

CONVERSIÓN A/D CON PROTOCOLO SPI PARA AUDIOFRECUENCIAS

Antonio Yosafat Rodríguez Hernández (1), M.I. Rogelio Castro Sánchez (2)

¹ [Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica] | antoanrh@gmail.com

² [Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías Campus Irapuato - Salamanca, Universidad de Guanajuato] | castro@ugto.mx

Resumen

Este trabajo permite realizar de manera sencilla el manejo y la exhibición de señales analógicas utilizando un convertidor analógico-digital y un pequeño ordenador. El convertidor analógico-digital utiliza un protocolo de comunicación serie (SPI) cuya programación se realiza por medio de una tarjeta electrónica (Raspberry) para posteriormente registrar, guardar y exhibir en un monitor fracciones de señales periódicas de audiofrecuencia.

Abstract

This work allows handling and display analog signals using an analog to digital converter and a small computer. The analog to digital converter uses a serial protocol of communication (SPI) whose programming is done through an electronic card (Raspberry). Subsequently it records, saves and displays fractions of periodic audio frequency signals in a monitor.

Palabras Clave

Palabras Clave: Convertidor Analógico-Digital, Protocolo SPI, Raspberry.

INTRODUCCIÓN

Las señales analógicas obtenidas de diferentes fuentes, nos permiten obtener información del medio donde son extraídas, realizar estudios de algún proceso y tomar distintas acciones sobre el mismo. Las variables físicas como temperatura, presión, sonido, etc., son señales analógicas y se requiere de transductores [1] para convertirlas primero en señales eléctricas y luego a señales digitales por medio de un convertidor analógico digital [2]. Posteriormente la información digital se almacena, exhibe o procesa a nuestra conveniencia.

Algunos sistemas de bajo costo utilizados para el manejo de información analógica de forma digital se mencionan a continuación: Microcontroladores, Tarjetas de Adquisición de datos, Tarjetas Digitales como: Spartan, Arduino, Raspberry, etc., por mencionar algunas y recordando que éstas últimas requieren un convertidor analógico-digital (CA/D).

Este trabajo explora la posibilidad de procesar información analógica con un CA/D con protocolo SPI con la ayuda de un pequeño computador como lo es la tarjeta Raspberry [3].

Cuando se tienen señales analógicas es importante considerar su amplitud y frecuencia. La amplitud debe estar dentro de los límites de la fuente de alimentación de los circuitos integrados como el CA/D cuyo código de salida se expresa por:

$$\text{Código de salida digital} = \frac{1024 V_{IN}}{V_{REF}} \quad (1)$$

donde :

V_{IN} = Voltaje analógico de entrada

V_{REF} = Voltaje de referencia.

La frecuencia debe estar dentro de los límites de velocidad de procesamiento de los circuitos integrados encargados de CA/D y del guardado de información digital para su manipulación.

Otro factor importante, para que la señal analógica se transforme en digital es que la frecuencia mínima de muestreo (f_s), de acuerdo al criterio de Nyquist [4], debe ser del doble de la frecuencia de la señal analógica. Aparte se debe tomar en cuenta el tiempo de conversión del CA/D para

saber el límite de frecuencia máxima de la señal de entrada. El límite depende de la fuente de señal de reloj que alimenta al CA/D.

MATERIALES Y MÉTODOS

Raspberry Pi

Es un pequeño ordenador de bajo costo (menor a 50 dólares) desarrollado con un circuito integrado Broadcom BCM2835 con procesador ARM11 con velocidad de hasta 1.3 GHz, GPU Video Core IV y 512 Mb de memoria RAM.

También cuenta con una salida de vídeo y audio a través de un conector HDMI, Fig. 1. Incluye una salida de vídeo compuesto, una salida de audio, dos puertos USB y una conexión Ethernet 10/100.



FIGURA 1: Tarjeta Raspberry Pi modelo B.

La tarjeta Raspberry Pi cuenta con un bus de expansión GPIO, con 26 pines para los modelos A y B, lo cual permite la comunicación con elementos externos, Fig. 2. El voltaje de trabajo para este puerto es de 3.3 volts para un valor 1 lógico y 0 volts para un valor 0 lógico. La corriente máxima que suministra el GPIO es de 16mA.

