

ENIAC I fue una de las primeras computadoras utilizadas en el estudio de Rayos C3smicos.

«When you can measure what you are speaking about, and can express it in numbers, you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind . . . ».

William Thomson, 1st Baron Kelvin

Adquisición de datos: un acercamiento a los rayos cósmicos

En los capítulos anteriores se mostró un panorama general de la naturaleza de la radiación cósmica y la relevancia de su estudio. También se detallaron las técnicas que se emplean para la detección de este fenómeno y, de particular importancia para este trabajo, el *Super Monitor de Neutrones NM64*. Sin embargo, el objetivo de este trabajo es el *diseño e implementación de un nuevo sistema de adquisición de datos para el Observatorio de Ciudad Universitaria*.

El sistema de adquisición de datos del Observatorio de Rayos Cósmicos de Ciudad Universitaria tiene más de veinte años en operación y actualmente presenta algunos problemas en su funcionamiento. Debido a que trabaja de forma continua, no es posible realizar operaciones de mantenimiento con frecuencia. El diseño del sistema actual está basado en tecnología TTL de bajo consumo —*Transistor-Transistor Logic*— de principios de los años ochenta, lo cual lo hace un sistema grande y complejo. Muchos de los circuitos integrados que se ocuparon para su construcción ya no se encuentran disponibles comercialmente.

Para llevar a cabo nuestro objetivo, comenzaremos por definir que es un sistema de adquisición de datos, de manera más precisa, su constitución y utilidad. En este punto, se enfatiza la diferencia entre un sistema de adquisición de datos para la detección de radiación cósmica y un sistema convencional. Una vez visto lo anterior, investigaremos los recursos con los que contamos para el diseño y construcción.

3.1. ¿Qué es un sistema de adquisición de datos?

No siempre es posible recoger información de los fenómenos naturales de manera directa, por lo que se necesitan sensores que nos den información que se pueda leer y analizar. Para muchos de estos fenómenos se requiere de un registro confiable de su comportamiento, pues es fundamental conocer su evolución temporal. Esto justifica la necesidad de la *adquisición de datos*.

Existen diversas definiciones de lo que es un sistema de adquisición de datos —SDAQ. En forma general un SDAQ es cualquier sistema automático capaz de procesar la información proveniente de un sensor, o conjunto de ellos, y registrarla en algún tipo de memoria permanente. En la actualidad los tipos de memoria permanente más utilizados son los digitales.

3.1.1. Partes que componen un SDAQ convencional

En los sistemas de adquisición de datos convencionales se realizan tres procesos básicos; *acondicionamiento*, *conversión analógica-digital* —ADC— y *almacenamiento*. Para efectuar estas tareas, un SDAQ cuenta con otros elementos que intervienen en la comunicación entre dispositivos y el control de la adquisición. A dichos elementos nos referiremos como *bus de datos* y *software de adquisición*, respectivamente.

Acondicionamiento

El propósito del acondicionamiento es tomar la salida de un sensor y convertirla en una señal utilizable para las siguientes etapas del procesamiento. Normalmente consiste de circuitos electrónicos que realizan una o más de las siguientes funciones: amplificación, cambio de nivel, filtrado y acoplamiento de impedancias. Además, en algunos circuitos, el acondicionamiento de la señal nos brinda aislamiento entre el sensor y el resto del sistema.

Conversión Analógica-Digital

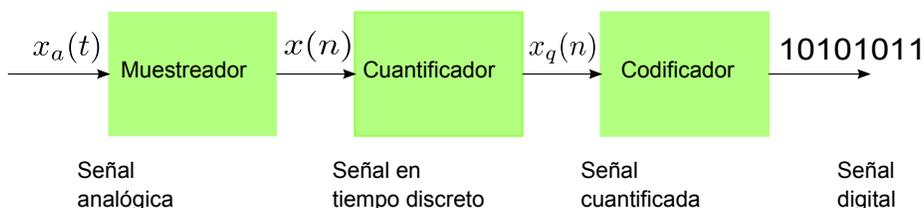


Figura 3.1: Esquema de un convertidor Analógico-Digital

La conversión analógica-digital consiste en realizar de forma periódica mediciones de la amplitud de una señal —muestreo—, redondear sus valores a

un conjunto finito de niveles preestablecidos de tensión —cuantificación— y registrarlos como números, mediante la asignación de algún tipo de código —codificación—(Fig. 3.1).

