



---

**CONGRESO  
IBEROAMERICANO**  
DE CIENCIA, TECNOLOGÍA,  
INNOVACIÓN Y EDUCACIÓN

---

BUENOS AIRES, ARGENTINA  
12, 13 Y 14 DE NOVIEMBRE 2014

---

**CONGRESSO  
IBERO-AMERICANO**  
DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÃO E EDUCAÇÃO

---

BUENOS AIRES, ARGENTINA  
12, 13 Y 14 DE NOVIEMBRE 2014

**Sistema Electrónico de Adquisición y Entrega de  
Datos para Laboratorios de Enseñanza que puedan  
incorporarse a Entornos Virtuales de Aprendizaje**

CUSTODIO, A; URDANETA, E; BARRETO, A; OVIEDO, A

# **Sistema Electrónico de Adquisición y Entrega de Datos para Laboratorios de Enseñanza que puedan incorporarse a Entornos Virtuales de Aprendizaje**

Custodio Ángel, Urdaneta Elizabeth, Barreto Andreina, Oviedo Asdrúbal  
UNEXPO, Centro de Instrumentación y Control, Venezuela  
ecurdaneta@unexpo.edu.ve, acustodio@unexpo.edu.ve

## **Resumen**

En esta investigación se desarrolló un sistema electrónico que permite la interconexión de datos entre laboratorios de enseñanza y entornos virtuales de aprendizaje. Consiste en un sistema de adquisición y entrega de datos, el cual cuenta con la característica principal de haberse diseñado pensando en un prototipo o modelo estándar para cualquier proceso ejecutado en los laboratorios de la universidad. Posee entrada y salida de datos en los márgenes y tipos de señales más utilizados en la instrumentación y la electrónica; además posee un módulo para entradas y salidas especiales, el cual está ideado para implementar señales de sensores o actuadores que no se encuentren en los márgenes establecidos en las entradas y salidas analógicas y digitales. La tarjeta de adquisición de datos obtiene, acondiciona y transporta los datos capturados por los sensores del proceso, y a su vez, recibe y acondiciona órdenes desde el módulo controlador a través del bus de comunicación I2C, para que puedan ser interpretadas correctamente por los actuadores en la maqueta didáctica. Este sistema puede ser reutilizable a cualquier laboratorio académico en ingeniería y con la capacidad de ser gobernado desde un controlador didáctico.

**Palabras claves:** Sistema Electrónico, Adquisición de Datos, Entornos Virtuales, Comunicación I2C.

## **1. Introducción**

En este trabajo se contruyó una tarjeta electrónica de entrada y salida de datos para ser utilizado como uno de los módulos de un Sistema de Control y Adquisición de Datos didáctico de la Universidad Nacional Experimental Politécnica (UNEXPO) Vicerrectorado Puerto Ordaz. El sistema de adquisición de datos implementado, cuenta con la característica principal de haberse diseñado pensando en un prototipo o modelo estándar para cualquier proceso ejecutado en los laboratorios de la universidad, al que se le pueda adaptar ésta tarjeta, de ésta manera, cuenta con entrada y salida de datos en los márgenes y tipos de señales más utilizadas en la

instrumentación y la electrónica; además posee un módulo para entradas y salidas especiales, el cual está ideado para implementar señales de sensores o actuadores que no se encuentren en los márgenes establecidos en las entradas y salidas analógicas y digitales.

La tarjeta de adquisición de datos obtiene, acondiciona y transporta los datos capturados por los sensores del proceso, y a su vez, recibe y acondiciona órdenes desde el módulo controlador a través del bus de comunicación I2C, para que puedan ser interpretadas correctamente por los actuadores en la maqueta didáctica. La arquitectura general de la tarjeta, muestra un módulo de entradas conformado por un sub-módulo para las señales analógicas, y otro para las señales digitales.

Mediante éste módulo, se pueden adquirir y acondicionar señales de (4 a 20) mA, (1 a 5) V y de (0 o 24) V. Un módulo de salidas conformado por dos sub-módulos, uno de salidas analógicas y otro digital, capaz de manejar señales del mismo tipo y margen que las entradas.

