

SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA TORRE DE DESTILACIÓN FRACCIONADA

Sebastián José Marengo - Legajo: 5548, Dpto. Ingeniería Electrónica - FRVM

Memoria Descriptiva

El trabajo desarrollado consistió en la implementación de un Sistema de Control automático para una "Torre de Destilación Fraccionada", esta se encuentra en la Planta Piloto de la *Facultad Regional Villa María Universidad Tecnológica Nacional* la cual se encuentra a cargo del Departamento de Ingeniería Química.

Descripción

Para dicha implementación se debió observar detenidamente como los operarios ponían en funcionamiento la columna de destilación, como conclusión se pudo determinar que el proceso de destilación se puede dividir en dos partes:

- Puesta en Marcha
- Operación en Régimen

La puesta en marcha consiste en llenar de agua el re hervidor (re boiler, ver Fig. 1) hasta una medida determinada, luego encender la resistencias calefactoras, una vez que la cabeza de la torre llega a una temperatura determinada se puede ingresar la solución a destilar (agua-etanol comúnmente) la misma puede ser suministrada por 3 vías diferentes dependiendo de la calidad de producto destilado que queremos obtener y energía que queremos consumir en dicho proceso.

Lograr hacer entrar en régimen la columna de la forma en que estaba siendo operada anteriormente era algo engorroso ya que operario tenía que estar controlando en forma continua la temperatura de la parte superior de la torre y en caso que la temperatura varíe, se trata de contrarrestar esta variación en forma manual mediante el accionamiento de un potenciómetro entregando más o menos potencia según lo requiera el sistema, como así también tenía que estar observando continuamente el nivel de líquido de la torre para que esta no se inunde, por lo cual esto fue solucionado con un sensor de nivel que llegado a un determinado nivel este abre una válvula en forma manual y se le retira líquido de la parte inferior. Cabe destacar que el reflujo también fue automatizado, esto consiste en tomar parte del destilado e ingresarlo nuevamente a la columna, esto se hace para conseguir una mejor calidad del destilado.

Diseño

Lo que se hizo fue realizar un *Controlador PID de Temperatura* aplicado a las resistencias ubicadas en el re-hervidor tomando la temperatura de cabeza como variable de control, la cual es seteada en forma manual antes de poner en marcha el sistema, lo mismo va a suceder con el *nivel de alimentación* y la *relación de reflujo* que deberán configurarse antes de ser puesta en marcha la torre de destilación.

Cabe destacar que sistema cuenta con una alarma de nivel de líquido, que en caso de activarse por nivel alto corta la entrada de alimentación y activará la válvula de salida hasta que el nivel del agua llegue a un punto deseado, abriendo nuevamente la

alimentación de la torre. Igualmente al llegar al nivel alto se enciende una luz en el panel de control junto con una alarma sonora, esta alarma es de gran utilidad en caso que falle la válvula de salida. Todo este sistema es comandado por un microcontrolador 18F4550 de Microchip.

Nociones Básicas

Parámetros a Controlar

- Potencia suministrada a las Resistencias calefactores del Re-hervidor (0 - 6000 W) mediante un controlador PID, tomando como variable de control la Temperatura Superior.
- Relación de Reflujo (Tiempo donde se refluja o se destila "R/D").
- Nivel de Líquido dentro del Re-hervidor.
- Nivel de Alimentación (A, B o C).

