Godizov, M. Goodman, C. Grab, A. V. Gritsan, C. Grojean, D. E. Groom, M. Grünewald, A. Gurtu, T. Gutsche, H. E. Haber, C. Hanhart, S. Hashimoto, Y. Hayato, K. G. Hayes, A. Hebecker, S. Heinemeyer, B. Heltsley, J. J. Hernández-Rey, J. Hisano, A. Höcker, J. Holder, A. Holtkamp, T. Hyodo, K. D. Irwin, K. F. Johnson, M. Kado, M. Karliner, U. F. Katz, S. R. Klein, E. Klempt, R. V. Kowalewski, F. Krauss, M. Kreps, B. Krusche, Y. V. Kuyanov, Y. Kwon, O. Lahav, J. Laiho, J. Lesgourgues, A. Liddle, Z. Ligeti, C. J. Lin, C. Lippmann, T. M. Liss, L. Littenberg, K. S. Lugovsky, S. B. Lugovsky, A. Lusiani, Y. Makida, F. Maltoni, T. Mannel, A. V. Manohar, W. J. Marciano, A. D. Martin, A. Masoni, J. Matthews, U. G. Meißner, D. Milstead, R. E. Mitchell, K. Mönig, P. Molaro, F. Moortgat, M. Moskovic, H. Murayama, M. Narain, P. Nason, S. Navas, M. Neubert, P. Nevski, Y. Nir, K. A. Olive, S. Pagan Griso, J. Parsons, C. Patrignani, J. A. Peacock, M. Pennington, S. T. Petcov, V. A. Petrov, E. Pianori, A. Piepke, A. Pomarol, A. Quadt, J. Rademacker, G. Raffelt, B. N. Ratcliff, P. Richardson, A. Ringwald, S. Roesler, S. Rolli, A. Romaniouk, L. J. Rosenberg, J. L. Rosner, G. Rybka, R. A. Ryutin, C. T. Sachrajda, Y. Sakai, G. P. Salam, S. Sarkar, F. Sauli, O. Schneider, K. Scholberg, A. J. Schwartz, D. Scott, V. Sharma, S. R. Sharpe, T. Shutt, M. Silari, T. Sjöstrand, P. Skands, T. Skwarnicki, J. G. Smith, G. F. Smoot, S. Spanier, H. Spieler, C. Spiering, A. Stahl, S. L. Stone, T. Sumiyoshi, M. J. Syphers, K. Terashi, J. Terning, U. Thoma, R. S. Thorne, L. Tiator, M. Titov, N. P. Tkachenko, N. A. Törnqvist, D. R. Tovey, G. Valencia, R. Van De Water, N. Varelas, G. Venanzoni, L. Verde, M. G. Vincet, P. Vogel, A. Vogt, S. P. Wakely, W. Walkowiak, C. W. Walter, D. Wands, D. R. Ward, M. O. Wascko, G. Weiglein, D. H. Weinberg, E. J. Weinberg, M. White, L. R. Wiencke, S. Willocq, C. G. Wohl, J. Womersley, C. L. Woody, R. L. Workman, W. M. Yao, G. P. Zeller, O. V. Zenin, R. Y. Zhu, S. L. Zhu, F. Zimmermann, P. A. Zyla, J. Anderson, L. Fuller, V. S. Lugovsky, and P. Schaffner, "Review of Particle Physics," 8 2018.

- [7] A. De, A. Mário, and J. Martins Pimenta, "Undergraduate Lecture Notes in Physics Introduction to Particle and Astroparticle Physics," Tech. Rep. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/8917>

- 
- [8] P. L. Rocca, D. L. Presti, and F. Riggi, “Cosmic Ray Muons as Penetrating Probes to Explore the World around Us,” in *Cosmic Rays*. InTech, 8 2018.
  - [9] C. Grupen and I. Buvat, Eds., *Handbook of Particle Detection and Imaging*. Springer, 2012, vol. 2.
  - [10] L. W. Alvarez, J. A. Anderson, F. El Bedwei, J. Burkhard, A. Fakhry, A. Girgis, A. Goneid, F. Hassan, D. Iverson, G. Lynch, Z. Miligy, A. Hilmy Moussa, and L. Yazolino, “Search for Hidden Chambers in the Pyramids,” Tech. Rep.
  - [11] 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.
  - [12] —, “Methods for data readout, acquisition, and transfer in experimental nuclear physics setups (A review, part 2),” pp. 615–678, 9 2017.