



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Guía de Práctica de Instrumentación

PRÁCTICA # 1
“RESPUESTA DINÁMICA”

OBJETIVOS:

- Obtener la curva de enfriamiento medida por un sensor de temperatura en tres diferentes medios (agua, aceite y aire).
- Estimar la constante de tiempo y tiempo de respuesta del sensor en cada medio.

MARCO TEÓRICO

En los sistemas de medición, la etapa de salida no cambia exactamente a la misma tasa que la variable física, pues la respuesta total del sistema está formada por la respuesta **transitoria** (la variación en el tiempo de la etapa de salida respecto a un cambio de la variable física o entrada) y la respuesta **permanente** (una vez que la etapa de salida se ha estabilizado), por ejemplo al colocar un peso en el extremo libre de un dinamómetro de resorte del ejemplo (figura 1).

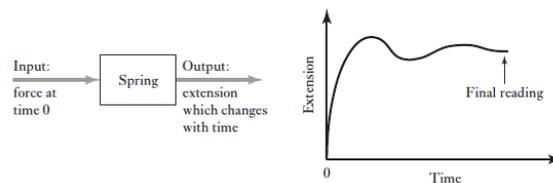


Figura 1. Sistema de medición de dinamómetro de resorte y su respuesta total [1].

Para analizar y caracterizar la respuesta transitoria o respuesta dinámica de un sistema de medición se utilizan ciertos tipos de entradas de prueba, como la escalón, impulso, rampa, sinusoidal, etc. En el ejemplo anterior la colocación de la masa en el resorte supuso una entrada escalón, donde se tuvo una variación súbita que luego se mantuvo constante en el tiempo. El escalón también puede ser negativo, es decir partir de una entrada alta estable y súbitamente llevarla a cero o un referente bajo (figura 2).

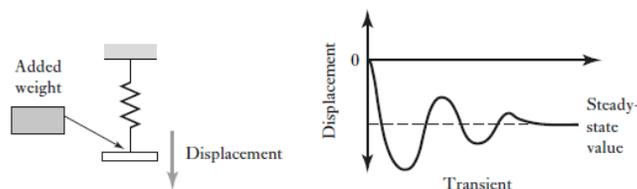


Figura 2. Respuesta total del dinamómetro ante un escalón negativo [1].



En la medición de temperatura, se debe esperar a que ocurra equilibrio térmico entre el sensor y el medio. Se conoce por los principios de transferencia de calor en régimen transitorio que el cambio de temperatura por convección de un sólido al ser introducido en un fluido a diferente temperatura puede modelarse por balance de energía [2] de acuerdo a:

$$\frac{T-T_{\infty}}{T_i-T_{\infty}} = e\left[-\left(\frac{hA_s}{\rho Vc}\right)t\right] \quad \text{Ec. 1}$$

Donde T_i es la temperatura inicial del sólido, T_{∞} es la temperatura del fluido, T es la temperatura en función del tiempo, h es el coeficiente de convección, A_s el área de contacto del sólido, ρ la densidad del sólido, V el volumen del sólido, c el calor específico del sólido y t es el tiempo.

De tal modo que una curva de enfriamiento típica luciría como la mostrada en la figura 3, donde la entrada escalón es el salto de temperatura alta del sólido introducido súbitamente en un fluido a menor temperatura, la salida responde a una **función de primer orden**. La respuesta dinámica de una función de primer orden puede caracterizarse por la **constante de tiempo τ** (la inversa del argumento que acompaña a t en la ecuación 1) que es el tiempo que transcurre desde que el empieza el cambio de la salida hasta que su amplitud llega o baja en un 63.2% de su rango (Figura 3).

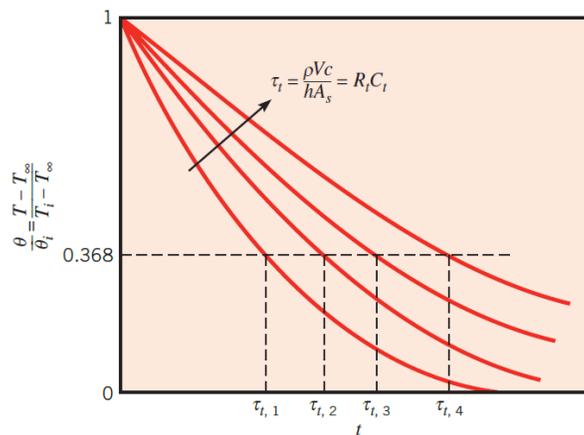


Figura 3. Curvas de enfriamiento de sólidos con diferente constantes de tiempo térmicas [2].

Un menor o mayor valor de la constante de tiempo indicaría por tanto que tan rápida o lenta es la respuesta dinámica del sistema, en este caso de medición de temperatura de enfriamiento en diferentes medios.