La implementación de un módulo de entradas y salidas especiales, se debe a que muchas veces, existen sensores que no se adaptan a los márgenes de las señales establecidos en los módulos de entradas analógicas y digitales.

Previamente, MALLA y CALDERÓN (2011) diseñaron e implementaron una tarjeta de control y adquisición de datos de 12 bits mediante un computador. El diseño comprendió un hardware capaz de leer 8 canales de entradas analógicas, generar 2 salidas analógicas, finalmente se realizaron pruebas rigurosas en modo local y una vez comprobado el funcionamiento del sistema se procedió a la instalación del mismo, la cual consistió en escribir 24 líneas digitales y consta de 3 temporizadores programables.

Ordoñez (2007) realizó un dispositivo electrónico para obtener la característica tensión-corriente en módulos fotovoltaicos. Tal dispositivo se basó en un microcontrolador, que desarrolla la medición requerida de forma automática. Los resultados de esta medición son comunicados, vía RS-232, a una PC que cumple la función de elemento de visualización gráfica e interfaz con el usuario.

Mayol y Custodio (2008) diseñaron los módulos de expansión de un controlador multifuncional para manejar válvulas multipuertos para FUNDIUP-UNEXPO. Como resultado se obtuvieron cinco módulos: Un módulo de entradas digitales, con cuatro entradas de 24VDC; un módulo de salidas digitales, con cuatro salidas de 24VDC o 120VAC a relé; un módulo de entradas analógicas, con cuatro entradas que admite señales de corriente, en un margen de (4 a 20) mA, o de voltaje, en un margen de (1 a 5) V; un módulo de salidas analógicas, el cual consta de una salida, la cual puede ser de (4 a 20) mA o de (1 a 5) V; y finalmente, un módulo de entrada de pulsos.

## **2. Objetivo**

En esta investigación se diseña un sistema electrónico estándar de entrada y salida de datos para una maqueta didáctica en el contexto "Virtu@I Unexpo", con el fin de optimizar el sistema de educación a distancia de la UNEXPO; ya que junto con los demás módulos que conforman el SCADA didáctico, ofrece la posibilidad de ejecutar prácticas de laboratorio de forma remota; es decir, que a pesar de no poder contar con la presencia física del profesor, o del técnico en el laboratorio el estudiante pueda realizar la práctica de laboratorio desde donde se encuentre a través de Internet, y de ésta forma el alumno tenga la posibilidad de adquirir los conocimientos prácticos de la asignatura, rompiendo con las barreras de tiempo y espacio.

Como resultado se obtuvo la implementación de un sistema de adquisición de datos que logra comunicarse con los sensores y actuadores de una maqueta autodidáctica y enviar esas señales a la tarjeta de control; y al mismo tiempo recibir la información generada por la tarjeta de control y enviarla a los sensores y actuadores de la maqueta autodidáctica. Cabe destacar que la comunicación con la tarjeta de control se realizó mediante el bus I2C. Adicionalmente también se logró que esta tarjeta se conecte en cascada con otras tarjetas de adquisición de datos mediante el bus I2C. Esto debido a que si la maqueta autodidáctica tiene muchas entradas y salidas es probable que con una sola tarjeta de adquisición de datos no sea suficiente.

### 3. Diseño

El diseño de esta tarjeta permite la recepción de señales de corriente, voltaje, pulsos y temperatura provenientes de los sensores de algún proceso de laboratorio automatizado, y se manipulan mediante una serie de etapas, compuestas por distintos dispositivos electrónicos, con el objetivo de obtener señales que puedan ser interpretadas por el microcontrolador del proceso.

