

MAQUETA DE REGULACION TERMICA

D.Javier Ortiz Alvarez-Cienfuegos, D.Iñigo Oleagordia Aguirre

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Bilbao. jtporalj@lg.ehu.es

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Bilbao. jtpolagi@lg.ehu.es

RESUMEN

El diseño de la maqueta se basa en el aprovechamiento de los componentes principales de los aparatos secadores de pelo: la resistencia calentadora, el motor ventilador y la carcasa. En un extremo de esta se le acopla un tubo en cuyo interior se aloja un sensor térmico. Adicionalmente se le puede incorporar una tapa en el extremo del tubo, accionada y controlada mediante motor paso a paso.

La utilidad de esta maqueta es didáctica pues ofrece enormes posibilidades en cuanto a desarrollar ejercicios y aplicaciones de complejidad dispar en el área de la regulación electrónica. Las aplicaciones que se podrán desarrollar con ella abarcan desde un simple control ON-OFF, control PID convencional o cualquiera de las múltiples técnicas de control avanzado.

La maqueta se podrá controlar con cualquier dispositivo programable como PLC Industrial, microcontrolador o DSP, PC + tarjeta de adquisición de datos. Se trata en definitiva de un equipo para ensayos de algoritmos de regulación de diseño sencillo, original y bajo coste.

1. INTRODUCCIÓN Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

El control de la resistencia térmica y del ventilador va a originar una corriente de aire caliente en el interior del tubo de salida, donde se encuentra la sonda térmica de medida de la temperatura.

La velocidad y temperatura del flujo de aire van a determinar no solamente la temperatura en el interior del tubo (característica Estática) sino como va a variar (característica Dinámica) ante una demanda de calentamiento o enfriamiento.

Supongamos que en un instante cualquiera el motor del ventilador gira a 200 rpm, tenemos una temperatura de 40° y queremos pasar a 80°, manteniendo constante la velocidad del motor. Una buena regulación es aquella que hace el cambio de temperatura con rapidez y precisión. Ejecutando en el programa de control un algoritmo básico PID que utilizase unos coeficientes previamente ajustados por tanteo se puede lograr un resultado satisfactorio.

Si ahora repitiésemos la operación de pasar de 40° a 70° pero con el ventilador girando a 400 rpm. la respuesta del sistema cambiaría (el calentamiento sería mas rápido en el instante inicial pero más amortiguado posteriormente como consecuencia del efecto enfriador del aire a temperatura ambiente renovado por el ventilador) y los coeficientes ajustados para el caso anterior ya no darían un resultado satisfactorio.

Adicionalmente si en una tercera repetición se pusiese frente el tubo de salida un cierre no hermético, bien manualmente o mediante control motorizado, la respuesta del sistema sería más rápida y fuertemente integradora al restringir la circulación del caudal con la mezcla de aire calentado y aire fresco renovador.

No son estos citados los únicos casos que pueden originar la desintonización de los parámetros del regulador, otros factores ajenos a la buena práctica de los técnicos en

regulación como los niveles de temperaturas existentes en el momento de producirse la variación de la consigna (sistemas no lineales) , la aparición de perturbaciones externas coincidentes en el tiempo con la fase de corrección de un error en la variable realimentada, demuestran la susceptibilidad de los sistemas que para su correcta regulación requieren de una dinámica ágil y precisa. Estas razones llevan a que los expertos en control desarrollen técnicas de control que puedan hacer frente a estos efectos indeseados.

La ventaja de esta maqueta consiste en que se puede variar en cualquier momento el modelo matemático de la planta . Esto hace que la técnica de control clásico PID no sea la más adecuada y que haya que recurrir a otras técnicas de control avanzadas .

En nuestro caso , nuestro primer objetivo con esta herramienta es la de ofrecer la posibilidad de experimentar para comprender el fenómeno de la regulación y posteriormente abordar la solución con las técnicas avanzadas de control. Los autores de este documento no disponen del conocimiento teórico necesario de las técnicas de control avanzado por eso se ha optado en principio por acudir a una técnica de control basada en la experimentación, en el análisis de las respuestas y en la capacidad de corregir y ajustar los coeficientes PID una vez evaluada la respuesta al escalón de la variable realimentada. Se trata, en resumen de un control basado en el PID convencional al que se le superpone un nivel superior de fácil implementación y bajo gasto en recursos de computación que puede resultar una solución adecuada en algunos procesos industriales.