El proceso ADC, en la mayoría de los casos, es fundamental si se desea almacenar la información en algún tipo de memoria digital. Para el caso de SDAQ's de radiación cósmica, este proceso no es necesario y en secciones siguientes se explicará porque.

Almacenamiento

El almacenamiento de datos es el registro de la información, proveniente de un sensor, en una memoria permanente. La importancia de este proceso es hacer posible el objetivo principal de un SDAQ, es decir, estudiar la evolución temporal de algún fenómeno físico. Luego entonces, sí contamos con el almacenamiento de dichos datos en un dispositivo y podemos acceder a ellos, logramos tener una herramienta importante para la investigación de cualquier evento.

La capacidad y tipo del dispositivo de almacenamiento, depende principalmente de la cantidad de información que se requiere analizar y del tiempo de respuesta del dispositivo. El tiempo de respuesta, lo definimos como el tiempo que el dispositivo tarda en guardar cierta cantidad de datos.

Bus de datos

La comunicación entre los elementos que componen al sistema de adquisición, se lleva a cabo por medio de un *bus de datos*.

Se le denomina comunmente bus de datos al conjunto de cables que transfiere información entre un número de dispositivos. El uso de un bus en un sistema pone limitaciones en su desempeño debido a sus características. Entre estas características están la capacidad de información que puede transferir el bus y la distancia máxima entre los elementos que se quiere comunicar.

Cuando se requiere comunicar dispositivos a una mayor distancia, se prefiere el uso de un bus serial. En un bus de datos serial, la información se transfiere por un solo cable; el inconveniente de ocupar una comunicación serial es su baja capacidad para transmitir información.

No obstante, si se necesita una mayor capacidad de transmisión; se puede utilizar un bus paralelo. En un bus paralelo, la información se transmite por un número mayor de cables. Con el inconveniente de que a grandes distancias, esta configuración se vuelve poco práctica.

Software de adquisición

Actualmente muchos sistemas de adquisición de datos cuentan con comunicación directa a una computadora personal —PC. La computadora personal facilita el almacenamiento y procesamiento de la información. Para que esta tarea se realice de forma satisfactoria, el SDAQ debe de contar con software apropiado que permita su comunicación y control. El software que se utiliza depende de la aplicación, ya que cada adquisidor puede realizar diferentes tipos de tareas.

Normalmente existen dos niveles de software. En primera instancia se tiene un controlador o software de bajo nivel que comunica al SDAQ con la PC. El controlador permite que el sistema operativo de la PC reconozca el dispositivo que se conecta, brinda funciones básicas de comunicación; por su parte la computadora asigna una dirección al dispositivo y recursos de memoria. El tipo de controlador depende del bus de datos que exista entre la computadora y el sistema de adquisición.

Por otra parte, existe un lenguaje de alto nivel encargado de gestionar las demás rutinas que se envían al sistema. Las rutinas básicas de las que se encarga este tipo de software están directamente relacionadas con la operación del sistema. Ejemplos de rutinas básicas son: encender, apagar, iniciar, detener y reiniciar. Dentro del mismo software se puede programar una interfaz gráfica que ayude a visualizar los datos, de tal manera que la operación del sistema y el acceso a la información sea más simple[1].

3.2. Sistemas de adquisición de datos para RC

Un sistema de adquisición de datos es una parte importante en cualquier sistema de detección de radiación cósmica. La acumulación de datos nos permite estudiar la variación del flujo de partículas energéticas en el tiempo.

El diseño de cualquier SDAQ, en gran medida, depende de su aplicación. La naturaleza discreta del fenómeno de radiación cósmica hace que los SDAQ's utilizados para este estudio, se diferencien de muchos sistemas convencionales.