Estas mismas señales, son enviadas, por el bus de comunicaciones I2C que es el bus de comunicación del sistema, hacia el módulo controlador; el cual, luego de procesar correctamente la información, enviará las instrucciones de cómo deben ser las señales de salida que debe ofrecer la tarjeta de adquisición de datos para lograr el correcto funcionamiento de la maqueta didáctica. En líneas generales la tarjeta de adquisición de datos debe cumplir con las siguientes características:

- a) Módulo de entradas analógicas, compuesto por cuatro canales configurables para captar señales en los márgenes de (1 a 5) V o de (4 a 20) mA. Cada entrada cuenta con un led indicador de falla.
- b) Módulo de entradas digitales, compuesto por ocho canales capaces de captar señales lógicas de (0 o 24) V. Cada una de las entradas cuenta con un led indicador de estado.
- c) Módulo de salidas analógicas, conformado por cuatro canales configurables para entregar señales en los márgenes de (1 a 5) V o de (4 a 20) mA.
- d) Módulo de salidas digitales, conformado por ocho canales con salidas a relé de +24V. Cada una de las salidas cuenta con un led indicador de estado.
- e) Comunicación entre microprocesadores mediante el bus de comunicaciones I2C.
- f) Entradas especiales para sensores resistivos de temperatura (NTC 10K, NTC 1K o Pt100), sensor de posición LVDT y señales de pulso o frecuencia.
- g) Salidas especiales PWM y bipolar de (-5 a 5) V.

- h) La alimentación del sistema se realiza mediante un bus de alimentación que proporciona +24V,  $\pm 12V$  y 5V.

### 3.1. Arquitectura de la tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta consta de cuatro módulos principales (figura 1):

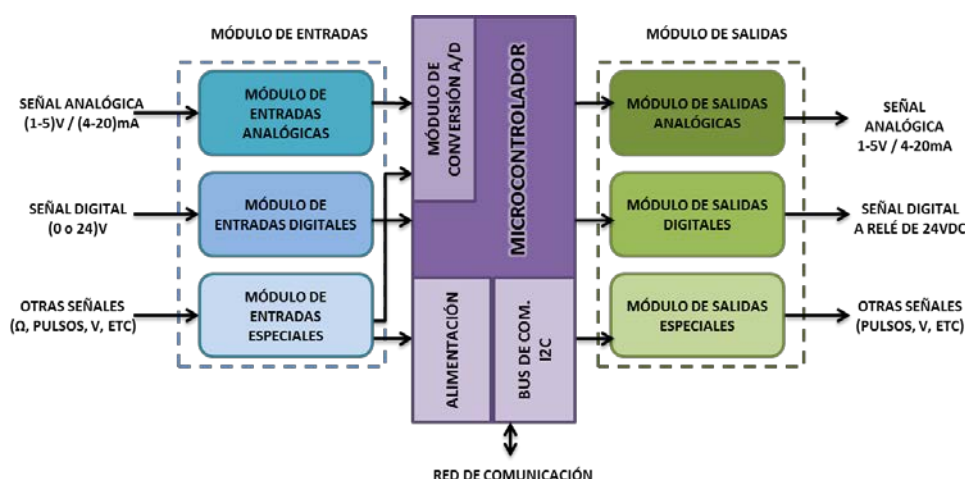


Figura1: Arquitectura de la tarjeta de adquisición de datos.

- Módulo de Entradas:** Se divide en tres módulos más pequeños, uno para entradas analógicas en el margen de (1 a 5) V o de (4 a 20) mA, un módulo de entradas digitales para señales de (0-24) V, y un módulo de entradas especiales, el cual cuenta con entradas analógicas para termistores, termorresistencias, una entrada bipolar de (-10 a 10) V y una entrada para pulsos.
- Módulo de conversión analógica/digital:** La resolución del convertidor A/D es de 10 bits, y cuenta con 8 canales para la conversión. Las señales pueden provenir del módulo de entradas analógicas o del módulo de entradas especiales.
- Módulo de salidas:** Este módulo también está dividido en tres módulos más pequeños. Un módulo de salidas analógicas que maneja señales de corriente en el margen de (4 a 20) mA, o de voltaje, en el margen de (1 a 5) V, un módulo de salidas digitales, con salidas a relé de 24V y un módulo de salidas especiales para señales tipo PWM y una salida bipolar de (-5 a 5) V.
- Módulo de comunicaciones:** Este módulo funciona de forma bidireccional, trasladando los datos obtenidos desde los sensores del proceso hasta el módulo controlador del sistema, y recibiendo las instrucciones del controlador para llevarlas a cada uno de los actuadores del proceso.

### 3.2. Selección del microcontrolador

Para la selección del microcontrolador a utilizar en el sistema de adquisición de datos, se realizó la comparación entre tres dispositivos de distintas gamas, tal y como se muestra en la tabla 1.