2. DESCRIPCION DE LA MAQUETA

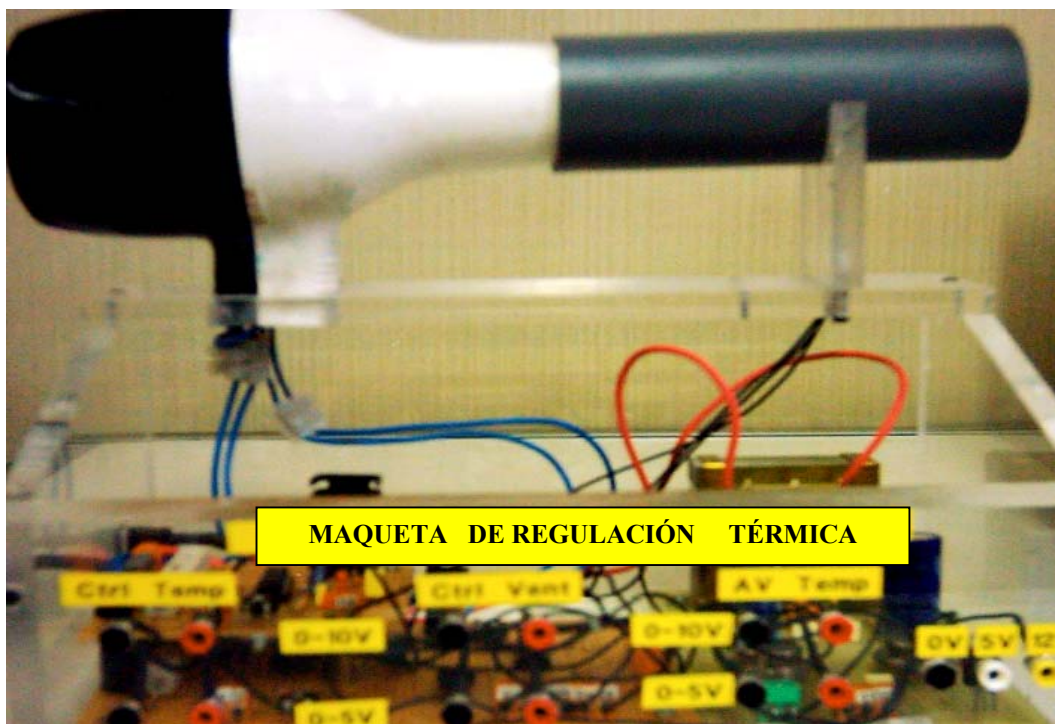


Fig.1 Reproducción fotográfica del prototipo desarrollado

Soporte Constructivo :

Carcasa del motor ventilador acortada por su asidero y encastrada sobre las placas de metacrilato.

Hardware :

- . Tarjetas para la etapa de interface a la resistencia térmica y el motor del ventilador basadas en el integrado TCA785 (controlador del ángulo de disparo). Sensor LM35 para medida de la temperatura.
- . Fuente de Alimentación con ± 12 V. y 5 V. (La colocación del transformador próxima a la unidad de captación de temperatura al igual que la proximidad del motor eléctrico produce una importante emisión electromagnética lo que constituye un plus de dificultad al control)
- . Opcionalmente filtro activo pasabajos a la salida del sensor LM35
- . Posibilidad de trabajar con niveles de las entradas / salidas analógicas entre 0:5V. y 0:10V.
- . Opcionalmente tarjeta driver de motor paso a paso para accionamiento apertura / cierre de la compuerta en la salida del tubo.
- . Rapidez en los tiempos de subida con rangos entre los 5:15 segundos.

3. CARACTERÍSTICAS DEL INTERFACE DE USUARIO PARA CONTROL Y MONITORIZACIÓN

Junto a la maqueta se ha desarrollado un software para interface gráfico de usuario con las utilidades siguientes :