El conteo de pulsos es la operación más utilizada en la investigación de RC. En un monitor de neutrones, cada partícula que arriba a los detectores produce un pulso cuya magnitud es proporcional a la energía liberada por la reacción nuclear que se lleva a cabo dentro de los detectores. Luego entonces, la intensidad de la radiación cósmica, en la localidad del detector, puede ser estimada a través del conteo de los pulsos generados por los contadores proporcionales. Un diagrama básico de un sistema que puede ser utilizado para realizar estas tareas se presenta en la figura 3.2.

Antes de realizar cualquier operación con la señal proveniente de los detecto-

res, es necesario pasar dichas señales por una etapa de acondicionamiento, como ya se explicó en puntos anteriores.

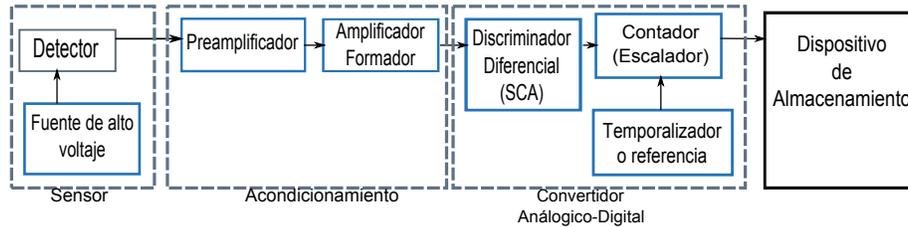


Figura 3.2: Sistema de adquisición de datos para RC.

La primera etapa de acondicionamiento es la preamplificación. Un preamplificador es un amplificador cuyo principal objetivo es acoplar la señal de salida del detector al resto del sistema. Ya que los detectores normalmente no entregan una señal con suficiente potencia, el preamplificador debe de ser capaz de dar la potencia necesaria a la señal para que esta pueda ser transmitida al resto del equipo de adquisición[2].

Desde del punto de vista de la Razón Señal-Ruido —SNR es una medida utilizada para cuantificar la contaminación de una señal por ruido—, siempre es preferible minimizar la carga capacitiva a la salida del preamplificador, debido a que cualquier carga capacitiva conectada a la salida del preamplificador provoca atenuación en las señales. Evitar cables de conexión largos entre el detector y el preamplificador ayuda a maximizar la razón señal-ruido.

Convencionalmente, un preamplificador no debe alterar la forma del pulso, es decir, debe mantener la información contenida en la amplitud, forma y duración de éste. A la salida del preamplificador debe haber un pulso de mayor amplitud, pero que tiene los mismos tiempos de levantamiento y caída. Por esta razón se debe buscar que la impedancia de salida del preamplificador sea mínima, ya que cualquier impedancia en conjunto con la de los cables puede producir atenuación o distorsión en la señal.[3]

La siguiente etapa de acondicionamiento es la amplificación-formación, la cual se realiza después de que la señal ha sido transmitida por medio del cable. El objetivo de esta etapa es conformar al pulso y darle amplitud. La señal saliente del preamplificador es un pulso muy angosto que tiene tiempos de levantamiento y caída muy pequeños; no es útil para extraer la información de la energía de la partícula contenida en la altura del pulso.

Para poder medir la altura del pulso con precisión, es necesario incrementar los tiempos de levantamiento y caída del pulso (Fig. 3.3). Esto se logra haciendo pasar los pulsos a través de filtros pasa-bajas[3].

Una vez que se logra tener una mejor resolución en la amplitud, en caso de requerirse mediciones con mucha exactitud, es necesario mejorar la SNR de la señal. Si este es el caso, se prefiere aumentar la duración de los pulsos en vez de incrementar su amplitud, debido a los problemas de distorsión que esto puede ocasionar.