Tabla.1

## Comparación entre microcontroladores

	PIC16F87x	PIC18Fxx2	DSPIC30F401x
Gama	Media	Mejorada	dSPIC
Pines	40	40	40
Instrucciones	35 de 14 bits	77 de 16 bits	84 de 24 bits
Programación	Ensamblador	Lenguaje C	Lenguaje C
Memoria Flash	8 Kb x 14	16Kb/32Kb	48Kb
Memoria Datos	RAM 368 bytes EEPROM 256 bytes	RAM 1536 bytes EEPROM 256 bytes	RAM 2 Kb EEPROM 1 Kb
Temporizadores	8 bits (2) 16 bits (1)	8 bits (2) 16 bits (3)	16 bits (5)
ADC	8 canales (10 bits)	8 canales (10 bits)	9 canales (10 bits)
CCP (PWM)	2	2	4
Comunicación	USART, SPI, I2C	USART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C, CAN

El Pic18Fxx2 tiene muchas características mejoradas, como una mayor memoria, mayor cantidad de instrucciones, la posibilidad de ser programado en lenguaje C, entre otras, las cuales lo convierten en el mejor candidato para el proyecto, pudiendo cubrir las exigencias del mismo, pero sin sobrepasarse como el dsPic. Para la construcción del SAD se utilizará, específicamente, el Pic18F452.

### 3.3. Módulo de entradas del sistema de adquisición de datos.

**Módulo de entradas analógicas:** existen sensores analógicos que proporcionan señales de corriente y otros de voltaje, por tal motivo, se consideró conveniente diseñar un módulo adaptable capaz de recibir señales de voltaje en el margen de (1 a 5) V, o de corriente en el margen de (4 a 20) mA, ambas señales utilizadas en la instrumentación.



Figura 2: Diagrama de bloques de las etapas del acondicionamiento para las señales analógicas de entrada.

Como se puede observar en la figura 2 el módulo de entradas analógicas cuenta con un sistema de acondicionamiento, posteriormente un sistema de protección y por último un indicador de falla.

Donde el acondicionamiento está conformado por un amplificador operacional configurado como seguidor de voltaje para acoplar R1 con la siguiente etapa del circuito. Como se muestra en la figura 3.

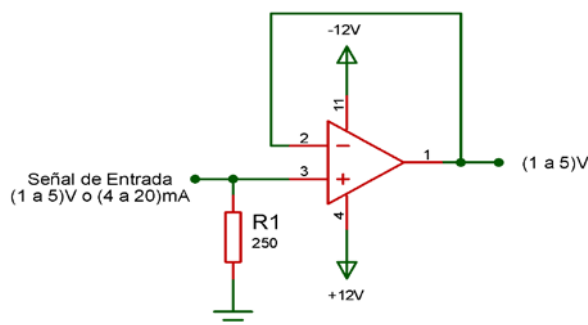


Figura 3: Etapa de acondicionamiento de la señal analógica.

El sistema de protección consta de un circuito recortador para evitar el paso de voltajes que estén fuera del margen de entrada establecido, y así, proteger las entradas del sistema y principalmente las del microcontrolador, las cuales son las más vulnerables.

El sistema de Indicación de falla de la señal ofrece una visible interacción con el usuario, porque le permite conocer el estado de la señal de entrada mediante un dispositivo visual, y así facilita la posible detección de alguna falla en la misma.

**Módulo de entradas digitales:** es capaz de adquirir señales en el margen de (0 o 24) V, este consta de cuatro etapas: protección, indicación, aislamiento/corrección y multiplexión. Como se muestra en la figura 4.



Figura 4: Acondicionamiento para la señal digital de entrada.

La etapa de protección, como su nombre lo indica, cumple la función de proteger la entrada de la tarjeta de voltajes superiores e inferiores al margen establecido, entre (0 y 24) V. Por su parte, la etapa de indicación, muestra el estado lógico de la señal.

Seguidamente la etapa de aislamiento separa físicamente el circuito de entrada y el microcontrolador, de manera que no pueda circular corriente entre ellos, mientras que la corrección cumple la función de purificar la señal, y por último se multiplexa la misma antes de entrar al microcontrolador.