Raspberry Pi Model A & B (P1 Header)					
PIN #	NAME			NAME	PIN #
	3.3 VDC Power	↔	↔	5.0 VDC Power	
8	SDA0 (I2C)	↔	↔	DNC	
9	SCL0 (I2C)	↔	↔	0V (Ground)	
7	GPIO 7	↔	↔	TxD (UART)	15
	DNC	↔	↔	RxD (UART)	16
0	GPIO 0	↔	↔	GPIO1	1
2	GPIO2	↔	↔	DNC	
3	GPIO3	↔	↔	GPIO4	4
	DNC	↔	↔	GPIO5	5
12	MOSI	↔	↔	DNC	
13	MISO	↔	↔	GPIO6	6
14	SCLK	↔	↔	CE0	10
	DNC	↔	↔	CE1	11

FIGURA 2: Puertos GPIO de la Raspberry Pi. (Pin # se refiere a la configuración usando la librería WiringPi)

Protocolo SPI

SPI (Serial Peripheral Interface) es un estándar establecido por Motorola que utiliza un bus de 4 líneas para interconectar dispositivos periféricos de media y alta velocidad. Se trata de un enlace de datos, en serie, de forma SÍNCRONA que sigue una estructura de un modelo Master-Slave (maestro-esclavo); donde el “master” selecciona al “Slave” y comienza el proceso de transmisión/recepción.

Respecto a la interfaz de trabajo por medio del protocolo SPI, en la Raspberry, los pines de trabajo son:

- 19 MOSI (Master Out Slave In)
- 21 MISO (Master In Slave Out)
- 23 SCLK (Serial Clock)
- 24 CE0 (Chip Enable 0)
- 26 CE1 (Chip Enable 1)

Existen cuatro modos (Tabla 1) en el cual se puede enviar información dependiendo de dos parámetros basados en la señal de reloj.

El primero de ellos es la polaridad y el segundo es la fase. Al tener dos parámetros donde cada uno puede tomar dos estados se tendrá entonces cuatro modos distintos de poder llevar a cabo el proceso de transmisión y envío de información.

Tabla 1: Modos de envío de la información.

Modos de Operación SPI		Descripción
Modo 0	CPOL=0	El estado del reloj permanece en estado lógico bajo y la información se envía en cada transición de bajo a alto, es decir alto activo.
	CPHA=0	
Modo 1	CPOL=0	El estado del reloj permanece en estado lógico bajo y la información se envía en cada transición de alto a bajo, es decir bajo activo
	CPHA=1	
Modo 2	CPOL=1	El estado del reloj permanece en estado lógico alto y la información se envía en cada transición de bajo a alto, es decir alto activo.
	CPHA=0	
Modo 3	CPOL=1	El estado del reloj permanece en estado lógico alto y la información se envía en cada transición de alto a bajo, es decir bajo activo.
	CPHA=1	

Conversión Analógica/Digital

El convertidor A/D MCP3008 [5] contiene 8 entradas analógicas (CH0-CH7) y una resolución de 10 bits, con interfaz SPI. Tiene un rango de voltaje de operación entre 2.7v y 5.5v.

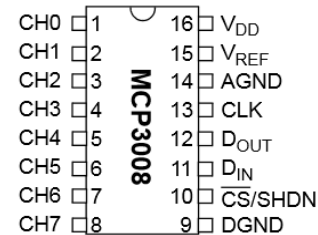


FIGURA 3: Pines MCP3008.

Al establecer la comunicación entre el ADC y la Raspberry Pi, la información será enviada a partir del Modo 1 (0,0) SPI. La configuración del canal de entrada CH0 se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Configuración de bits para elegir el canal analógico del MCP3008

Bits de Control				Selección del Canal
Single/Diff	D2	D1	D0	
1	0	0	0	CH0

Para la operación de la Raspberry Pi se implementa el Sistema Operativo Raspbian de Linux, en una tarjeta SD con almacenamiento de 4 GB.

Existen varias maneras con las cuales manejar la interfaz de Raspbian, en este caso, se utiliza el control mediante **SSH (Secure SHell)** para monitorear la Raspberry por una computadora que permite la habilitación de la interfaz gráfica, Fig. 4.

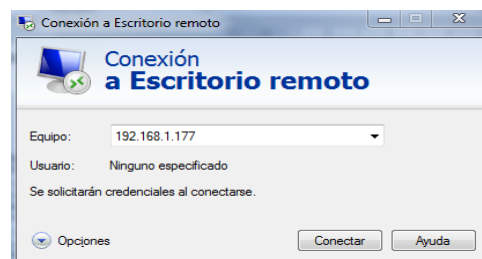


FIGURA 4: Conexión remota con la Raspberry Pi.

Para realizar la comunicación entre la Raspberry Pi y el ADC MCP3008 se habilita el módulo SPI que se encuentra en las configuraciones generales, aplicando el siguiente comando en la terminal: “*sudo raspi-config*” mostrado en Fig. 5.

