



Proyecto de control electrónico de temperatura

Karla García Vargas, José Martín Mendoza Núñez, Departamento de Ingeniería Química,
Universidad de Guanajuato. Col. Noria Alta S/N. Guanajuato, Gto. CP 36050 México

Objetivo

Construcción de un circuito que trabaje de forma autónoma, controlando, en un cierto rango numérico la temperatura del agua.

Antecedentes

Breve historia del control de procesos

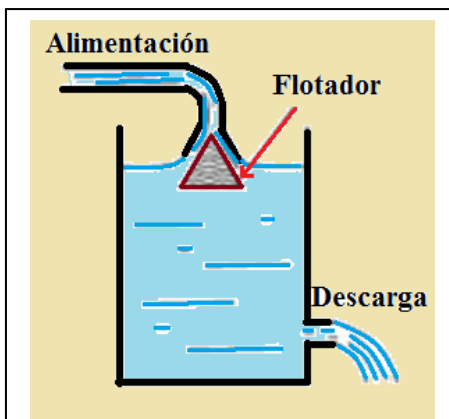


Figura 1. Ejemplo de un control mecánico de nivel de líquido y caudal como se realizaba en la antigüedad.

Los primeros sistemas de control conocidos, ya en la antigüedad, son mecanismos destinados al control del caudal para regular un reloj de agua o el control de nivel de líquido en una lámpara de aceite o en un recipiente de vino, que se mantiene lleno a pesar de los muchos vasos que se sacan. De hecho, el control del caudal de fluido se reduce al control del nivel del fluido, ya que un pequeño orificio producirá caudal constante si la presión es constante. El mecanismo de control de nivel de líquido inventado en la antigüedad y todavía usado para controlar nivel es la válvula flotante, semejante a la del depósito de agua de un inodoro corriente. El flotador está hecho de tal manera que, cuando el nivel baja, el caudal del depósito aumenta y cuando el nivel sube, el caudal disminuye y, si es necesario, se corta (Figura 1).

En este caso el sensor y el actuador están combinados en el mismo dispositivo mecánico, el flotador y la combinación de tubo de alimentación.

Un caso más moderno de control por retroalimentación es el control de temperatura de un horno para calentar una incubadora, sistema que fue diseñado por Drebbel (hacia 1620). El horno constaba de una caja que contenía el fuego, con un tubo en la parte superior provisto de un regulador de tiro (Figura 2). Dentro de la cámara de combustión estaba la incubadora de paredes dobles y el hueco que quedaba entre las paredes se llenaba de agua. El sensor de temperatura era un recipiente de vidrio lleno de alcohol y mercurio colocado en la cámara de agua en torno a la incubadora. A medida que el fuego calentaba la caja y el agua, el alcohol se dilataba y el vástago con flotador se desplazaba hacia arriba, bajando el

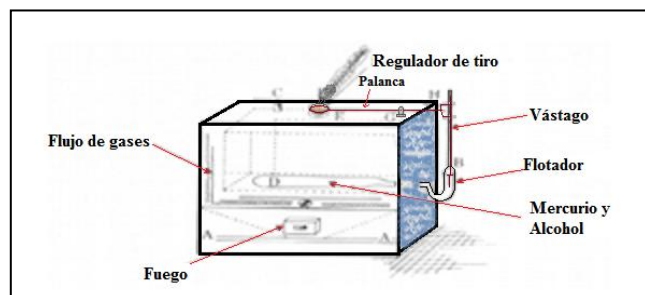


Figura 2 Incubadora de Drebbel al subir el flotador el vástago y la palanca modifican el tiro de gases.



regulador de tiro sobre la boca del tubo. Si la caja está demasiado fría, el alcohol se contrae, el regulador de tiro se abre y el fuego arde más fuertemente. La temperatura deseada está determinada por la longitud del vástago del flotador, que determina la apertura del regulador de tiro para una dilatación determinada de alcohol.