Para procesar cualquier señal analógica mediante un sistema digital, es necesario transformarla en un código que pueda ser entendido por el computador,

microcontrolador, procesador, entre otros. Por lo tanto, el módulo de conversión A/D es la última etapa de acondicionamiento de las señales analógicas para poder ser procesadas por el microcontrolador.

### 3.4. Módulo de salidas del sistema de adquisición de datos.

**Módulo de salidas analógicas:** al igual que las entradas, pueden ser de voltaje en el margen de (1 a 5) V, o de corriente en el margen de (4 a 20) mA. Pudiendo elegirse el tipo de señal mediante un jumper de selección. En la figura 5 se puede observar un diagrama de bloques con la estructura del acondicionamiento para las salidas analógicas del sistema.



Figura 5: Acondicionamiento para las salidas analógicas.

El sistema de memoria se encarga de que la salida analógica se mantenga estable mientras el microcontrolador esté realizando otras tareas. De no colocarse este dispositivo, el microcontrolador debería estar constantemente ocupado enviando este dato al puerto de salida, de otra manera, el voltaje analógico de la salida se caería, lo cual sería un grave inconveniente para el proceso.

Seguidamente se encuentra el conversor digital/analógico, para lo cual se seleccionó el integrado DAC0800, debido a que tiene una resolución de 8 bits con la cual se facilita mucho el envío de los datos desde el microcontrolador.

Posteriormente se encuentra el conversor de voltaje a corriente, debido a que el margen de corriente es bastante pequeño, el proceso de conversión de voltaje a corriente debe ser lo mas exacto y preciso posible, por lo cual se seleccionó el integrado XTR110 ya que posee una amplia variedad de márgenes de selección, tanto de entrada como de salida.

Finalmente se encuentra el selector del tipo de salida el cual se activa manualmente mediante un jumper. Si se necesita una señal de corriente, el jumper no se debe conectar, en caso de necesitar una señal de voltaje, se conectará el jumper manualmente.



**Módulo de salidas digitales:** para el caso de las señales digitales, los actuadores de la maqueta didáctica, reciben señales de (0 o 24) V; por lo tanto, se hace necesario el uso de relés que permitan el margen de tensión mencionado. En la figura 6 se puede observar el diagrama de bloques de las salidas digitales del sistema, las cuales cuentan con las etapas: decodificación /memoria, protección, indicación y aislamiento.

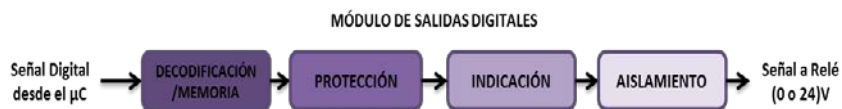


Figura 6: Acondicionamiento para las salidas digitales.

Para el sistema de decodificación se seleccionó el integrado 74LS138, ya que posee la cantidad de 8 salidas, y se encuentra fácilmente en el mercado; con el uso de este integrado, se requieren solo tres pines del microcontrolador para la selección de uno de los ocho canales disponibles.

Seguidamente se encuentra la fase de protección, la cual protege los pines de salida de la entrada anterior, incluyendo al microcontrolador, debido a que pueden ser sometidos a altas exigencias de corriente que puedan dañarlos. Para cumplir con éste propósito, se seleccionó el integrado ULN2803, el cual es un arreglo de ocho pares de transistores Darlington de colector abierto y emisores comunes, cada uno de los canales puede entregar hasta 500mA y contienen diodos de supresión para el manejo de cargas inductivas.

Posteriormente se cuenta con la etapa de indicación de estado lógico de la señal, la cual consiste de un diodo led encargado de mostrar el estado lógico en el que se encuentra la salida digital correspondiente; es decir, si la salida se encuentra en estado alto, el led estará encendido, de lo contrario, se encontrará apagado.

Finalmente se cuenta con la etapa de aislamiento eléctrico de las salidas, la cual consiste en aislar eléctricamente las salidas de la tarjeta. La corriente producida por la fase de protección es capaz de excitar a las bobinas del relé de las salidas del sistema.

