

Diseño de un Sistema de Control y Monitoreo con Microcontrolador para un Pozo de Agua Potable

Bautista López Jorge¹, Quezada Quezada J. Carlos², López Chau Asdrubal³,
Flores García Ernesto⁴, Ruiz González Hugo⁵

^{1,2,3,4,5} Escuela Superior de Tizayuca, UAEM

¹ CU UAEM Valle de Teotihuacán

Resumen — El presente trabajo propone el diseño de un sistema de control y monitoreo para un pozo de agua potable en el Estado de Hidalgo mediante la implementación del sistema basado en un microcontrolador PIC de gama media, el cual cuenta con un Convertidor Analógico-Digital con una resolución de 10 bits. Además el microcontrolador tiene la capacidad de multiplexar 14 canales analógicos para la conversión. Dicha propuesta es un Sistema Embebido el cual tiene como ventaja la reducción de costos en comparación con un sistema implementado bajo PLC (Controlador Lógico programable, por sus siglas en inglés).

Palabras Clave – Microcontrolador, PIC 16F887, Convertidor Analógico- Digital, Embebido, Control, Monitoreo.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el diseño de sistemas digitales basados en compuertas lógicas y Flip – Flops encapsulados en circuitos integrados ya no se utilizan, en su lugar se emplean los PLD's (*Dispositivo Lógico Programable*), CPL's (*Dispositivo Lógico Programable Complejo*) y FPGA's (del inglés *Field Programmable Gate Array*) mediante la aplicación de Lenguaje de Descripción de Hardware (HDL) y de forma complementaria se tienen los microcontroladores y microprocesadores programados en lenguajes de bajo nivel como lo es el Lenguaje Ensamblador que permite un mayor control del dispositivo electrónico. El lenguaje C también es utilizado para programar los microcontroladores.

Con la evolución de la implementación de los Sistemas Digitales basados en microcontroladores se dio mayor auge y aplicación a los sistemas Embebidos, los cuales son menos robustos que los sistemas implementados en los PLC's (Controladores Lógicos Programables) y por consecuencia menos costosos. Cabe mencionar que a diferencia de los sistemas basados en PLC, los sistemas que emplean microcontroladores son más complejos en su diseño.

El impacto de tales sistemas es tal que lo encontramos en cualquier parte de nuestro quehacer cotidiano por ejemplo: electrodomésticos, control electrónico de un automóvil, instrumentación electrónica, redes de sensores para monitoreo y vigilancia, dispositivos portátiles como lo son: teléfonos celulares y PDA's (Asistente Digital Personal), industria química, etc.

El propósito del presente trabajo es el diseño de un sistema digital que nos permita monitorear y controlar las variables presentes en la tubería de un Sistema de Agua Potable del Municipio de Zapotlán de Juárez, en el Estado de Hidalgo, con la finalidad de mantener la tubería en óptimas condiciones y el agua potable dentro de los parámetros necesarios para que sea potable.

En el diseño del sistema se empleará un microcontrolador PIC 16F887 ya que cuenta con un Convertidor Analógico – Digital con una capacidad de 14 canales analógicos multiplexados.

II. DESARROLLO DEL DISEÑO DEL SISTEMA DIGITAL

Las variables que se tratan en el presente Sistema Digital se determinaron previo estudio de campo mediante el comportamiento de una tubería de agua potable fabricada de Acero al Carbono (AISI TP304), la cual sufrió fallas que provocaron grietas. Las técnicas que se emplearon para el estudio y determinación de las variables son: Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) [9].

RVP-AI/2010 – CSA - 06 PONENCIA RECOMENDADA
POR EL **COMITÉ DE CONTROL SUPERVISORIO Y AUTOMATIZACIÓN**
DEL **CAPÍTULO DE POTENCIA DEL IEEE SECCIÓN MÉXICO**
Y PRESENTADA EN LA **REUNIÓN DE VERANO, RVP-AI'2010**,
ACAPULCO GRO., DEL 11 AL 17 DE JULIO DEL 2010.

Las variables a monitorear que se deben tomar en cuenta son:

1. Temperatura.
2. Concentración de cloro.
3. pH.
4. Flujo.
5. Presión.
6. Conductividad.
7. Velocidad del conjunto Motor – bomba.