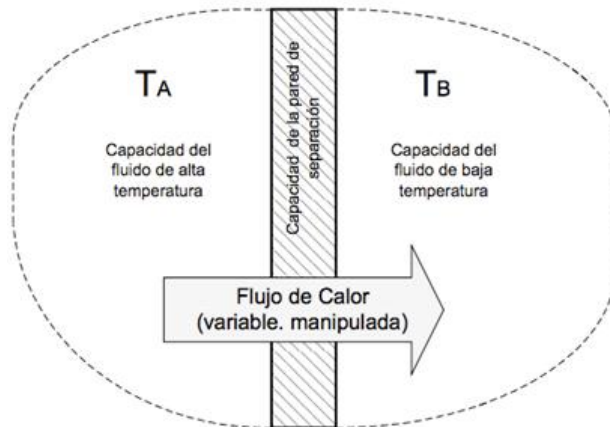


Figura 3. Esquema de un proceso de transferencia de calor a través de una pared.

Introducción

Lazo de control

La variable temperatura es un indicador de la energía acumulada en el sistema y su control se hace generalmente manipulando el flujo de calor gobernado por mecanismos de conducción, convección y/o radiación. El proceso de transferencia de energía entre dos fluidos implica al menos tres capacidades térmicas (sistemas de primer orden) en serie interactuantes (ver Figura 3):

Capacidad de flujo caliente.

Capacidad de pared que separa los flujos.

Capacidad de flujo frío.

El sensor, que se encuentra del lado del fluido cuya temperatura se desea controlar, actúa como otra capacidad. Su constante de tiempo puede ser importante, a pesar que en sí mismo el dispositivo almacene mucha menos energía que las otras capacidades. Usualmente las constantes de tiempo son de tal magnitud que "filtran" las fluctuaciones de alta frecuencia, lo que transforma a la temperatura en una variable virtualmente exenta de ruido. Como la temperatura es una propiedad transportada por el fluido, si el elemento de medición está ubicado en la corriente de salida, hay un retardo distancia-velocidad asociado a la posición en la que se encuentra el sensor y que es variable con el caudal.

La dinámica de la válvula puede despreciarse en estos lazos ya que la constante de tiempo es de un orden de magnitud menor que las asociadas a las capacidades térmicas. La manipulación del flujo de energía se hace manejando el caudal de la corriente (la fría o la caliente) ó el flujo de combustible según la unidad considerada. Como el proceso de transferencia es no lineal, cabe esperar que la ganancia del proceso sea no lineal.

Los transmisores de temperatura son lineales, lo que asegura que su ganancia sea constante. La característica de flujo del elemento final de control debe analizarse para cada situación particular.

En la mayoría de los casos una característica igual porcentaje (o similar) es la mejor opción. Cuando la variable temperatura es controlada es por que se requiere que se



mantenga dentro de un rango muy acotado. Esto hace imprescindible la acción integral en el controlador. Teniendo presente que estos lazos pueden ser relativamente lentos (períodos naturales que pueden llegar a la decena de minutos), que no presentan ruido y que son sistemas multicapacitivos, se espera que la acción derivativa produzca una sustancial mejora de la performance. Estas razones avalan el uso de controladores PID en estos lazos.

Debe recordarse que los lazos de presión de vapores, donde se manipula el flujo de calor, se comportan en manera análoga a los lazos de temperatura como el caso de columnas de destilación y generadores de vapor.

Medición de temperatura

La medición y el control de la temperatura es una parte fundamental de muchas industrias de proceso y de manufactura. Los termopares o termocuplas son los dispositivos más extensamente usados para medir temperatura debido a su robustez y amplia gama de temperaturas. El termopar, que se basa en el efecto descubierto por T. J. Seebeck en 1821, produce un pequeño voltaje (menor a $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$) como función de la temperatura. El voltaje generado es de muy baja potencia, por lo que requiere amplificación. Poseen las ventajas de ser robustos, tener un tiempo de respuesta muy corto y ámbitos de temperatura extensos, pero la operación apropiada requiere el empleo de una unión a una temperatura de referencia, o su equivalente eléctrico, en serie con la unión de medición para polarizar la dirección de flujo corriente y maximizar el voltaje en la unión. Su desventaja principal es que son muy susceptibles al ruido eléctrico.