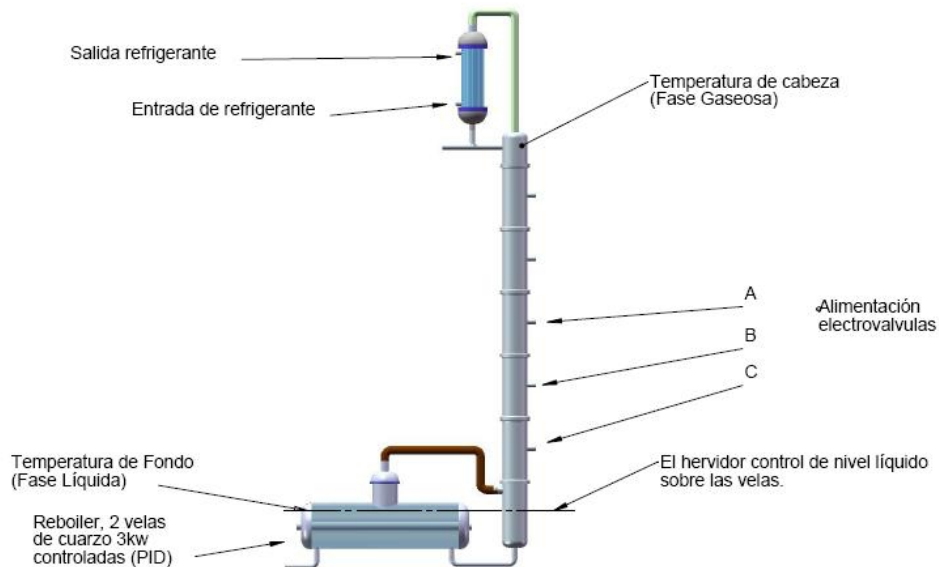
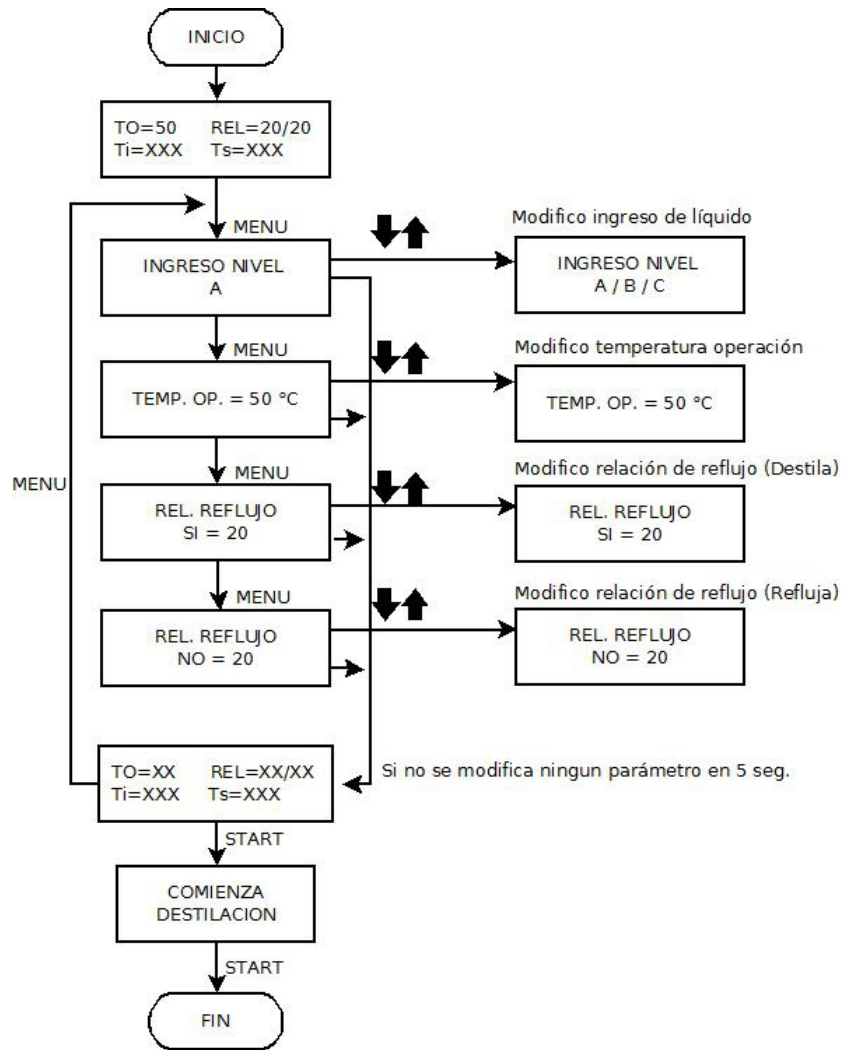


Fig. 1: Esquema de Torre de Destilación Fraccionada

Para lograr una mayor comprensión de cómo programar el equipo se expresa en forma de diagrama de flujo, cabe destacar que los cuadros representan la pantalla LCD y tanto MENU como las flechas los botones de configuración:



Tablero de Comando

- Encendido y Apagado.
- Relación de Reflujo (mostrada en LCD).
- Lecturas de Temperaturas (mostradas en LCD).
- Alarma de nivel de líquido (puede ser sonora y/o lumínica).
- Nivel de Ingreso de alimentación (mostrada en LCD).