Con objeto de contar los pulsos de manera confiable, deben ser convertidos a pulsos lógicos. Un discriminador es la unidad más sencilla que puede realizar esta operación y consiste principalmente de un dispositivo que produce una señal de niveles lógicos. Estos niveles se producen, si y sólo si, la amplitud de dicha señal se encuentra dentro de una ventana de referencia. A este tipo de discriminador se le denomina discriminador diferencial o analizador de un solo canal —SCA.

Dentro de los niveles lógicos de voltaje que se ocupan en los sistemas de detección de radiación cósmica se encuentran, los estándares: NIM, TTL y ECL.

- El estándar NIM —Nuclear Instrumentation Modules— establece un nivel lógico bajo definido por $100mV$ y un nivel lógico alto definido entre $-600mV$ y $-1,6V$.
- El estándar TTL —Transistor-Transistor Logic— es el estándar lógico más utilizado. En contraste con el NIM, el estándar TTL esta definido sólo en términos de voltaje: un voltaje de $0V$ a $0,8V$ corresponde a un nivel lógico bajo, mientras que un nivel de voltaje entre $2V$ y $5V$ corresponde a un nivel lógico alto.
- El estándar ECL —Emitter Coupled Logic— define sus valores de $-1,6V$ a $-1,4V$ para el nivel lógico bajo y de $-1,2V$ a $0V$ para el nivel lógico alto.

Los umbrales para la ventana de referencia se establecen con base en el rango de energías de RC que se desea estudiar. Se debe recordar que los contadores proporcionales pueden ser activados por interferencias eléctricas y otras partículas de baja energía. El uso de un discriminador nos garantiza que los pulsos contados son consecuencia de la radiación cósmica.

Como paso final en un sistema de conteo, los pulsos lógicos deben ser acumulados y el número de ellos registrado por un periodo finito de tiempo[3]. En los sistemas de conteo de pulsos aplicados a RC, los dispositivos que realizan esta tarea comúnmente se denominan *escaladores*, por razones históricas. Actualmente es más común referirse a este tipo de dispositivos como *contadores*.

Los contadores pueden ser operados en dos modos: por tiempo fijo y por cuentas fijas. En el modo de tiempo fijo, el periodo de conteo es controlado por

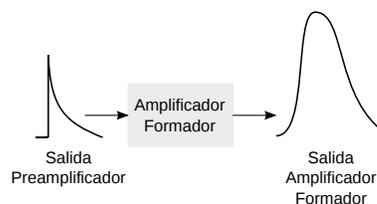


Figura 3.3: Principio básico de funcionamiento de un amplificador-formador.

un temporizador externo, el cual indica cuando se requiere almacenar las cuentas registradas y reiniciar los contadores.

En el modo de cuenta fija, los contadores acumulan cuentas hasta que se alcance un máximo preestablecido. En este punto, el periodo de conteo finaliza y se reinician los contadores.

Finalmente la salida del contador es enviada a un tipo de memoria permanente para su posterior análisis y almacenamiento. Actualmente el método de almacenamiento más confiable es a través de una computadora personal.

Estos son los elementos esenciales que componen un sistema de adquisición de datos para RC. En la siguiente sección se discutirá sobre los recursos disponibles para la implementación de un sistema capaz de realizar las funciones aquí mencionadas.

3.3. Tecnologías para la implementación de SDAQ's para RC

Escencialmente existen tres formas en las que se puede diseñar un sistema de adquisición de datos para RC: utilizando *instrumentos modulares*, diseñando sistemas de aplicación específica y por último, se encuentra la posibilidad de, construir un sistema híbrido, en el cual se combinan los sistemas modulares y algunos dispositivos de aplicación específica.

La revisión aquí presente, solo contempla las dos primeras opciones.

3.3.1. SDAQ's basados en instrumentos modulares

Los instrumentos modulares son muy populares en los ámbitos industriales y científicos, por su fácil aplicación. La idea básica es construir un sistema de adquisición de datos completo conectando módulos individuales. La ventaja más clara de este tipo de sistemas es su costo reducido y el poco tiempo que requieren en su diseño e implementación. La principal desventaja radica en las restricciones impuestas por el fabricante en las especificaciones del producto y la dependencia que se genera en el usuario al ajustar sus necesidades a la oferta del fabricante.