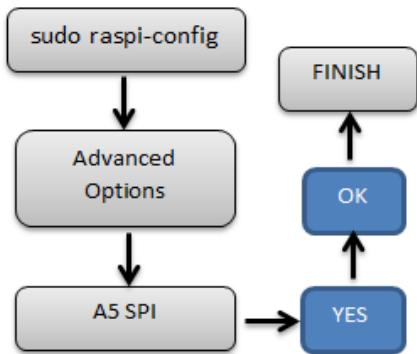


FIGURA 5: Habilitación de SPI

En la Tabla 3 se muestra cómo proceder con la conexión entre la Raspberry Pi con el ADC MCP3008

Tabla 3: Conexiones entre MCP 3008 y la Raspberry Pi.

Pines		
MCP 3008	Pi GPIO (#)	Raspberry Pi
16 VDD	1	3.3 v
15 VREF	1	3.3 v
14 AGND	6	GND
13 CLK	23	GPIO11 SPI0_SCLK
12 DOUT	21	GPIO09 SPI0_MISO
11 DIN	19	GPIO10 SPI0_MOSI
10 CS	24	GPIO08 CE0
9 DGND	6	GND

El diagrama de flujo que muestra la secuencia del programa con la Raspberry para el proceso de conversión A/D se muestra en la Figura 6 y la secuencia de interconexión desde la fuente de

señal analógica hasta la exhibición de la información digital se muestra en el diagrama a bloques de la Figura 7.

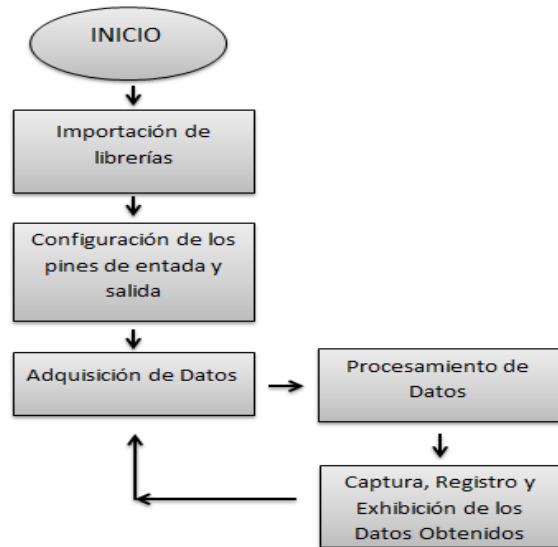


FIGURA 6: Proceso de Conversión Analógico-Digital.

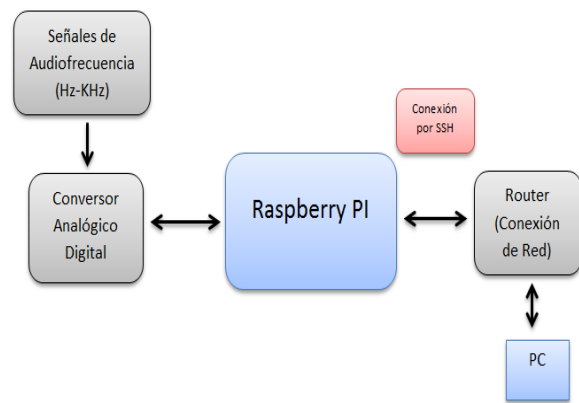


FIGURA 7: Esquema general de Funcionamiento.

A continuación se discuten los resultados obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados fueron obtenidos al programar y guardar la conversión A/D con la Raspberry y después exhibir la información en una pantalla digital. Las señales Analógicas de entrada son: triangular, sinusoidal y cuadrada con amplitud de $1.96 V_{pp}$ y una frecuencia de $10 Hz$.

Tabla 4: Valores de referencia en la conversión A/D.

V_{in} [volts]	$Codigo\ Salida\ Digital = \frac{1024 V_{in}}{V_{ref}}$, donde $V_{ref} = 3.35\ v$
3.3 v	1023
1.96 v	598

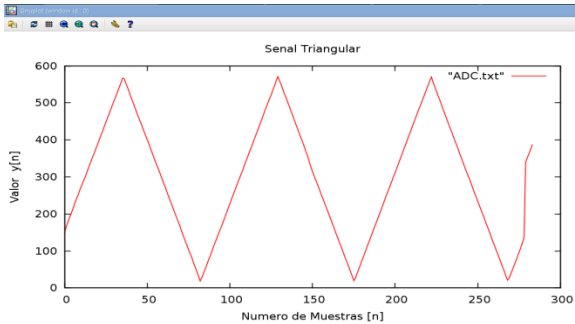


FIGURA 8: Grafica de salida de la señal triangular de entrada.

