

Programación de un Control Difuso (Fuzzy) para una Columna de Destilación

M. en C. Armando Morales S.
Instituto Mexicano del Petróleo
Email: amorales@imp.mx
M. en C. Romeo Urbieta Parrazales, Ing.
Luis Ernesto Corona Franco
CIC-IPN
Email: rurbieta@cic.ipn.mx
corluis@hotmail.com

En este artículo se describe el diseño de un Sistema de Control para una columna de destilación que emplea el Método ASTM D-1160; dicho equipo se encuentra en el área de Plantas Piloto del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). El diseño consta de tres unidades: la unidad de adquisición de datos y control, la unidad de proceso (columna de destilación) y la unidad de cómputo (computadora personal, PC). En dicha PC se realizó un programa escrito en Visual Basic, empleando técnicas de "Control Difuso" (Fuzzy), para controlar la presión de vacío. También se detalla el diseño de la unidad de adquisición de datos y control, la cual se implementó con tres microcontroladores de la serie PIC16F8XX, de Microchip.

1. INTRODUCCIÓN

Los microcontroladores son dispositivos electrónicos utilizados para controlar uno o varios procesos, conteniendo en forma interna todos los elementos necesarios para dicha función. En general, estos elementos son:

- Memoria no volátil, para almacenar el programa de control, y que puede ser tipo EPROM, EEPROM, FLASH-EEPROM, etc..
- Memoria de tipo volátil (RAM) para realizar cálculos y operaciones entre los registros internos (W y F) del microcontrolador y su unidad de lógica-aritmética (ALU).
- Puertos de entrada salida (E/S), convertidores analógico digital (ADC), temporizadores, etc.

Estos dispositivos se pueden utilizar en una gran cantidad de procesos industriales, de medición, telecomunicaciones, etc., pudiendo programarse varias veces hasta optimizar el funcionamiento del equipo ó sistema a controlar.

2. HARDWARE

DISEÑO DE LA UNIDAD DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DIGITAL

Para el diseño de esta unidad se utilizaron dos microcontroladores PIC16F873, que cuentan con 28 terminales, e incluyen un convertidor analógico digital de 10 bits. También

se empleó un PIC16F84, el cual no tiene este recurso y tiene un menor número de terminales (18).

Para la transmisión de la información se utilizó un PIC16F873, el cual recibe tres señales provenientes de la columna de destilación, que se muestran en la **figura 1**, y son:

- T1 - Temperatura de Domo de columna (°C).
- T2 - Temperatura de fondo de columna (°C).
- P1 - Presión de vacío (mmHg).

Estas señales son digitalizadas por el convertidor analógico digital, y se transmiten hacia el puerto serial de la computadora en formato RS-232.

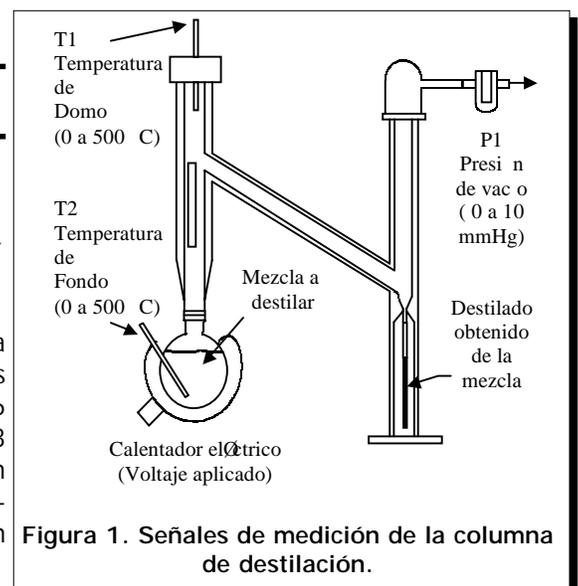
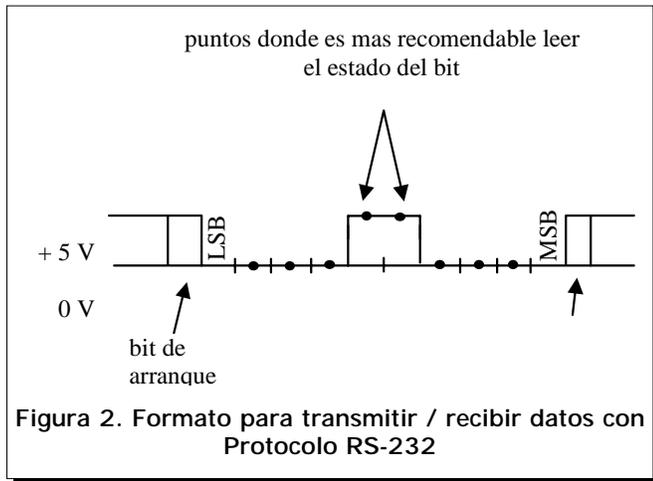


Figura 1. Señales de medición de la columna de destilación.