Además de los parámetros que se obtuvieron es necesario considerar aspectos relacionados con el sistema de bombeo de agua tales como:

1. Arranque y paro del motor – bomba.
2. Punto de consigna para velocidad del conjunto motor – bomba.

Es importante mencionar que para monitorear las variables del sistema se debe de seleccionar el sensor adecuado considerando el intervalo de medición por lo que en el estudio de las variables a medir se determinaron los niveles mínimo y máximo para fundamentar el uso del sensor dadas las condiciones del ambiente a monitorear y controlar.

Los sensores que se proponen para el diseño del sistema son los siguientes:

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Variable	Rango	Principio
Temperatura	0 – 100 °C	RTD – Pt100
Cloro	0 – 250 mg/lit	
pH	0 – 14	
Flujo	0 – 50 lt/s	
Presión	0 – 10 kg/cm ²	Fuelle – LVDT
Conductividad	0 – 200 µS/cm	
Velocidad	0 – 1800 rpm	Señal del controlador de velocidad

Considerando la Tabla I, el número de entradas analógicas que se requieren para el sistema considerando las variables a monitorear son siete. Además se requieren dos entradas digitales para el arranque y paro del motor – bomba, y para el Punto de consigna de la velocidad del conjunto motor – bomba (estado de inicialización).

En los microcontroladores podemos considerar el estado de inicialización como la configuración por default del sistema y se da mediante el reset mejor conocido como el Master Clear.

A. MICROCONTROLADOR

Para el presente trabajo se propone el microcontrolador PIC 16F887, el cual pertenece a la familia de gama media.

Dentro de las características principales del microcontrolador estan: la velocidad de operación es de 20 MHz con ciclos de instrucción de 200 ns, conjunto de 35 instrucciones, capacidad de interrupción, modo de direccionamiento directo, indirecto y relativo, cuenta con 2 Timers, comparador analogico, módulo PWM (Modulación por Ancho de Pulso) y un Convertidor Analógico – Digital (ADC) con una resolución de 10 bits.

El ADC tiene la capacidad de multiplexar 14 canales analógicos para realizar la conversión Analógico - Digital como se muestra en la fig. 1 [4]. Además tiene 2 voltajes de referencia que se pueden modificar según los requerimientos del sistema (voltaje de referencia positivo y voltaje de referencia negativo).

Los canales seleccionados son los siguientes:

TABLA II
CANALES ANALAGICOS SELECCIONADOS DEL ADC

Variable	Canal Analogico	Forma Binaria
Temperatura	AN0	0000
Cloro	AN1	0001
Ph	AN4	0100
Flujo	AN5	0101
Presión	AN6	0110
Conductividad	AN7	0111
Velocidad	AN8	1000

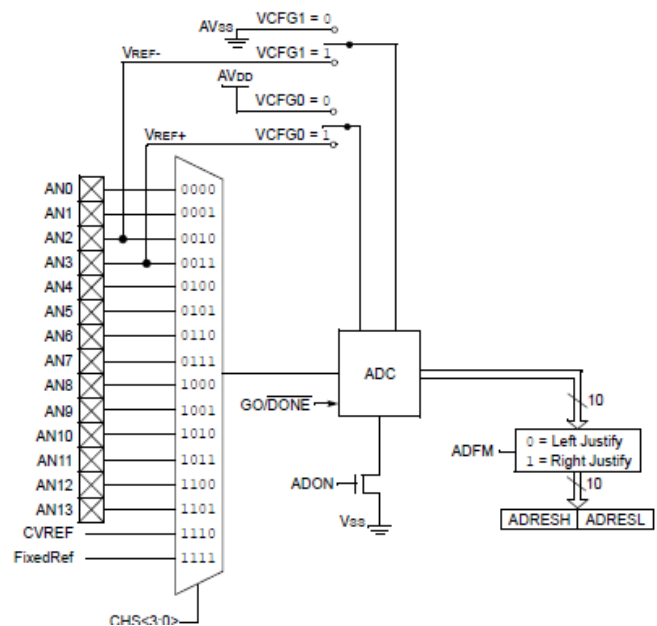


Fig. 1 Convertidor Analógico - Digital

Para poder hacer uso del ADC se tiene que seguir los pasos siguientes:

1. Configuración de puertos.
2. Selección de canales.

3. Selección de los voltajes de referencia del ADC.
4. Tiempo entre conversiones del ADC.
5. Control de interrupción.
6. Formato de resultados.