Entre los instrumentos modulares más comúnmente utilizados para la detección de RC se encuentran: NIM, CAMAC y VME.

El estándar NIM

El estándar NIM —Nuclear Instrumentation Modules— se desarrolló en 1964 con la idea de introducir al mercado módulos reemplazables que pudieran ser

utilizados en forma conjunta para realizar las tareas de adquisición de datos.

Un sistema NIM consiste de dos partes principales; el NIM *crate* (Fig. 3.4(a)) y los módulos NIM (Fig. 3.4(b)). El NIM *crate* es un chasis voluminoso en el cual se pueden conectar los módulos NIM y proveerlos de alimentación eléctrica[2]. Además, el NIM *crate* proporciona un bus de datos que permite la comunicación entre los módulos, aunque la comunicación que se logra es muy limitada — sólo tiene líneas para habilitar y reestablecer los módulos. Los módulos NIM se conectan al bus de datos mediante conectores especiales llamados *conectores NIM*.

En total se pueden conectar hasta 12 módulos NIM al NIM *crate* que en conjunto pueden consumir hasta un máximo de 1900W.

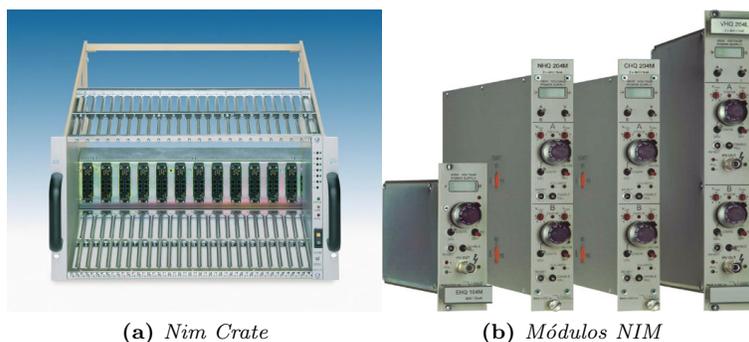


Figura 3.4: Partes que integran un sistema NIM.

El estándar NIM no se adapta a situaciones en las que se requiere procesar grandes cantidades de datos digitales, debido a que el NIM *crate* está limitado en la cantidad de módulos NIM que puede soportar. Asimismo, una de las deficiencias del estándar NIM es no contar con una conexión directa a la PC. Estas consideraciones han llevado a la implementación de una interfaz estándar entre SDAQ's y PC's y el desarrollo del estándar CAMAC.

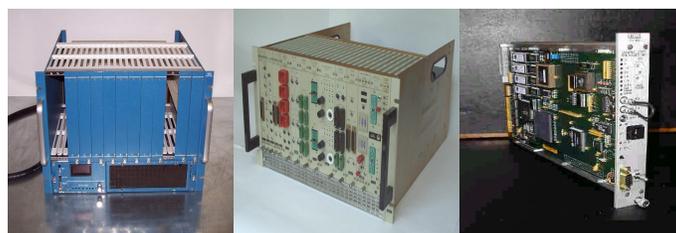
El estándar CAMAC

El estándar CAMAC —Computer Automated Measurement and Control— fue desarrollado en 1969. Cuenta con una arquitectura mucho más versátil que la NIM pero mucho más complicada en su implementación. El estándar CAMAC cuenta con una interfaz directa a la PC y con ella se pueden dar comandos a cada uno de los módulos.

Los módulos CAMAC se conectan a un CAMAC *crate* (Fig. 3.5(a)); el cual puede alojar hasta 24 módulos CAMAC (Fig. 3.5(b)). Una parte fundamental del sistema CAMAC es el módulo denominado *crate controller* (Fig. 3.5(c)).

El *crate controller* es una parte integral del sistema ya que es el encargado de controlar la adquisición y el envío de datos a la computadora. No puede ser reemplazado por ningún otro módulo[2].

El estándar CAMAC maneja un tamaño de palabra de 24bits y puede transmitir una tasa de 3MB/s .