En la **figura 2** se muestra el formato de transmisión - recepción RS-232.

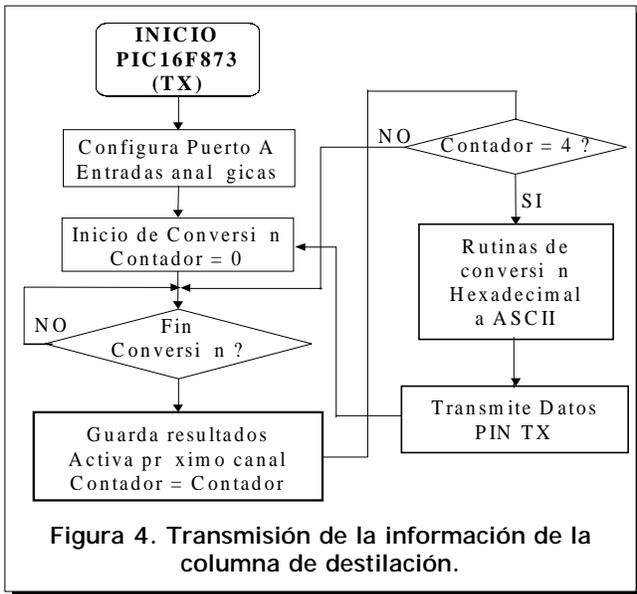
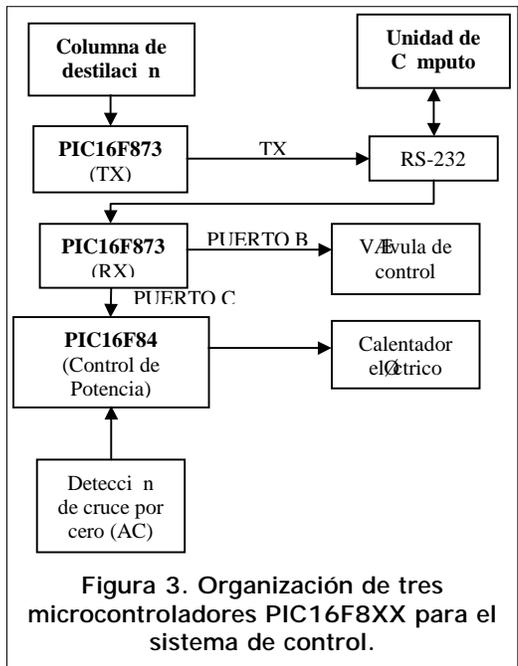
PROTOCOLO RS-232

Otro microcontrolador PIC16F873 se encarga de recibir la señal proveniente de la PC, también en formato RS-232, y la decodifica para enviarla hacia los tres puertos que tiene este dispositivo (A, B, C). El puerto B se utiliza para generar un voltaje de 0 a 24 volts, con el cual se maneja una válvula de control de tipo electromagnética. El puerto C sirve para mandar información hacia el

tercer microcontrolador, el PIC 16F84, utilizado para controlar la potencia de un calentador eléctrico. La **figura 3** muestra un diagrama a bloques de este sistema.

3. SOFTWARE

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS RUTINAS EMPLEADAS PARA CADA MICROCONTROLADOR



Se selecciona el canal 0 del convertidor para iniciar el proceso de conversión y se inicia la variable Contador como 0, para el control de los canales del convertidor.

Se inicia el proceso de conversión y se espera a que la bandera de fin de conversión se active; al finalizar este proceso se guardan los registros de conversión.

Se incrementa el contador en uno y se activa el siguiente canal del convertidor, repitiendo esta secuencia hasta que todas las variables hayan sido consideradas.

Una vez terminado el proceso de conversión se procede a convertir la información de forma hexadecimal a ASCII, que es como se transmiten y reciben datos por el puerto serial RS-232; la conversión consiste en sumar 30_H al dígito hexadecimal si su valor está entre 0 y 9, o sumarle 37_H si está entre A y F.