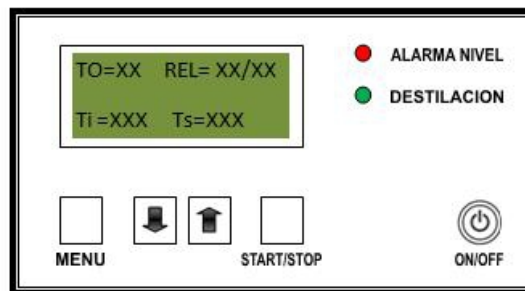


Fig. 2: Panel de Control

Valores ajustados por el usuario

- Temperaturas Operación (TO) la cual va a determinar la potencia aplicada a las resistencias.
- Valor de Reflujo, configurando los segundos de destilación y reflujo.
- Nivel de Alimentación, se elige entre tres servo válvulas (A, B o C).

Controlador PID

Es interesante señalar que más de la mitad de los controladores industriales que se usan hoy en día utilizan esquemas de control PID y si bien estos son analógicos, en la actualidad, muchos de estos se transforman en digitales mediante el uso de procesadores, en este nuestro caso un PIC 18F4450 de Microchip.

Se puede indicar que un controlador PID responde a la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1.0)$$

Donde $e(t)$ es el error y $u(t)$ es la entrada de control de proceso, K_p es la ganancia proporcional, T_i es la constante de tiempo integral y T_d es la constante de tiempo derivativa.

En el dominio de la frecuencia, el controlador PID se puede escribir como:

$$U(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right] E(s) \quad (1.1)$$

La obtención de los parámetros K_p , T_i y T_d puede resultar muy engorroso y difícil de ajustar, por lo tanto utilizamos un método práctico para sintonizar nuestro lazo de control PID.

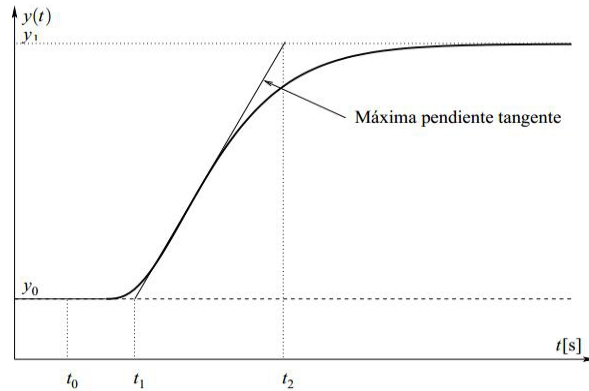
Sintonización de Controlador Mediante Ziegler-Nichols

Para realizar la modelación de este Sistema de Temperatura fue utilizado el "Método de Curva de Reacción de Ziegler-Nichols", este método se resume a ensayar al sistema a lazo abierto con un escalón unitario, a partir de este se calculan algunos parámetros, como la máxima pendiente de la curva y el retardo, y con ellos establecemos las ganancias del controlador PID.

En lazo abierto, muchos procesos pueden definirse según la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = \frac{K_o * e^{-s t_o}}{(1 + s y_o)} \quad (1.2)$$

Donde los coeficientes K_o , t_o y y_o se obtienen de la respuesta del sistema en lazo abierto a una entrada escalón. Se parte del sistema estabilizado en $y(t) = y_0$ para $u(t) = u_0$; se aplica una entrada escalón de u_0 a u_1 (el salto debe estar entre un 10 y un 20% del valor nominal, en nuestro caso utilizamos 40 Volt) y se registra la respuesta de la salida hasta que se estabilice en el nuestro punto de operación.