B. TIEMPO DE ADQUISICIÓN DEL ADC

Para una correcta conversión se debe precisar el tiempo de conversión por bit, el cual se denomina TAD. Para una conversión con una resolución de 10 bits es necesario 12 TAD's (1 muestra) [4].

En el caso del PIC 16F887 el periodo del TAD dependerá del oscilador que se utilice así como de la preescala que se empleará para el muestreo, es decir se puede variar la frecuencia del oscilador para ajustar a la máxima frecuencia de conversión (F_{TAD}).

$$Preescala = \frac{F_{OSC}}{F_{TAD}} \quad (1)$$

En "(1)", la preescala tiene predefinido los siguientes valores: $F_{OSC}/2$, $F_{OSC}/8$, $F_{OSC}/32$ y F_{RC} . Por ejemplo para el caso de una frecuencia del oscilador de 4 MHz y una preescala = $F_{OSC}/32$, se tendrá:

$$F_{TAD} = \frac{F_{OSC}}{Preescala} \quad (2)$$

$$F_{TAD} = 125 \text{ KHz} \quad (3)$$

$$TAD = 8 \mu s \quad (4)$$

Por lo tanto el tiempo requerido para una conversión (4) analógico – digital (muestra) es igual a 96 μs .

C. FORMATO DE RESULTADOS DEL ADC

Para leer los datos digitales después de la conversión se puede realizar de dos maneras distintas, ya sea que el dato se obtenga justificado a la izquierda o justificado a la derecha (fig. 2).

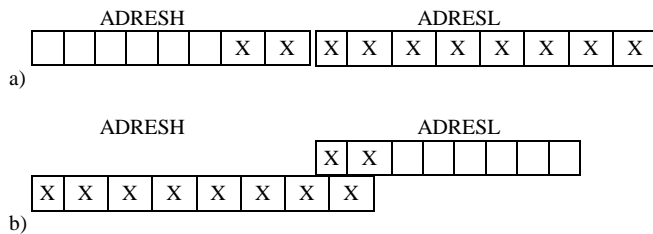


Fig. 2. Formato de resultados para la conversión Analógico – Digital de 10 bits, a) justificado a la derecha e b) justificado a la izquierda.

El convertidor Analógico – Digital permite habilitar la generación de una interrupción (Rutina de Servicio de Interrupción por sus siglas en inglés, ISR), fig. 3.

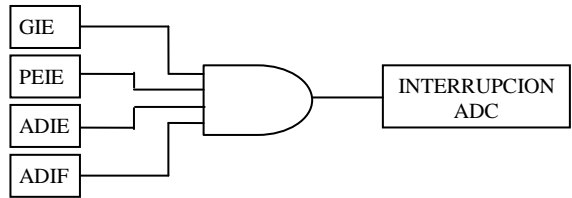


Fig. 3. Interrupción por ADC

Para generar una interrupción por el ADC se deben considerar los bits: GIE (Interrupción Global), PEIE (Interrupción por Periferico), ADIE (Habilitación del ADC) y ADIF (Bandera de habilitación, la cual se pone en uno por hardware cuando se termina una conversión)

Para el diseño del sistema se recurrirá a las interrupciones para la lectura de las señales analógicas, las cuales son proporcionadas por los distintos sensores que se seleccionaron previamente. A continuación se muestra la función de transferencia del ADC con los voltajes de referencia (fig 4).

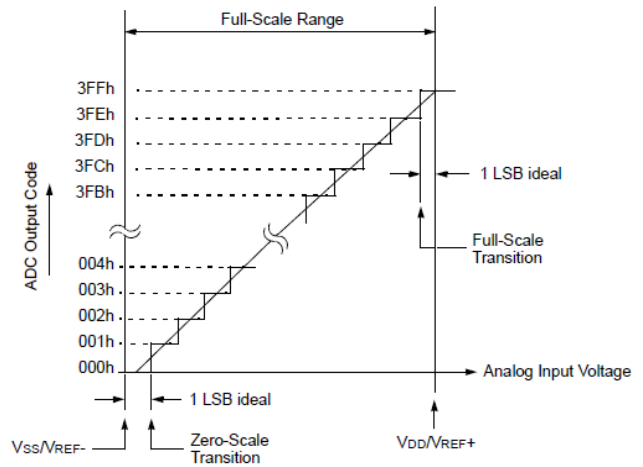


Fig. 4. Función de transferencia del ADC.

III. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

La función básica del sistema es extraer agua potable de un pozo para abastecer al municipio de Zapotlan de Juárez, Hgo., por lo que se requiere controlar la velocidad del conjunto motor-bomba y medir propiedades del agua a través de variables como: temperatura, pH, concentración de cloro y conductividad, en tiempo real; así como la presión en la tubería de descarga, lo cual permita asegurar el

cuidado de las instalaciones pero sobre todo, garantizar la calidad del agua.

Para poder decodificar los resultados de la Conversión - Analógico - Digital de cada uno de los 7 canales seleccionados, se emplearan interrupciones multiplexando las entradas en el ADC.

La interrupción por el ADC se debe de configurar teniendo en cuenta los 10 bits, aunque se puede truncar el dato a 8 bits pero se tendría menor resolución (fig. 5).

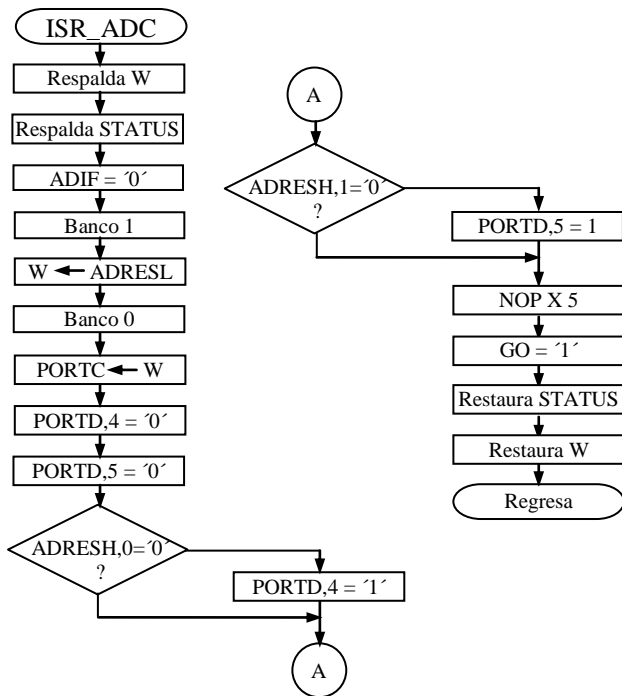


Fig. 5. Diagrama de flujo para interrupciones.

Para el canal analogico AN0 como se muestra en la tabla II, se tomará la señal analogica que entregue el sensor de temperatura dentro de un rango de 0° - 100°, una vez que se realiza la conversión A/D se despliega el resultado en una pantalla LCD (Liquid Crystal Display).

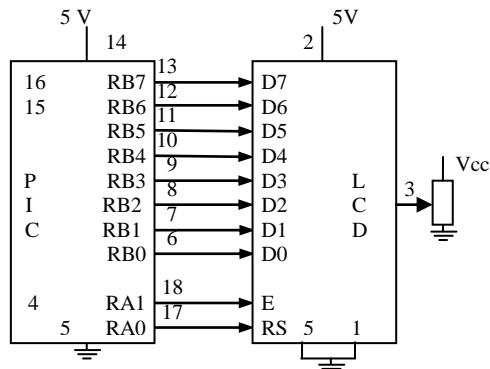


Fig. 6. Diagrama para la conexión del microcontrolador y la LCD.

Los parametros que se considerarán para la configuración de la LCD (fig. 6), son:

- a) 8 bits para el bus de datos.
- b) 2 líneas.
- c) Caracteres de 5 x 11.

IV. CONCLUSIONES

Las pruebas que se realizaron con el sensor de temperatura resultaron satisfactorias, aunque la lectura se realizo considerando numeros enteros. Es por ello que se deberá de considerar la lectura considerando temperaturas con lecturas de un decimal. Ademas se pretende emplear el microcontrolador PIC 30F3013, debido a que el ADC con el que cuenta tiene una resolución de 12 bits, lo cual conlleva una lectura más precisa. Otra de las ventajas del PIC 30F3013 es que el Set de instrucciones es mayor lo cual facilita la programación en lenguaje ensamblador.