(a) CAMAC Crate (b) DAQ CAMAC (c) Crate controller

Figura 3.5: Partes que integran un sistema CAMAC.

El bus de datos del CAMAC *crate* consiste en líneas: de control, datos, direcciones y que pueden suministrar alimentación al resto de los módulos. La potencia total del sistema no debe sobrepasar los 200W .

CAMAC utiliza el estándar lógico TTL, pero con la convención de niveles altos y bajos invertida, es decir, un nivel de tensión alto corresponde a un nivel lógico bajo y viceversa.

El estándar VME

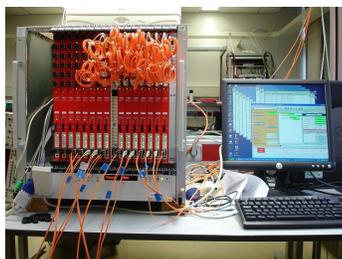


Figura 3.6: Sistema de adquisición de datos basado en VME.

En 1981 Motorola y otras compañías elaboraron el estándar VME —VERSAmodule Eurocard. La motivación principal detrás de la creación de VME era introducir en la instrumentación modular el concepto de alta densidad de computo[2].

El estándar VME maneja un tamaño de palabra de 32bits y cuenta con un modo de direccionamiento de 64bits . También cuenta con conexiones que pueden ser definidas por el usuario y un mejor esquema de tierras. Puede transferir datos a una tasa de 80MB/s .

Un VME *crate* tiene espacio para 20 módulos individuales y un *crate manager* que cumple con las funciones del *crate controller* CAMAC. En conjunto el sistema puede consumir hasta 200W . En la figura 3.6 se muestra un ejemplo de un sistema VME completo.

El bus de datos que utiliza VME cuenta con líneas para: alimentación eléctrica, datos, direcciones e interrupciones.

VME cumple con las especificaciones del estándar TTL y puede aceptar otros tipos de señales lógicas mediante el uso de módulos especiales que se integran al sistema.

3.3.2. Sistemas de aplicación específica

A principios de la década de los ochenta los avances en las tecnologías de fabricación de circuitos integrados llevaron al desarrollo de los circuitos integrados de aplicación específica —ASIC. Microcircuitos que podían realizar las funciones básicas de amplificación, comparación de voltaje, codificación y almacenamiento de información fueron combinados en ASIC's para realizar las funciones de preamplificación, discriminación y conteo, entre otras. Esto permitió la introducción de un nuevo modelo en la instrumentación nuclear y la creación de nuevos sistemas de detección de radiación con una mayor complejidad.

No obstante, el diseño de sistemas basados en ASIC's implica una gran inversión, ya que requieren de un enorme tiempo en su elaboración y un proceso de fabricación muy costoso. Por estas razones, el uso de ASIC's en sistemas de detección de RC, se limita a proyectos de gran magnitud.

Para sistemas de pequeña a mediana escala, el diseño de *sistemas embebidos*, basados en microcontroladores —MCU— o dispositivos lógicos programables —PLD— es una buena opción. Algunos autores definen sistema embebido como; un sistema que contiene software y hardware, que está diseñado para realizar una aplicación específica. Sin embargo, una definición más general sería la siguiente: un sistema embebido es un dispositivo, instrumento o sistema, que está construido para realizar una o más tareas específicas sin requerir elementos adicionales a los dispuestos en él. Los sistemas embebidos tienen la ventaja de consumir menos potencia que los sistemas digitales basados en componentes discretos, también ocupan un menor espacio, lo cual facilita su construcción.

Un microcontrolador (Fig. 3.7) es un circuito integrado que incluye en su interior las tres unidades fundamentales que componen una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y unidades de E/S[4].

Los microcontroladores son utilizados en el desarrollo de sistemas embebidos debido a su flexibilidad en la programación, tamaño reducido y menor costo —en comparación con elementos discretos. El tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependen de la aplicación.