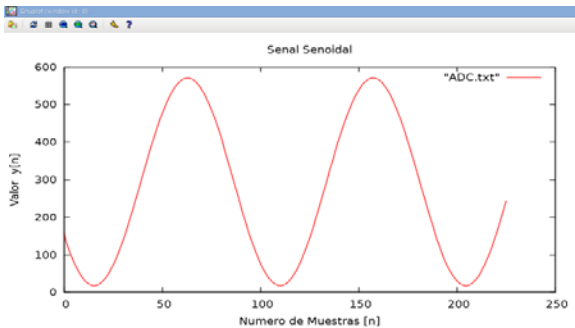


FIGURA 9: Grafica de salida de la señal sinusoidal de entrada.

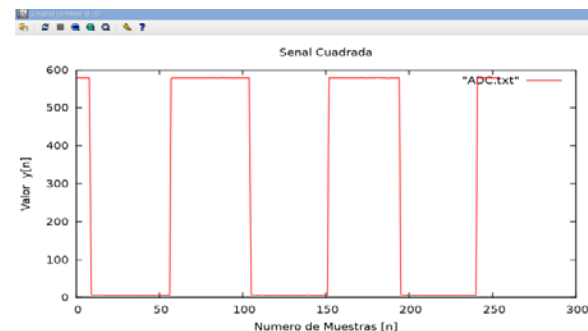


FIGURA 10: Grafica de salida de la señal cuadrada de entrada.

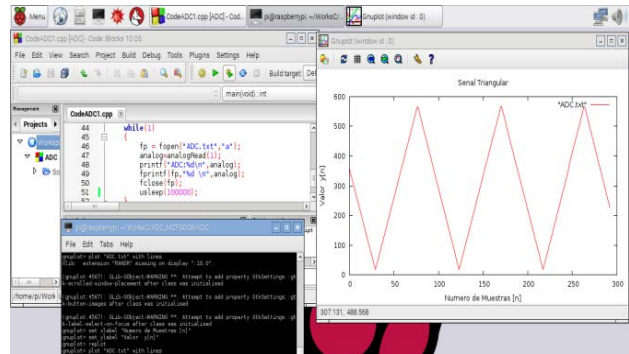


FIGURA 11: Código, ejecución y gráfica del programa para la Conversión A/D.

La Tabla 4 muestra la correspondencia entre la amplitud de la señal de entrada analógica y su equivalente en palabra digital. En las gráficas mostradas de la Fig. 8 a la Fig. 11 se muestrean y convierten 200 datos de la señal analógica de entrada y el reloj programado en la Raspberry para la entrada de reloj del CA/D de 0.5 Mhz.

CONCLUSIONES

En la actualidad existe una gran cantidad de dispositivos que almacenan, exhiben o procesan señales analógicas y digitales a costos elevados.

Los resultados obtenidos demuestran que es posible construir prototipos que midan variables analógicas y que su salida tenga aplicaciones específicas a partir de elementos encontrados en el mercado nacional y a precios menores de los importados.

Por ahora, gracias al desarrollo de este trabajo se logra procesar señales de baja frecuencia pero es un paso inicial para considerar la utilización del ordenador con circuitos de adquisición de datos más rápidos, con transmisión wi-fi y utilización de la pantalla de un celular para exhibir los resultados recibidos.

AGRADECIMIENTOS

El autor Antonio Yosafat Rodríguez Hernández agradece a la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado de la Universidad de Guanajuato, a la División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca por su apoyo en la

infraestructura brindada y al M.I. Rogelio Castro Sánchez por su apoyo teórico-técnico en el desarrollo de este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

[1] Doebelin E. O., (2005), Measurement systems: application and design (4st ed.) New York: McGraw-Hill.

[2] Franco S. (2002), Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuit (3st ed.) New York: Mc-Graw Hill International Editions.

[3] Warren W. Gay (2014), Raspberry Pi Hardware Reference (1st ed) CA, USA, Apress Berkely.

[4] Lathi B.P. (1998), Modern Digital and Analog Communications Systems (3st ed) New York: Oxford University Press.

[5] Microchip Technology Inc. (2002), 2.7V 4-Channel/8-Channel 10-Bit A/D Converters with SPI™ Serial Interface recuperado de <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet2/9/0ozk96l4ql8cu5xwzwt6z36ht3fy.pdf>