Un Detector de Temperatura Resistivo (RTD) es un sensor basado en el aumento de la resistencia de un metal con la temperatura. Consiste en un pequeño rollo de cable (cobre, platino o níquel) protegido por una funda de acero inoxidable, que se sumerge en el medio donde se medirá la temperatura y la resistencia del rollo es entonces una medición de temperatura. El ámbito de estos sensores se extiende desde -200°C hasta 600°C . Una de sus desventajas es que la medida de la resistencia requiere del paso de una corriente a través del alambre pudiendo disipar calor al medio y alterando la medición. Otra desventaja es que, excepto en los de platino, la relación entre temperatura-resistencia no es lineal (Creus, 2001; Ibrahim, 2006; Johnson, 1984).

Otros sensores basados en la variación de la resistencia eléctrica con la temperatura son los sensores de temperatura semiconductores, los cuales son llamados termistores para diferenciarlos de otros tipos de sensores resistivos. A diferencia de los metales, los semiconductores presentan una disminución de la resistencia frente a un incremento de la temperatura; esta variación es además varios órdenes de magnitud mayor, lo que los hace bastante más sensibles ante un mismo ámbito de temperatura. Aparte de ser más sensibles, son más pequeños, más económicos, disipan menos calor y tienen un tiempo de respuesta menor que los RTD. La desventaja principal está en que cada termistor requiere su propia calibración, mientras que los RTD metálicos pueden sustituirse por otro de similares características sin requerir recalibración, adicionalmente poseen un ámbito de temperaturas restringido desde los -80°C hasta los 200°C , y una muy alta no-linealidad.



Algunos ejemplos de sensores RTD.

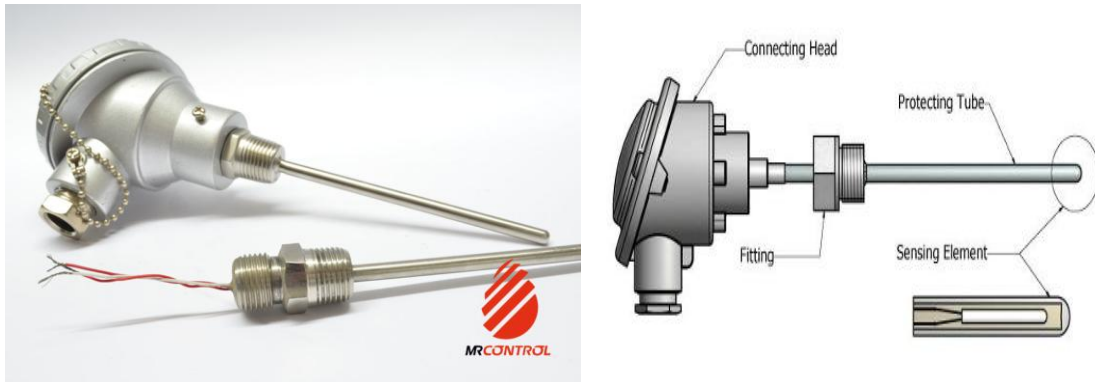


Figura 1.3. Ejemplos de sensores Detector de Temperatura Resistivos.

Para el armado de nuestro circuito utilizaremos un amplificador operacional llamado; como se muestra enseguida.

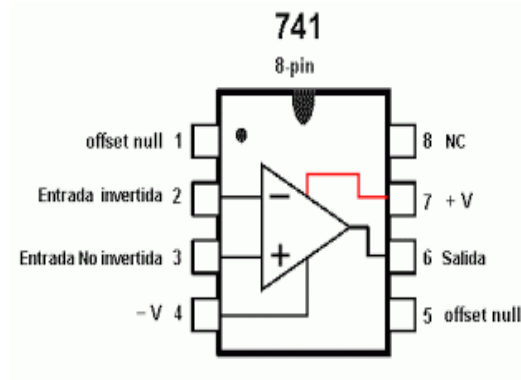


Figura 1.4. Amplificador operacional Lm 741.

EXPERIMENTAL

Para la elaboración del circuito necesitamos lo siguiente:

Reactivos

Agua

Material

1 placa Fenolica perforada de 7.5 x 4.5 cms.

5 Resistencias de 1,000 Ohms Potencia 0.5W.

5 resistencias de 10,000 Ohms Potencia 0.5W.

2 Amplificadores Operaciones LM741 o equivalente.

2 Resistencia Variable (Preset) 10K ohms.



1 Relevador 12 volts 15A.

2 transistores 2N2222 o equivalente.