V. REFERENCIAS

- [1] López Chau A., "AVR Microcontroladores. Configuración total de perifericos", Ed. Universidad Autonoma del estado de Mexico. 2006.
- [2] Ronald J. Tocci, "Sistemas Digitales: principios y aplicaciones", Editorial Pearson Educación. 6ta edición. 2003.
- [3] Morris Mano M., "Diseño Digital", Ed. Prentice Hall. 3ra edición. 2003
- [4] Microchip Technology Inc, "Hoja de datos PIC16F887". 1a edición. 2008.
- [5] Angulo Amusátegui J. M., "Microcontroladores PIC Diseño practico y aplicaciones". Ed. Mc Graw Hill. Primera parte. 2009.
- [6] Histan & Alciatore, Introduction to Mechatronics and Measurement Systems, 1999 McGraw Hill
- [7] Barrett, M. "Managing the Invisible Assets" *Engineering & Technology*, Vol. 3, No. 12, pp. 50-52, Oct 2008.
- [8] Domingo, J.; Gámiz, J.; Grau, A. and Martínez, H. Introducción a los Automatas Programables, 1st published, VOC, 2003, pp. 124, 135.
- [9] Bolaños, E.; López, L.D.; Veloz M.; Reyes V.; Vega, G. "Evaluación del comportamiento de un acero al carbono utilizado en tuberías para agua potable mediante espectroscopia de impedancia electroquímica y microscopia electrónica de barrido". XXV Congreso de la Sociedad Mexicana de Electroquímica. 3rd Meeting of the Mexican Section ECS. Junio 2010.

VI. CURRICULUM



Jorge Bautista López Candidato a grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería en Telecomunicaciones por la SEPI ESIME Zacatenco, y el título de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica en la ESIME Zacatenco.

Actualmente es docente del CU UAEM Valle de Teotihuacán y de la ESTi dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, impartiendo cátedra en las asignaturas: Sistemas Digitales, Microprocesadores y Redes de computadoras.

Entre sus principales áreas de intereses está la implementación de Sistemas Embebidos mediante Microcontroladores y Controladores Lógicos Programables, y la propagación de señales inalámbricas en interiores.



José Carlos Quezada Quezada obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Ecatepec, Estado de México, en el año 2008, y el título de Ingeniero en Electrónica en el Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas, Michoacan, México, en 1992.

Ejerció profesionalmente en Fertilizantes Mexicanos, Comisión Federal de Electricidad, Siderúrgica Lázaro Cárdenas las Truchas y en Fertilizantes Nacionales. Actualmente es Profesor Investigador de la Escuela Superior

de Tizayuca, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Entre sus principales intereses está la automatización de procesos continuos y máquinas sofisticadas mediante Controladores Lógicos Programables, Controladores Automáticos Programables e Interfaces Humano Máquina.



Asdrubal López Chau Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Sistemas Computacionales en el Centro de Investigación en Computación del IPN. Actualmente se encuentra estudiando estudios de Doctorado en Ciencias de Computacionales en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, CINVESTAV-IPN, de la Ciudad de México. Sus áreas de interés son: Diseño e implementación de Sistemas en Tiempo Real, automatización de procesos continuos mediante Microcontroladores, Controladores Lógicos Programables, Controladores Automáticos

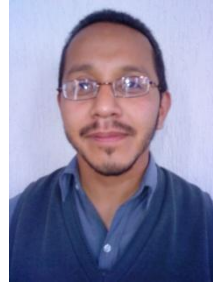
Programables e Interfaces Humano Máquina.



Ernesto Flores obtuvo su grado de Maestría en Ciencias en la especialidad de Control Automático en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, CINVESTAV-IPN, de la Ciudad de México, México, en 2004, y es candidato a Doctor en Ciencias en la misma especialidad e Institución. Recibió su grado de Ingeniería en Aeronáutica del Instituto Politécnico Nacional, IPN, de la Ciudad de México, en 2002. Sus principales temas de interés incluyen el Control de Sistemas Electromecánicos, Servomecanismos, Robótica, Microcontroladores, entre otros. El

Maestro Flores ha ejercido como profesor de universidad en las áreas de Control y Matemáticas desde 2004; actualmente es Profesor Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Hugo Ruiz González. Es Ingeniero Eléctrico egresado de la ESIME Zacatenco. Curso el diplomado en enseñanza de las Matemáticas para nivel superior en la UAEH.



Actualmente es profesor de tiempo completo de la Escuela Superior de Tizayuca de la UAEH. Dentro de sus principales áreas de interés están el diseño y aplicación de sistemas electrónicos de potencia, cálculo de subestaciones eléctricas y los sistemas de adquisición de datos empleando tarjetas de adquisición y microcontroladores con Convertidor Analógico – Digital.