En lo que respecta a la flexibilidad de programación, se han desarrollado diversos tipos de lenguajes de programación para microcontroladores. Los más

utilizados son: ensamblador, BASIC y C[5].

Para desarrollar un sistema embebido basado en MCU se debe elegir un MCU tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Tamaño y tipo de memoria.
- Número de líneas de E/S.
- Módulos de control de periféricos.

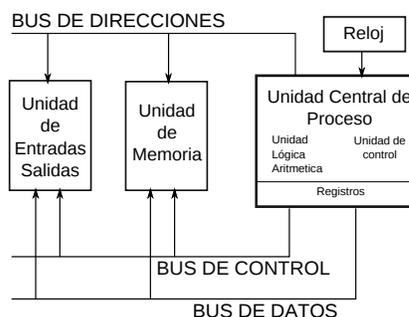


Figura 3.7: Arquitectura básica de un microcontrolador.

Tras la elección del microcontrolador, es necesario desarrollar la descripción detallada del funcionamiento del sistema, utilizando diagramas de flujo, y seleccionar un lenguaje de programación. Una vez que se tiene el diagrama de flujo, se debe transcribir el código utilizando el lenguaje escogido.

Debido a que la adquisición de datos de RC requiere procesar un gran número de señales en forma simultánea, los sistemas embebidos basados únicamente en microcontroladores resultan ser ineficientes y poco prácticos. En este campo de estudio, es más común encontrar sistemas embebidos que empleen un conjunto de microcontroladores de bajo costo o una combinación entre microcontroladores y dispositivos lógicos programables[6] [7].

Un dispositivo lógico programable es un circuito integrado de uso general que sirve para implementar sistemas digitales. Un PLD es un dispositivo que contiene una cierta cantidad de arquitecturas lógicas genéricas —básicamente compuertas lógicas y flip-flops— que se pueden configurar —interconectar— para establecer en su interior diversas arquitecturas más complejas y con independencia de operación —procesos concurrentes.

Dentro de este tipo de dispositivos existen diversas familias. Cada familia tiene su propia arquitectura interna y son de diversa capacidad.

Hace aproximadamente tres décadas la principal limitante de los PLD's se encontraba en su limitada capacidad para sintetizar funciones lógicas. Hoy en día, debido a los avances en el diseño y construcción de circuitos integrados, se cuenta con dispositivos de muy alta escala de integración. Esta tecnología permite el diseño de sistemas digitales complejos.

Un FPGA —Field-Programmable Gate Array— es un dispositivo lógico programable —PLD—, con alta escala de integración, que permite reproducir desde funciones tan sencillas como las llevadas a cabo por una compuerta lógica, o un sistema combinacional, hasta complejos sistemas en un chip, como lo pueden ser sistemas de computo de alto desempeño, procesamiento digital de señales e imágenes médicas, entre otros.

La arquitectura básica de un FPGA se compone de los siguientes elementos: bloques lógicos —un bloque lógico permite sintetizar funciones lógicas—, bloques de E/S y canales de enrutamiento.

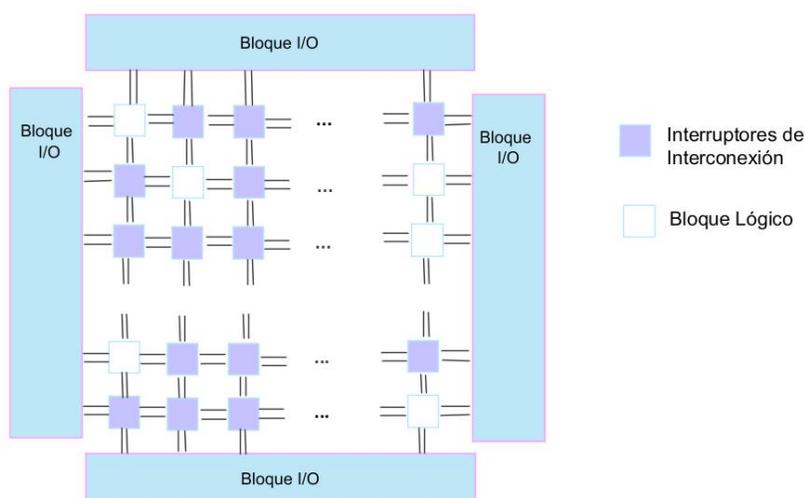


Figura 3.8: *Arquitectura de un FPGA.*

Para diseñar sistemas embebidos basados en FPGA's, se requiere definir la función lógica que realiza cada uno de los bloques lógicos, seleccionar el modo de trabajo de cada bloque de E/S e interconectarlos.