1 Resistencia pequeña para Calentar agua.

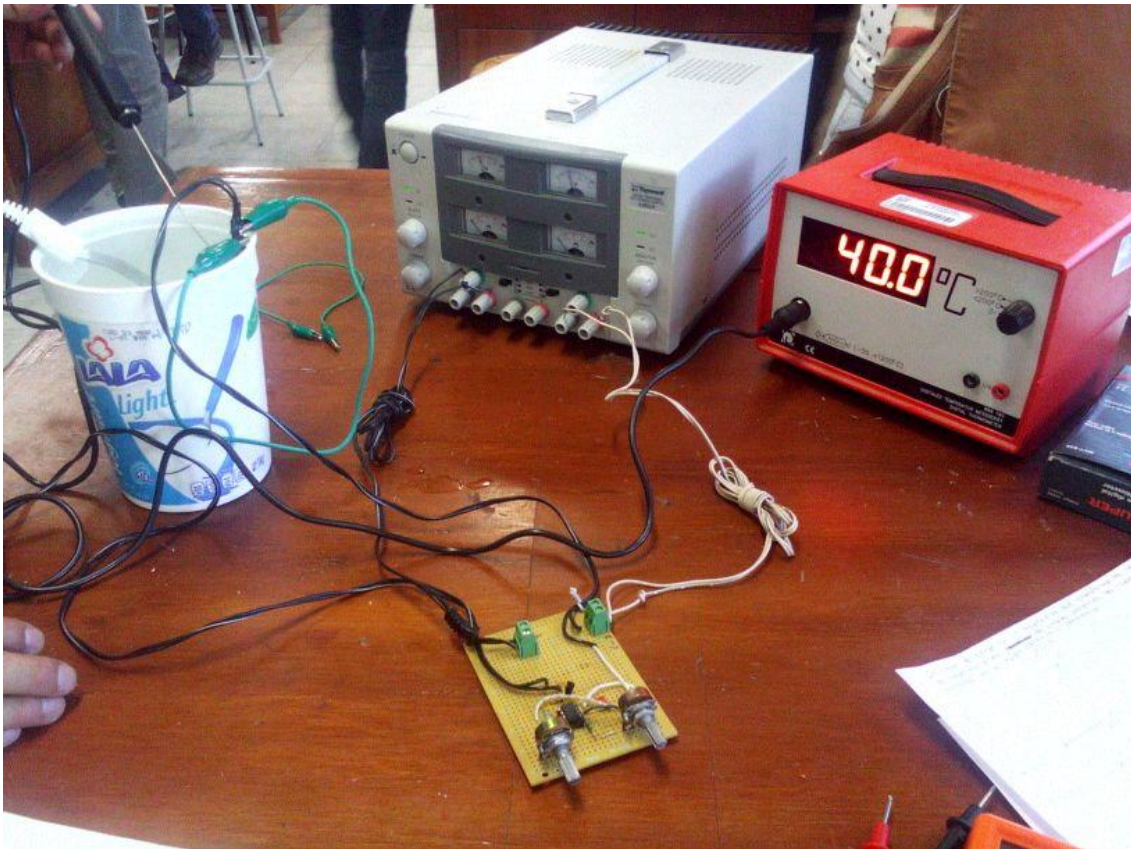
1 Sensor de Temperatura para Pick -Up Nissan 2.4L 1993.

Termómetro digital.

Fuente para voltaje de 12 volts.

Antes de armar el circuito, se realiza una calibración del sensor y reportar cual es la respuesta que nos proporciona en función de la temperatura.