### 3.5. Módulo de entradas especiales del sistema de adquisición de datos

**Entrada para sensores resistivos:** una de las mediciones más comunes que se realiza en los laboratorios es la de temperatura, para la cual, es muy frecuente el uso de sensores resistivos. Entre los sensores más utilizados se encuentran la Pt100, NTC

10K y NTC 1K; por esta razón, se decidió fabricar un módulo para el acondicionamiento de estos tres sensores. Este módulo posee dos fases: una etapa cuenta con la estructura que se muestra en la figura 7, encargada de generar un voltaje de salida de (1 a 5) V, y la segunda etapa se encarga de recibir el voltaje ya acondicionado y proteger al sistema de cualquier eventualidad. Esta última fase corresponde al mismo circuito de protección para las entradas analógicas de (1 a 5) V.



Figura 7: Acondicionamiento de sensores resistivos.

Los sensores seleccionados de temperatura presentan inconvenientes al momento de su conexión, debido a la resistencia de los cables utilizados para conectarlos, pero para solventar este problema se implementó la conocida conexión a tres hilos, para la cual, el único requisito es que los tres cables tengan aproximadamente la misma resistencia eléctrica. Para la medición de la resistencia se utilizó un puente de Wheatstone, el cual es utilizado ampliamente en la instrumentación electrónica, no sólo para medir resistencias, sino también se puede medir inductancias y capacitancias.

**Entrada bipolar de (-10 a 10) V:** esta entrada se elaboró pensando en el uso de sensores de posición tipo LVDT (Transformador Diferencial de Variación Lineal); los cuales, a pesar de proveer una salida alterna, con ayuda de la electrónica se logra que entreguen un voltaje lineal, generalmente en el margen de (-10 a 10)V, dependiendo de la posición en que se encuentren. En la figura 8 se muestra el diagrama de bloque de esta etapa del sistema.



Figura 8: Diagrama de bloques para el acondicionamiento de LVDT.

### 3.6. Módulo de salidas especiales del sistema de adquisición de datos.

**Salida bipolar de (-5 a 5) V:** esta salida se puede adecuar a cualquier voltaje, positivo o negativo, deseado a través del uso de amplificadores operacionales, incluso facilita el acondicionamiento a la hora de necesitar una señal no sólo bipolar, sino simétrica. Para el acondicionamiento de esta salida se propuso un circuito con las etapas que se muestran en la figura 9.



Figura 9: Diagrama de bloques para la salida de (-5 a 5)V.

Una fase de memoria para estabilizar el voltaje de salida, una de conversión D/A para transformar el código de 8 bits proveniente del microcontrolador a un voltaje, una etapa de desnivel para obtener un señal bipolar que finalmente será amplificada y filtrada en la última fase del acondicionamiento.

**Salida del tipo PWM:** la modulación por ancho de pulso o PWM es usada ampliamente en los sistemas de control para proveer un voltaje variable de corriente continua; por esto, se ha decidido agregar una salida de este tipo al sistema de adquisición de datos. Como los relés son contactos que soportan un margen de frecuencia bastante limitado para este tipo de señal, se optó por el uso de un optoacoplador configurado para una salida de (0 o 24) V.

Por parte del software, desde el módulo controlador del sistema, se deben recibir las instrucciones que determinen el período, el predivisor del módulo, y el ciclo útil de la señal, es decir, a través del módulo de comunicaciones, se recibirán los datos correspondientes a la configuración del módulo PWM.

### 3.7. Módulo de Comunicaciones y software del sistema de adquisición de datos

**Programa principal del microcontrolador:** como se necesita tener información actualizada sobre las señales del proceso, el programa principal del microcontrolador, se mantendrá leyendo los datos de las entradas activas y actualizándolos constantemente. En el diagrama de flujo de la figura 10, se hace referencia a una variable Ent[x], la cual se trata de que el microcontrolador va verificando entrada por entrada, para saber cual está activa, según las órdenes recibidas por el controlador del sistema, cuando encuentre una entrada habilitada, inmediatamente reemplazará su

valor por el más actual. Esto permitirá que, en caso de que el módulo controlador solicite estos datos, se le pueda ofrecer la información mas reciente y a su vez, se agiliza el proceso de captación y envío.