Respuesta de salida a una entrada escalón

A partir de esta curva se pueden los siguientes parámetros:

$$\tau_o = t_1 + t_0 \quad \gamma_o = t_2 + t_1 \quad K_0 = \frac{y_1 + y_0}{u_1 - u_0}$$

Según Ziegler/Nichols, las relaciones de estos coeficientes con los parámetros del controlador son:

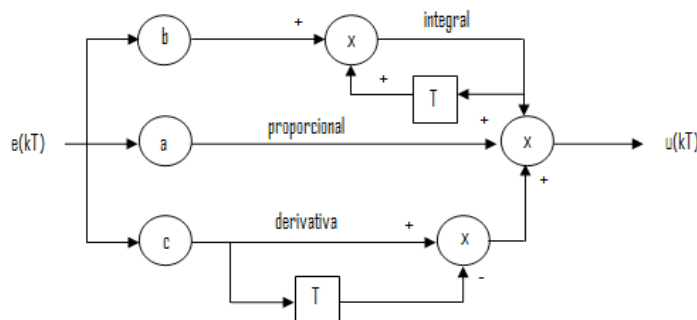
$$K_p = \frac{1,2 * \gamma_o}{K_0 * \tau_o} \quad T_i = 2 * \tau_o \quad T_d = 0,5 * \tau_o$$

El paso siguiente es discretizar nuestro controlador, para lo cual utilizamos la Transformada Z aplicada a la formula (1.1):

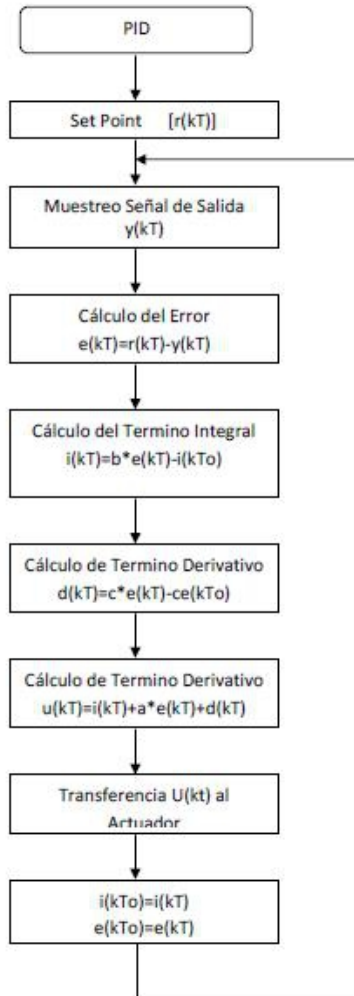
$$U(z) = E(z) K_p \left[1 + \frac{T}{T_i (1 - z^{-1})} + T_d \frac{(1 - z^{-1})}{T} \right] \quad \text{y} \quad \frac{U(z)}{E(z)} = a + \frac{b}{1 - z^{-1}} + c(1 - z^{-1})$$

donde: $a = K_p$ $b = \frac{K_p * T}{T_i}$ $c = \frac{K_p * T_d}{T}$

existen distintas posibilidades de la realización práctica de un controlador PID; una de las más habituales es la realización en paralelo, la cual utilice para el desarrollo del mismo y se detalla en el siguiente gráfico.



El algoritmo utilizado para programar el PIC, el muestreo(T) debe ser mayor al tiempo de establecimiento del sistema en lazo abierto. $T < \tau_0/4$



Bibliografía

- [1] Beijo, Eduardo, *Compilador C y Simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC*, Primera Edición 2008, Alfaomega.
- [2] PIC 18F4550 Data Sheet, Microchip.
- [3] DS 18d20 Data Sheet, Dallas Inc.
- [4] Manual de Usuario de Compilador PCW de CCS.
- [5] Katsuhiko Ogata, *Ingeniería de Control Moderna*, Tercera Edición 1998. Prentice Hall.
- [6] Benjamín C. Kuo, *Sistemas de Control Automáticos*, Séptima Edición 1994. Prentice Hall.
- [7] Norman Nise, *Ingeniería de Sistema de Control*, Cuarta Edición. 2004. Editorial Willey.
- [8] Apunte de Cátedra Electrónica de Potencia, Ing. Ramos C. Oros. 2007.
- [9] Ramón Pallás Areny, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, Cuarta Edición 2005. Editorial Marcombo.
- [10] Manual de Usuario de Proteus.