- RECEPCIÓN DE DATOS

En la **figura 4** se muestra el diagrama de flujo para transmitir la información proveniente de la columna de destilación, aplicando un microcontrolador PIC16F873 .

Los bloques lógicos se explican brevemente a continuación:

Se configura al puerto A del microcontrolador como entradas analógicas así como al convertidor analógico digital (ADC).

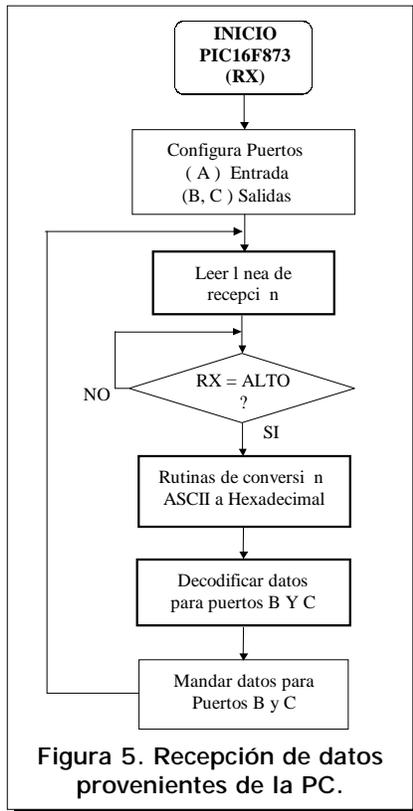


Figura 5. Recepción de datos provenientes de la PC.

- RECEPCIÓN DE DATOS PROVENIENTES DE LA PC

En la figura 5 se muestra el diagrama de flujo para la recepción de datos utilizando otro microcontrolador PIC16F873. Los bloques lógicos se explican brevemente a continuación:

Se configuran los puertos del microcontrolador para manejar al puerto A como entrada y los puertos B y C como salidas. Una terminal del puerto A se usa para leer los datos de la PC.

Se lee el estado de la terminal de recepción (RX), si no hay cambio continúa en esta etapa, si el nivel es alto entonces inicia el proceso de lectura de la información.

Se convierte la información de ASCII a hexadecimal, con una rutina similar a la explicada anteriormente. Dicha información, una vez

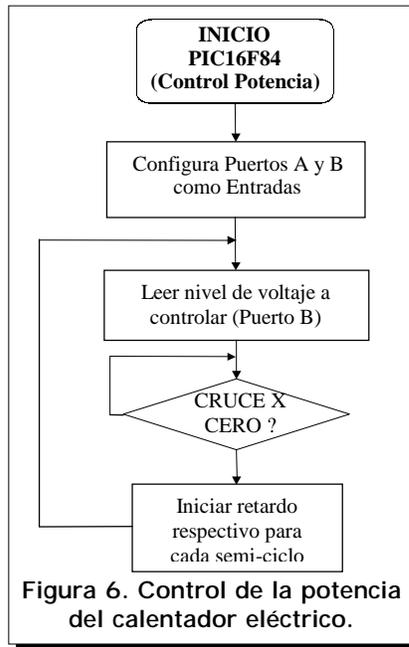


Figura 6. Control de la potencia del calentador eléctrico.

convertida y decodificada, se envía al puerto correspondiente del microcontrolador.

El puerto B se utiliza para manejar la válvula de control, con una salida de 0 a 24 Vcd; el puerto C envía esta información hacia el tercer microcontrolador, para controlar la potencia eléctrica.

- CONTROL DE LA POTENCIA DEL CALENTADOR ELÉCTRICO

Para el control de la potencia eléctrica se utiliza finalmente el microcontrolador PIC16F84; en la figura 6 se muestra el diagrama de flujo correspondiente. A continuación se incluye una breve explicación del mismo:

Se configuran los puertos, asignando ambos (A y B) como entradas. Una terminal del puerto A se encarga de detectar los cruces por cero de la fuente de alimentación de ca, y otra envía una señal hacia la compuerta (gate) de un TRIAC, para controlar el ángulo de disparo y por tanto la potencia aplicada al calentador eléctrico.

El microcontrolador genera los retardos necesarios para cada nivel de potencia a controlar (0 a 100 %), los cuales se leen previamente por el puerto B, cuya información proviene del puerto C del microcontrolador PIC16F873 (etapa de recepción).