Montaje del circuito



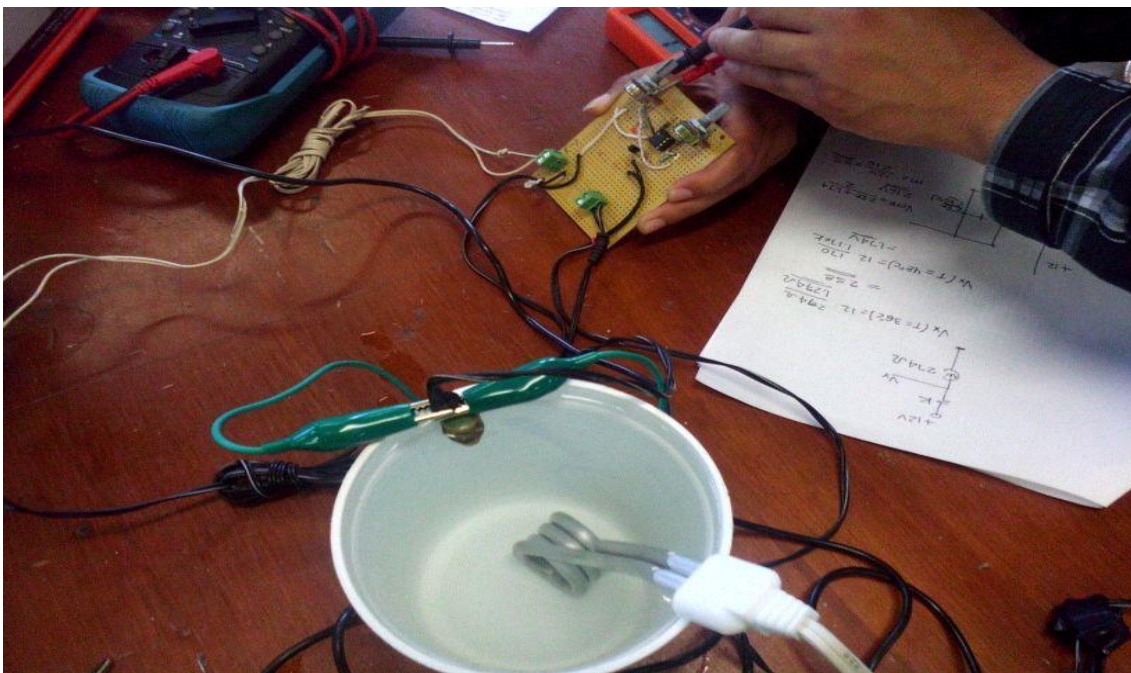
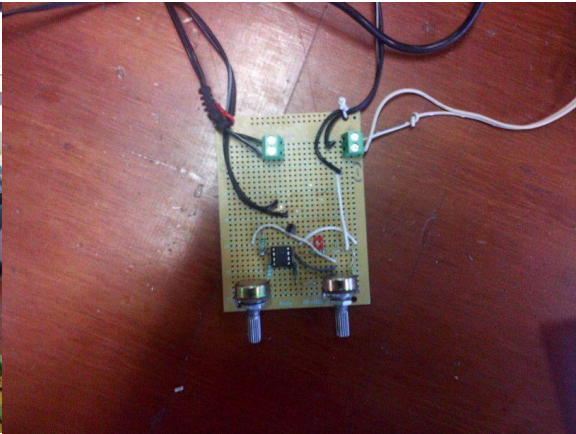
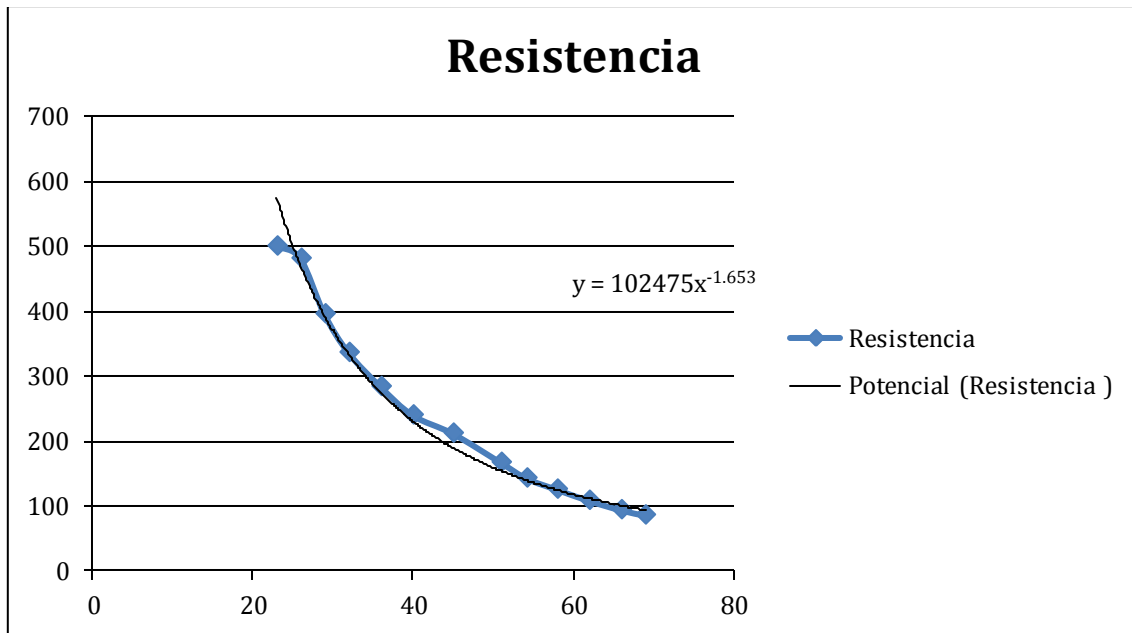