Se cuenta con la ayuda de entornos de desarrollo especializados para el diseño de sistemas en FPGA's. La forma de diseño más común es mediante el uso de un lenguaje de descripción de hardware o HDL —Hardware Description Language. Se puede definir un HDL como un lenguaje que permite la descripción formal y diseño de un circuito electrónico. Puede describir la operación del circuito, su organización y verificar su comportamiento por medio de simulaciones numéricas. Algunos ejemplos de HDL's son: VHDL, Verilog y System C.

Dentro de las grandes ventajas que ofrecen los PLD's se encuentra su capacidad de realizar procesos de manera concurrente e independiente. Un sistema diseñado en un PLD tiene la posibilidad de efectuar varios procesos al mismo tiempo. En un problema en donde se requiera el manejo de múltiples entra-

das y salidas, y un gran número de operaciones independientes se prefiere la utilización de PLD's.

Otro factor importante para la elección de los dispositivos lógicos programables son las ventajas de trabajar con un HDL. Los HDL's son lenguajes que son independientes de la plataforma de desarrollo y del tipo de dispositivo que se elija, a diferencia de los microcontroladores. La elección de un HDL para el desarrollo de cualquier proyecto, brinda la posibilidad de realizar modificaciones en un futuro sin estar limitados por la plataforma de desarrollo o el tipo de dispositivo que se utilice.

Por el otro lado, el diseño con PLD's suele ser más demandante en términos de tiempo ya que se requiere un mayor tiempo de diseño, programación, simulación, prueba y depuración. En conjunto con esto, los altos precios de este tipo de tecnología hacen que este tipo de soluciones sean más costosas que su contraparte en MCU's.

Actualmente la tecnología de PLD's es muy empleada para los sistemas de adquisición de datos para radiación cósmica. Ejemplos de esto son el sistema de adquisición de datos ocupado en HAWC —High Altitude Water Cherenkov—[8] y el SDAQ del arreglo de Telescopios de la Universidad de Tokyo Japón[9], entre otros.

Referencias

- [1] Carlos Chicala. *Adquisición de datos - Medir para conocer y controlar*. Soluciones en control S.R.L., Buenos Aires, Argentina, 2004.
- [2] Syed Naeem Ahmed. *Physics and engineering of radiation detection*. Elsevier, Reino Unido, 2007.
- [3] Glenn F. Knoll. *Radiation detection and measurement*. John Wiley and sons, Inc., Nueva York, EU, 2000.
- [4] Christian Tavnarnier. *Les microcontrôleurs 4 et 8 bits*. DUNOD, Francia, 1995.
- [5] Eugenio Martín Cuenca y José María Angulo Usategui. *Microcontroladores PIC*. Paraninfo, España, 1998.
- [6] Saito Katsuhiko. 8+8n channels monitoring system with pic microcontrollers on scintillation counters for cosmic ray observation. *Research Reports Ashikaga Institute of Technology*, 36:53–60, 2003.
- [7] S. Hansen *et al.* Low-cost data acquisition card for school-network cosmic ray detectors. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 51:926–930, 2004.
- [8] L. Villaseñor *et al.* Measurement of the response of water cherenkov detectors to secondary cosmic-ray particles in the hawc engineering array using a fast custom-made daq system. *Proceedings ICRC, LODZ 2009*, 31, 2009.
- [9] A. Taketa *et al.* The trigger and daq system of the surface detector array of the telescope array experiment. *Proceedings ICRC, LODZ 2009*, 31, 2009.