Para grabar y depurar las rutinas empleadas en cada microcontrolador se utilizó el sistema PIC STAR PLUS, el cual consta de un programador y un editor para ambiente Windows.

| Hora | Destilado | | Temperatura | | | Presión | % |
|-------|-----------|--------|-------------|-----|-------|---------|------|
| | H:M:S | %Vol | ml | T1 | T2 | AET | mmHg |
| 05:46 | 0 | 1er. G | 149 | 264 | 346 | 1.00 | 65 |
| 05:50 | 5 | 10 | 220 | 274 | 435 | 1.00 | 70 |
| 05:53 | 10 | 20 | 229 | 285 | 446 | 1.00 | 80 |
| 05:58 | 20 | 40 | 241 | 317 | 460.1 | 1.00 | 85 |
| 06:06 | 30 | 60 | 287 | 368 | 514.8 | 1.00 | 90 |
| 06:11 | 40 | 78 | 302 | 400 | 508.4 | 2.40 | 95 |

Nombre de la muestra: 211 Bal 223
 Equipo: D-1160 Manual
 Peso específico: 1.0131gr/ml
 Carga = (200 ml) (1.0131 gr/ml) = 202.62 gr.

error = (Set-point-lectura)
 error mínimo = 1.0 - 1.0 = 0
 error máximo = 1.0 - 2.4 = -1.4
 desviación ó
 error máximo a 2.4 mmHg = -1.4

Tabla 1. Resultados obtenidos de la destilación en forma manual ASTM D-1160.

| Hora H:M:S | Destilado | | Temperatura | | | Presión | % |
|---------------|-----------|------|-------------|-----|--------|---------|--------|
| | %Vol | ml | T1 | T2 | AET | mmHg | Variac |
| 10:20 | 0 | 0 | 110 | 244 | 295.6 | 0.99 | 70 |
| 10:24 | 10 | 5 | 168 | 249 | 371.6 | 0.95 | 75 |
| 10:28 | 20 | 10 | 194 | 258 | 402.61 | 0.97 | 75 |
| 10:30 | 20 | 10 | 199 | 264 | 409.36 | 0.98 | 80 |
| 10:34 | 28 | 14 | 214 | 275 | 426.7 | 1.03 | 80 |
| 10:38 | 40 | 20 | 225 | 289 | 441.2 | 0.98 | 85 |
| 10:40 | 60 | 30 | 230 | 314 | 447.6 | 0.98 | 85 |
| 10:44 | 70 | 35 | 238 | 323 | 457.6 | 0.95 | 90 |
| 10:48 | 75 | 37.5 | 246 | 331 | 466.75 | 0.97 | 90 |
| 10:50 | 80 | 40 | 252 | 345 | 474.7 | 0.96 | 95 |
| 10:54 | 80 | 40 | 256 | 347 | 478.49 | 0.98 | 95 |
| 10:58 | 80 | 40 | 265 | 353 | 488.97 | 0.99 | 99 |
| 11:00 | 80 | 40 | 273 | 369 | 496.23 | 1.08 | 99 |
| 11:04 | 84 | 42 | 275 | 375 | 496.52 | 1.17 | 100 |
| 11:08 | 90 | 45 | 277 | 395 | 500.24 | 1.11 | 100 |
| 11:08 | 94 | 47 | 280 | 400 | 504.01 | 1.10 | 100 |

Nombre de la muestra: II-12 Balance Patín J
 Equipo: Sistema de Control D-1160
 Peso específico: 1.0080 gr/ml
 Carga = (200 ml) (1.0080 gr/ml)

error = (Set-point-lectura)
 error mínimo = 1.0 - 0.95 = 0.05
 error máximo = 1.0 - 1.17 = -0.17
 desviación ó
 error máximo a 2.4 mmHg = -1.4

Tabla 2. Resultados obtenidos de la destilación con el sistema de control digital

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez finalizado el diseño del hardware y software del sistema de control, se realizaron varias pruebas de funcionamiento, y se compararon los resultados obtenidos con los del proceso manual ASTM D-1160; estos últimos se muestran en la **Tabla 1**, mientras que los resultados obtenidos con el sistema propuesto se muestran en la **Tabla 2**.

De forma semejante, en la **figura 7** se encuentran las curvas de destilación correspondientes a ambos métodos.