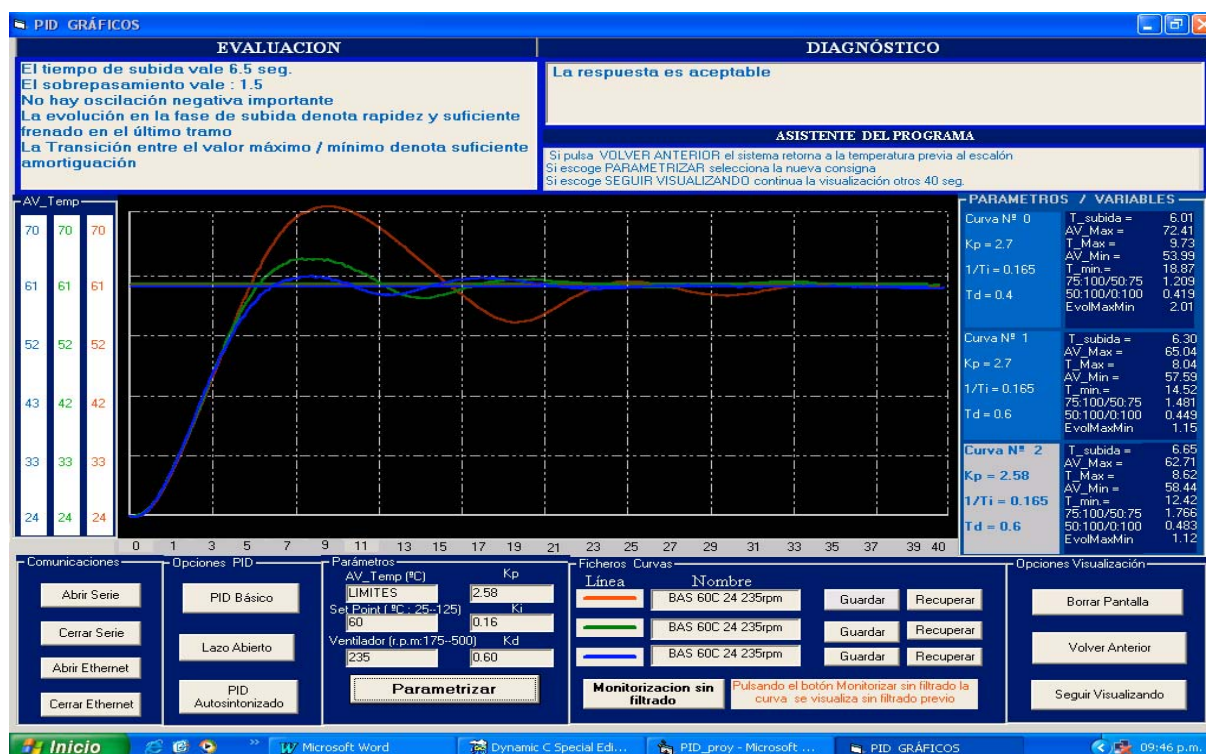


Fig 2 Pantalla principal del Interface de Usuario. En la imagen se representan tres respuestas a un escalón en la consigna de 24 a 60°C para una misma velocidad del ventilador y diferentes series de coeficientes Kp, Ki y Kd. La respuesta se ha mejorado paulatinamente en cada ensayo.

- . Generación ON-LINE de consignas de la resistencia y ventilador así como de los coeficientes proporcional, integrador y derivativo. Esta característica permite generar una nueva consigna en el momento que se desee, incluso sin necesidad de esperar a que la respuesta se haya estabilizado, todo ello con el objetivo de evitar esperas tediosas.
- . Visualización de tres curvas de respuesta de temperatura simultáneamente permitiendo el análisis comparativo de las mismas
- . Autoescalamiento de la gráfica para referenciar cada respuesta a la temperatura desde la que se produce el salto de consigna haciendo posible la comparación entre saltos a diferentes niveles de temperatura. Es decir se puede hacer un escalón de 30 a 60°C y a continuación uno de 60 a 90°C y referenciar cada respuesta a la temperatura en la que se inicia el escalón.
- . Presentación automática de los resultados de una serie de variables para la caracterización y evaluación de la respuesta obtenida, una vez ésta se ha estabilizado.
- . Presentación de una valoración y un diagnóstico con las recomendaciones para obtener una respuesta más óptima.
- . Opción de monitorizar respuesta en lazo abierto y verificar las diferentes respuestas del sistema para diferentes velocidades del ventilador.
- . Opción de que el propio controlador genere para cada par de consignas de temperatura y de revoluciones del motor sintonice de modo automático los coeficientes. Se muestran sucesivas repeticiones en las que se verifica la mejora de la respuesta.
- . Almacenamiento opcional de las curvas en ficheros del disco duro
- . Comando para control de la posición de la compuerta de salida del tubo secador.

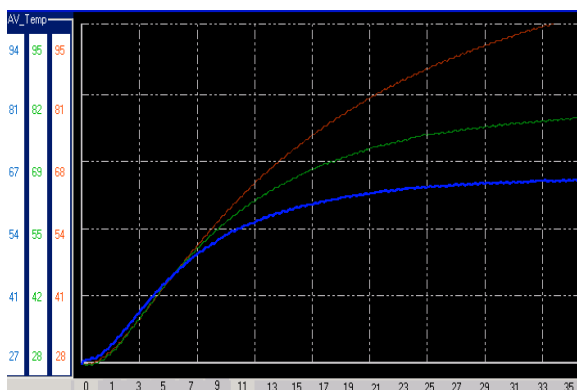


Fig. 3 Tres respuestas del sistema a un mismo escalon de consigna de 28 a 60°C en lazo abierto para 250 (superior) ,450(medio) y 700 (inferior) rpm del ventilador.