Tabla 1. Rangos de temperatura de 22 a 80 °C con su respectiva resistencia, voltaje

| Valores Ecuacion | | | |
|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|
| Temperatura | Resistencia | Voltaje | m |
| 22 | 618.8611722 | 4.587381669 | 2.615871289 |
| 24 | 535.9555153 | 4.187273733 | 2.865826494 |
| 26 | 469.5339317 | 3.834145683 | 3.12977153 |
| 28 | 415.3992434 | 3.521826752 | 3.407322632 |
| 30 | 370.6265209 | 3.244879756 | 3.698133953 |
| 32 | 333.1233021 | 2.998582066 | 4.001891473 |
| 34 | 301.3583831 | 2.778866025 | 4.31830822 |
| 36 | 274.1889151 | 2.582244236 | 4.647120452 |
| 38 | 250.74694 | 2.405733073 | 4.988084561 |
| 40 | 230.3630189 | 2.246780978 | 5.34097454 |
| 42 | 212.5136595 | 2.103204277 | 5.705579878 |
| 44 | 196.7843936 | 1.97313128 | 6.081703797 |
| 46 | 182.8433759 | 1.854954388 | 6.469161763 |
| 48 | 170.4221977 | 1.747289463 | 6.867780214 |
| 50 | 159.3017365 | 1.64894158 | 7.277395478 |
| 52 | 149.3015787 | 1.558876258 | 7.69785282 |
| 54 | 140.2720171 | 1.476195311 | 8.129005635 |
| 56 | 132.0879252 | 1.400116605 | 8.570714725 |
| 58 | 124.6440218 | 1.329957064 | 9.022847671 |
| 60 | 117.8511732 | 1.265118391 | 9.485278281 |
| 62 | 111.6334802 | 1.205075042 | 9.957886094 |
| 64 | 105.9259652 | 1.149364083 | 10.44055594 |
| 66 | 100.6727197 | 1.097576614 | 10.93317755 |
| 68 | 95.8254118 | 1.049350498 | 11.43564521 |
| 70 | 91.34207367 | 1.004364177 | 11.94785743 |
| 72 | 87.18611187 | 0.962331409 | 12.46971666 |
| 74 | 83.32549346 | 0.922996761 | 13.00112905 |
| 76 | 79.73207359 | 0.88613176 | 13.54200418 |
| 78 | 76.38103672 | 0.851531576 | 14.09225487 |
| 80 | 73.25043001 | 0.819012167 | 14.65179699 |

El valor de m nos representa el valor al cual se debe igual una resistencia variable



Grafica 1. Respuesta del sensor resistivo.

Conclusiones

La operación del circuito fue correcta, controlando la temperatura de en un rango de 26 grados, entres 22°C y 48°C.

De aquí podemos afirmar lo importante que es el control de las variables de proceso en la industria, utilizando circuitos eléctricos (lazos de control), ya que el uso estos lazos te asegura el control total si el riesgo de que se genera algún error humano y sin arriesgar la integridad física de algún operador.

Bibliografía

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, FACULTAD DE INGENIERÍA. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INTERFAZ DE CONTROL DE NIVEL, TEMPERATURA Y FLUJO DE AGUA EN UN TANQUE PARA USO EN PRÁCTICAS DE LABORATORIO.

<http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/537/DocumentoFinal.pdf?sequence=1>.

<http://proyectosfie.com/html/documentos/ControlTempYoel.pdf>.