Por otra parte, el microcontrolador, tendrá activa la interrupción por transferencia del bus I2C, lo que significa, que cuando el módulo controlador del sistema inicie una comunicación con la tarjeta, se detendrá el programa principal y se atenderá la interrupción en cuestión.

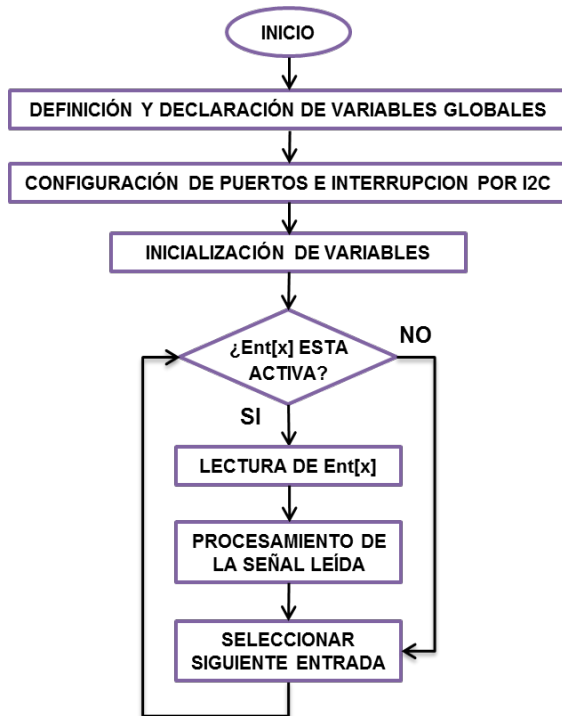


Figura 10: Programa principal del microcontrolador.

#### 4. Resultados

Para lograr una implementación exitosa del sistema, el primer paso fue simular cada una de las tarjetas con el programa Proteus 7.7. Una vez comprobado el funcionamiento en la simulación se hizo el montaje físico utilizando un protoboard, y finalmente una vez corregidos todos los detalles se realizó la implementación en baquelita utilizando para el diseño el software Eagle 6.3.0 y para la implementación la técnica de planchado y percloruro férrico.

En la figura 11 se muestran cuatro de las tarjetas principales.

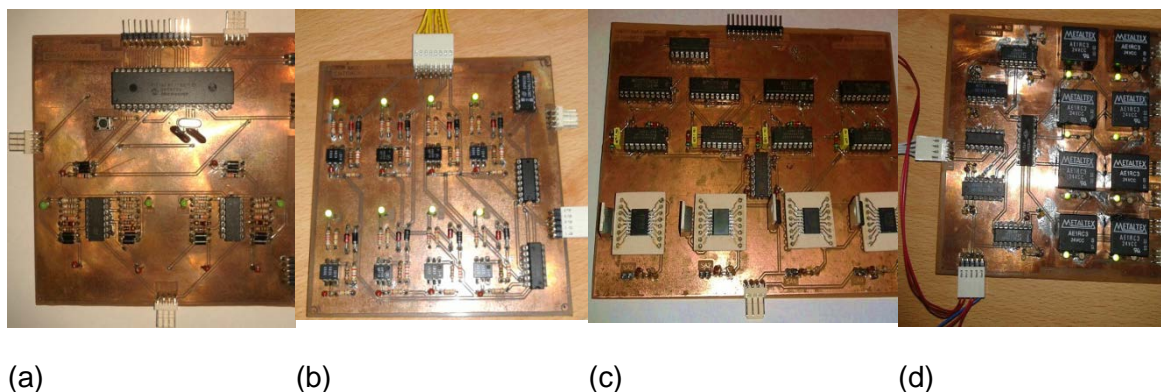


Figura 11: (a) Tarjeta de entradas analógicas del SAD, (b) Tarjeta de entradas digitales, (c) Tarjeta de salidas analógicas, (d) Tarjeta de salidas digitales

Se realizaron las pruebas de cada una de las entradas y salidas, en todo el margen de medición, en trayectos de 26 %, tomando diez valores en cada caso. Se promediaron los valores para cada entrada y se determinó el error total de fondo de escala para cada caso. También se realizaron pruebas de comunicación con el maestro I2C. En la tabla 2 se observan los errores máximos obtenidos para las entradas analógicas.