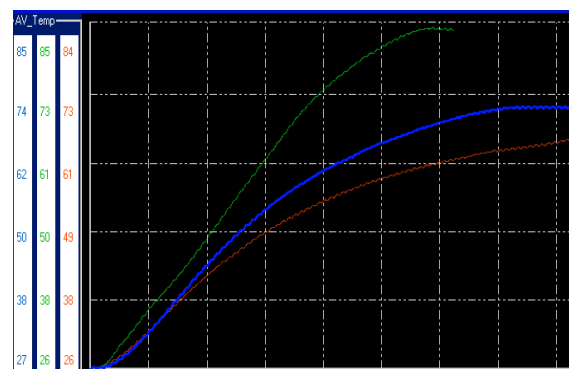


Fig. 4 Tres respuestas del sistema a un mismo escalon de consigna de 28 a 50°C en lazo abierto para 250 rpm con el tubo salida abierto(inferior) ,parcialmente cerrado (medio) y casi cerrado (superior).

La programación se ha hecho utilizando Visual Basic y la razón principal es que se considera un lenguaje que requiere menos tiempo de entrenamiento para obtener una funcionalidad adecuada. Por lo demás los objetos de control a los que se le exigía un rendimiento mayor tales como el control que permite la comunicación serie, el de la comunicación TCP-IP, el que genera el interface a las bases de datos o los que proporcionan herramientas de dibujo para la visualización funcionaron desde el principio dentro de los parámetros exigibles por la aplicación.

En cuanto a la confección del programa, este se ha estructurado en base a un formulario principal desde el que se envían los comandos al sistema microcontrolador y se monitorizan las respuestas del mismo. Así mismo junto a la programación orientada a eventos se ha añadido un módulo con código que desarrolla un esquema de máquina de estados para garantizar la correcta interpretación tanto de comandos enviados como de las respuestas recibidas.

4. PROGRAMA DE CONTROL EN EL MICROCONTROLADOR

Para el correcto control del sistema es necesario realizar un programa que ha de ejecutarse en un sistema basado en microcontrolador a escoger dependiendo del tamaño del programa y del tiempo de ciclo que se desee. En el caso de la aplicación inicialmente desarrollada se ha optado por sistema basado en microcontrolador de 8 Bits (RCM3400 del fabricante Rabbit Semiconductor) en un sistema con 512 K de Flash y 512 K de Ram , 8 canales ADC , 4 Canales DAC (AD7304) ,conectividad serie asíncrona y síncrona , RS-485, Ethernet etc... El tiempo de actualización del bucle de control se ha establecido en 10 ms.

Las funcionalidades mínimas que debe permitir el programa se resumen en los siguientes apartados :

- . Comunicación con el PC (RS-232 o ETHERNET)
- . Interpretación de comandos
- . Lectura del ADC, filtrado digital y conversión de la señal realimentada
- . Generación del autómata de estados para determinar la fase de la respuesta
- . Algoritmo de control PID básico
- . Reglas de control avanzado para reajustar los parámetros PID
- . Conversión y escritura de las señales de control al DAC
- . Formateo y transmisión de las variables a monitorizar al PC

El programa está escrito en lenguaje C y consta de varios bloques enlazados entre sí. En cada uno de estos bloques se realiza una de las tareas mencionadas más arriba. Por lo que pueda suponer de aportación describiremos como se ha hecho la regulación avanzada que se basa en establecer unas reglas aplicadas a una serie de variables caracterizadoras de la respuesta del sistema a un escalón en la consigna. Como resultado de estas reglas se hacen las correcciones de la señal de control y una vez estabilizada la respuesta de los coeficientes K_p , K_i y K_d .

El modo de demostración que se implementa consiste en que se comanda una solicitud o consigna desde el PC para una temperatura y velocidad del ventilador . El controlador adopta inicialmente como parámetros de la regulación PID los últimos coeficientes calculados y se inicia el escalón. Durante la respuesta al mismo se recogen los datos para caracterizar la respuesta y dinámicamente se corrige el valor de salida del regulador cuando se detecte una respuesta excesivamente impulsiva o amortiguada. Una vez estabilizada la respuesta (por defecto se espera 40 segundos) se hace la corrección de los coeficientes PID y se retorna a la temperatura desde la que se realizó el escalón para hacer un segundo ensayo con los nuevos coeficientes corregidos. De este modo se permite verificar la validez de la corrección.