EQUIPOS:

- Tarjeta Arduino UNO.
- Sensor de temperatura DS18B20 y resistencia de 4.7 K Ω .
- Reverbero.
- Olla pequeña con agua.
- Frascos con agua, y aceite.
- Computadora con Arduino IDE y programa colector de datos en tiempo real (CoolTermWin)

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:

- 1) Conectar la tarjeta Arduino UNO vía USB y abrir Arduino IDE.
- 2) Cargar las librerías para sensores con protocolo OneWire y DallasTemperature (opcional si es que aún no ha sido cargada)
- 3) Conectar el sensor de temperatura DS18B20 (figura 4) de acuerdo al diagrama de la figura 5.
- 4) Cargar el sketch adjunto *Read_one_DS18B20.txt* [3], copiando y pegando su contenido en el IDE de Arduino, revisar y subir el programa a la tarjeta.
- 5) Llenar la olla con agua y calentarla en el reverbero hasta que alcance el punto de ebullición. Al mismo tiempo preparar un par de recipientes con los medios de enfriamiento líquidos (agua y aceite).
- 6) Mientras se calienta el agua, ejecute el programa de adquisición CoolTerm y cree un archivo de texto dándole el nombre del medio de enfriamiento correspondiente (agua.txt por ejemplo)
- 7) Configure la adquisición en CoolTerm dando click en *Options* y eligiendo el puerto serial de la Arduino en *Port*, luego eligiendo *Receive* de la lista a la izquierda puede seleccionar *Add timestamps to received data* si quiere asignar una marca de tiempo a cada adquisición. Acepte los cambios dando click en *Ok*.
- 8) Para preparar la adquisición de click en *Connection, Capture to Textfile, Start*, seleccione el archivo de texto previamente creado y *Ok*.
- 9) Si el agua está en ebullición, introduzca el sensor para que llegue a la temperatura máxima estable cuidando que éste no toque las paredes internas de la olla, espere unos segundos y empiece la adquisición en CoolTerm dando click en *Connect*, observe los valores de temperatura.
- 10) Cuando los valores de temperatura de ebullición sean estables realice inmediatamente el cambio del sensor al medio de enfriamiento, y observe la tendencia de los valores de temperatura. Cuando la temperatura de enfriamiento se haya estabilizado de click en *Disconnect* para parar la adquisición y luego en *Connection, Capture to Textfile, Stop* para desasociar el archivo de texto.
- 11) Repita los pasos del 6 al 10 para los otros medios de enfriamiento.



CÁLCULOS:

Determinar las constantes de tiempo τ de cada medio de enfriamiento y el tiempo aproximado de estabilización (cuatro veces la constante de tiempo, cuando la respuesta está dentro de un aproximadamente 2% del valor de estado estable), para esto deberá calcular la temperatura T_τ , el tiempo de inicio de enfriamiento t_0 y el tiempo t_τ a partir de los datos extraídos de las gráficas (usar la figura 6 como referencia).

GRÁFICOS

Graficar las curvas de enfriamiento de los tres diferentes medios, señalando en cada caso las temperaturas $T_{m\acute{a}x}$, T_{enf} y T_τ , y los tiempos t_0 y t_τ .

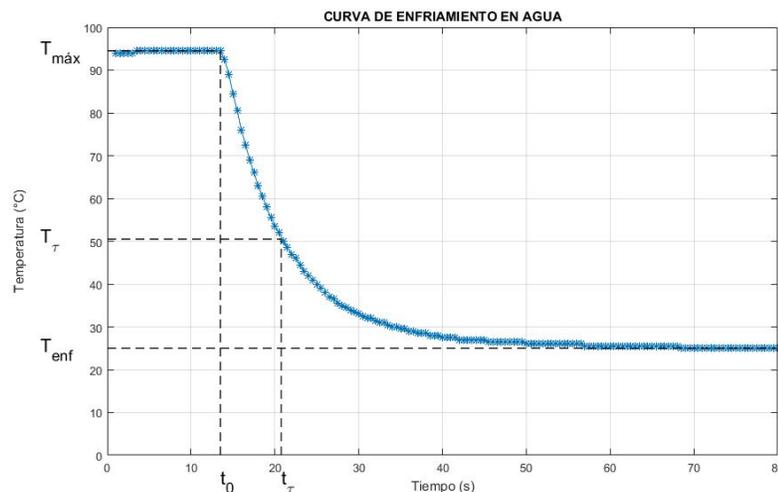


Figura 6. Curva de enfriamiento con puntos importantes indicados.

$$T_\tau = 0.368 (T_{m\acute{a}x} - T_{enf}) + T_{enf} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\tau = t_\tau - t_0 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

T_τ es la temperatura en la que la salida disminuye en un 63.2% o llega al 36.8% de su rango

$T_{m\acute{a}x}$ es la temperatura máxima estable

T_{enf} es la temperatura de enfriamiento

τ es la constante de tiempo

t_0 es el tiempo en el que comienza el enfriamiento

t_τ es el tiempo en el que la temperatura llega a T_τ



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN:

- Analice de forma cualitativa (y si puede también de forma cuantitativa) la influencia que tienen los errores en la medición de temperatura y tiempo para la determinación de la constante de tiempo.
- Realice el mismo análisis sobre los efectos de las incertidumbres de las variables medidas en la determinación de la constante de tiempo ¿qué sucede si tengo mayor o menor resolución en la medición de temperatura? ¿qué sucede si se toman datos cada milésima de segundo o si se toma cada cinco segundos por ejemplo?

REFERENCIAS

- [1] W. Bolton, *Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica*. 6ta edición. México. Alfaomega Grupo Editor, 2017
- [2] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7ma edición, USA. John Wiley & Sons, 2007
- [3]<https://www.tweaking4all.com/hardware/arduino/arduino-ds18b20-temperature-sensor/>