Tabla 2: Error de fondo escala (EFE) porcentual para la tarjeta de entradas analógicas en cada canal (EA)

EA	EFE (%) en Modo Tensión	EFE (%) en Modo Corriente
0	2,0	0,7
1	2,0	0,7
2	1,6	0,7
3	2,4	0,7

En la tabla 3 se observan los errores máximos obtenidos para las salidas analógicas.

Tabla 3: Error de fondo escala (EFE) porcentual para la tarjeta de salidas analógicas en cada canal (EA)

EA	EFE (%) en Modo Tensión	EFE (%) en Modo Corriente
0	2,0	1,0
1	2,0	2,0
2	2,0	2,0
3	2,0	1,0

En la tabla 4 se muestran los errores máximos obtenidos para las entradas especiales.

Tabla 4: Error de fondo escala (EFE) porcentual para la tarjeta de entradas especiales (EA)

EA	EFE (%)
Bipolar	3,0
Pt100	3,3
NTC 1K	1,9
NTC 10K	1,1

En la tabla 5 se observa el error máximo obtenido para la salida bipolar.

Tabla 5: Error de fondo escala (EFE) porcentual para la tarjeta de salida bipolar (EA)

EA	EFE (%)
Bipolar	4,0

Analizando los resultados se determina que en las pruebas realizadas los errores obtenidos son muy aceptables para la cantidad de entradas y salidas diseñadas en un solo dispositivo. Más aun cuando tendrá una aplicación académica con necesidades de resolución en muchos casos mayores.

## 5. Conclusiones

El sistema electrónico construido adquiere señales analógicas de voltaje o de corriente sin problema, siempre y cuando las mismas se encuentren dentro de los márgenes establecidos de (4 a 20) mA o de (1 a 5) V.

Las señales digitales también se adquieren perfectamente. El circuito distingue como 1 lógico a partir de aproximadamente +15 V en adelante.

Las salidas analógicas del sistema pueden ser de voltaje de (1 a 5) V, o de corriente de (4 a 20) mA, según sea seleccionado por el usuario tanto por software como por hardware.

Por su parte, las salidas digitales son de +24 VDC, quedando totalmente aisladas al utilizar los relés.

Como entradas especiales se agregaron: una entrada bipolar de (-10 a 10) V, la cual representa el margen en el que trabajan sensores como el LVDT, y una entrada especial para sensores resistivos, la cual admite específicamente Pt100, NTC 1K y NTC 10K. La selección también se debe hacer por software a través del módulo controlador.

Respecto a las salidas especiales, también se seleccionaron de dos tipos: una bipolar de (-5 a 5) V para ofrecer versatilidad al sistema debido a que es una señal fácilmente manipulable, y una PWM la cual tiene usos múltiples debido a la cantidad de actuadores que pueden ser manejados por esta señal.

El bus de comunicaciones I2C ofrece una gran ventaja a la hora de ahorrar líneas en el software, además de que la comunicación fue totalmente exitosa, siempre y cuando se cumpla el protocolo establecido para la configuración y lectura de señales.

La arquitectura del sistema dividido en módulos permite una mejor organización y manejo de las señales del proyecto.

## Referencias

MALLA, R., y CALDERÓN, R. (2011). *Diseño y construcción de un prototipo de adquisición de datos para variaciones de voltaje, corriente y temperatura en función del tiempo, utilizando comunicación ethernet para el Laboratorio de Física de la Facultad de Ciencias de la Escuela Politécnica Nacional*. Tesis Doctoral. Quito: EPN.

MAYOL, A. y CUSTODIO, A. (2008). *Desarrollo de los módulos de expansión de un controlador multifuncional para manejar válvulas multipuertos para FUNDIUP-UNEXPO*. Trabajo de Grado. Puerto Ordaz: UNEXPO.

ORDÓÑEZ, M. (2007). "Diseño de dispositivo para la caracterización de módulos fotovoltaicos". *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 11, pág. 139-145.