Se han adoptado como variables caracterizadoras de la señal de respuesta al escalón de consigna del control realimentado las citadas a continuación en el orden en que se van calculando:

- . Valor de la componente Derivativa en el instante de corrección 25%

- . Valor de la componente Derivativa en el instante de corrección 50%
- . Ratio entre tiempos de tramo de corrección del 25 al 50 % y del 50 al 75%
- . Ratio entre tiempos de tramo de corrección del 50 al 75% y del 75 al 100%
- . Tiempo de 1º paso por erro cero o corrección 100%
- . Valor máximo
- . Tiempo de paso por el punto anterior
- . Valor mínimo
- . Tiempo de paso por el punto anterior
- . Ratio o pendiente entre los puntos máximo y mínimo

Las 4 primeras variables se utilizan para hacer una corrección dinámica directamente en la salida del regulador cuando se detecte amortiguamiento excesivo en la respuesta o por el contrario falta de amortiguamiento y exceso de impulsividad. Dado que en los dos primeras variables se está analizando la evolución de la componente derivativa para evaluar la rapidez de la corrección, se apuesta por ponderar el coeficiente derivativo T_d con un valor suficientemente alto para que sea más sensitiva la detección. La corrección dinámica del regulador se lleva a cabo en 4 puntos de la corrección : el 25% , el 50% ,el 75 % y el 100% . Las variables restantes sirven para representar el resultado de la respuesta. Al alcanzar el estado de estabilidad se procede a repasar las reglas que se han establecido para actualizar los coeficientes K_p , K_i y K_d . Simultáneamente la lógica de estados hace un seguimiento de las fases de la respuesta durante dos ensayos sucesivos para verificar si la corrección ha tenido el efecto deseado y proceder en consecuencia.

Como es de esperar la validez del diseño del control está relacionado con el acierto en la formulación de las reglas ,de cómo afecta a éstas la corrección dinámica hecha previamente en la subida y a su vez , en sentido inverso , como afectan los resultados obtenidos tras la aplicación de las reglas a los coeficientes impuestos a los correctores dinámicos. En el momento de redactar esta comunicación continúan los ensayos y no se ha alcanzado un modelo definitivo .

5. DESARROLLO DE APLICACIONES DIDÁCTICAS CON LA MAQUETA

Como ya se ha dicho en esta comunicación se expone la realización de un prototipo acompañada de un ejemplo de aplicación para demostrar las capacidades de la misma. A día de hoy ya se ha llevado al aula, con más de 80 alumnos y con la ayuda de un proyector la experiencia que supone hacer una exposición real de lo que significa la regulación y las dificultades que conlleva ha sido muy favorable. Naturalmente uana exposición de este tipo se puede hacer mediante simulación con los programas informáticos al uso, pero el impacto de estar viendo funcionar una máquina repercute favorablemente en el interés y la atención del oyente. Además una y otra herramienta no son excluyentes sino todo lo contrario.

En cuanto a su utilidad en proyectos de fin de carrera y tesis doctorales, la posibilidad de control de los tres dispositivos, la resistencia térmica, el motor del ventilador y la compuerta de salida del aire dotan al sistema de la versatilidad y complejidad como para ofrecer la suficiente entidad al proyecto que tenga como objetivo acometer la regulación del sistema.

Finalmente a modo de propuesta o sugerencia se enumeran algunas posibles aplicaciones a desarrollar :

- . Realizar el modelo físico matemático. Testarlo con el real. Implementar diversos métodos de control avanzados basados en el modelo matemático .
- . Realizar análisis de identificación de sistemas.
- . Análisis comparativo entre los resultados obtenidos con una herramienta matemática de simulación como pueden ser los módulos simulink de Matlab y los obtenidos con la maqueta .
- . Reemplazar el esquema de control SISO (simple input simple output) a uno SIMO (simple input multiple output) y utilizar el control sobre los tres actuadores físicos para ejercer el control de la temperatura.
- . Tutorial con propuestas de ejercicios

6. BIBLIOGRAFÍA

Aunque no han sido referenciados cabe citar algunos de los documentos que han servido de apoyo a la hora de hacer el trabajo.

Fco. Javier Ceballos *Enciclopedia de Visual Basic*
Herbert Schildt *Programación en lenguaje C*
Rabbit Semiconductors *RCM3400 Evaluation Board Manuals*
Siemens *TCA785 Data Sheet*
Remedios Caseros *Control and Numeric Computing*