CONCLUSIONES

Al terminar las pruebas y comprobar el funcionamiento del equipo se llegó a las siguientes conclusiones:

- a) El uso de dispositivos multifuncionales (microcontroladores) simplifica el diseño de hardware al reunir en un solo circuito diversos dispositivos periféricos, tales como

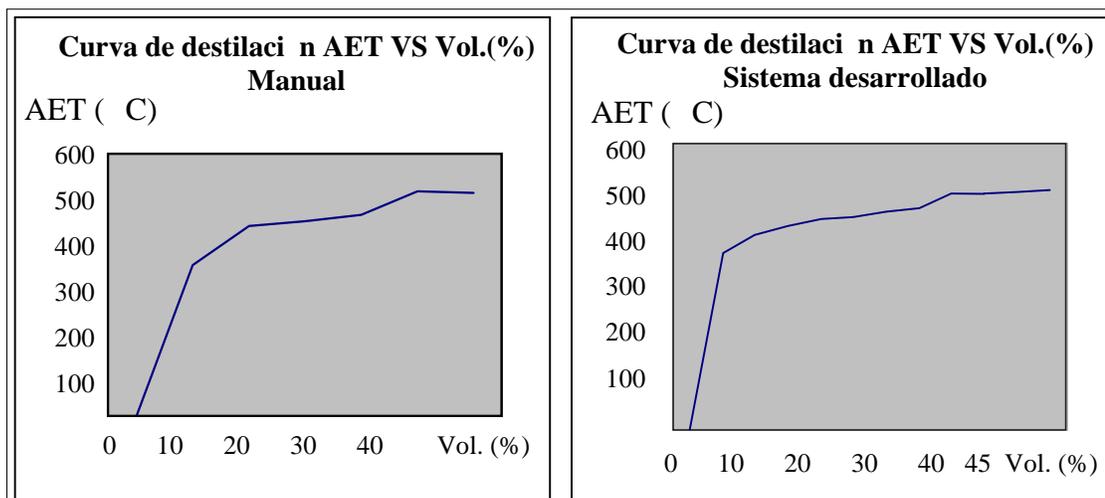


Figura 7. Curvas de destilación obtenidas con el Sistema Manual y con el Sistema de Control Digital propuesto.

convertidores analógico-digital (ADC) de 10 bits, puertos de comunicación, etc.

- b) Al contar con memoria no volátil de tipo FLASH-EEPROM, los ADC del microcontrolador permiten la depuración y pruebas de forma rápida y económica.
- c) La utilización de tecnologías digitales, la programación estructurada (Visual Basic), y las herramientas como el control difuso, permiten resolver problemas de control en tiempo real, de manera simple y económica.
- d) Finalmente, los resultados obtenidos son satisfactorios, por lo que el sistema cumple con los requerimientos para el control de este tipo de procesos industriales (destilación).

REFERENCIAS

- [1] Molina Maria Salud. *"Implementación de una columna de destilación para la valoración de aceites crudos de acuerdo al Método ASTM D-2892"*, IPN-ESIQUE.
- [2] *"Method ASTM D-1160-99"*, American Society for Testing and Materials. 1999.
- [3] Morales Sánchez Armando. *"Diseño y Construcción de un Controlador Difuso de temperatura para el reactor de una planta piloto de Hidrotratamiento"*, IPN-CIC 2000.
- [4] Romeo Urbietta Parrazales. *"Implementación de un Control Neuro-Fuzzy aplicado a un motor de C.D. de 1/8 H.P."*, Polibits, Año VII, Vol. I No. 16.
- [5] Partida Tapia Miguel Ángel. *"La lógica difusa como medio de Control Optimizado en sistemas de disco compacto"*, Polibits, Año VII, Vol. I. No. 16.
- [6] Partida Tapia Miguel Ángel. *"Comparación de los sistemas convencionales de control y los sistemas difusos"*, Polibits, Año VII, Vol. I. No. 16.
- [7] Ana Celia Campos y Elsa Rubio. *"Apuntes de Control Inteligente"*, CIC IPN. Enero-junio 1999.
- [8] Romeo Urbietta P., Morales Sánchez A. *"Implementación de Control Inteligente usando un Microcontrolador Fuzzy"*. Informe Técnico serie roja No. 59 CIC IPN. Julio 1999.
- [9] Francisco Javier Cevallos. *"Enciclopedia de Visual Basic 6.0"*, Ed. Alfa-omega 2000.
- [10] Cuenca Martín Eugenio & Angulo Usategui José Ma. *"Microcontroladores PIC. La solución en un chip"*, Ed. Paraninfo.
- [11] www.Microchip.com Microcontroller data sheets 2001.