

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**  
**DEPARTAMENTO DE FISICOQUIMICA**

**MANUAL DE PRÁCTICAS**  
**LABORATORIO DE TERMODINÁMICA**  
**CLAVE 1212**

**Elaborado y revisado por Profesores del Departamento de FISICOQUIMICA:**

<b>Elaborado por: Dra. Aline Villarreal Medina</b>
<b>Revisado por: Dr. Gerardo Omar Hernández Segura</b> <b>M. en D. Ricardo Manuel Antonio Estrada Ramírez</b>
<b>Agradecemos a la DGAPA por los recursos otorgados mediante el proyecto PAPIME PE 102122 para el desarrollo de este protocolo.</b>

## PRÁCTICA: PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL MOTOR DE STIRLING

### ➤ OBJETIVO GENERAL

- Conocer el principio de operación del motor Stirling y relacionarlo con los ciclos termodinámicos.

### ➤ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las temperaturas del foco caliente y foco frío de la máquina térmica.
- Calcular la eficiencia de la máquina térmica en la cual se lleva a cabo el ciclo de Stirling.
- Obtener el calor absorbido y cedido por la máquina térmica.
- Determinar el trabajo entregado por la máquina térmica.

### ➤ REACTIVOS

- Etanol (R. A.,  $\geq 99.5\%$ )

### ➤ EQUIPO

Motor Stirling configuración Gamma.
Motor generador de voltaje variable (Modelo: JQ24-125H670).
Multímetro (Steren, MUL-601) ( $\pm 0.001$ V).
Termómetro infrarrojo ( $\pm 0.1$ °C).
Cables para multímetro.
Balanza analítica ( $\pm 0.1$ g).
Mechero de alcohol.
Encendedor.
Cronómetro.

### ➤ DESARROLLO EXPERIMENTAL

1. Colocar el motor Stirling en una superficie limpia y plana.
2. Conectar el multímetro a las terminales del motor utilizando los cables correspondientes.
3. Pesar el mechero de alcohol vacío y registrar la masa.

4. Llenar el mechero con etanol hasta el máximo de su capacidad.
5. Pesar el mechero y registrar su nueva masa.
6. Colocar el mechero debajo de la fuente caliente del motor y encender con ayuda de un encendedor.
7. Esperar aproximadamente 30 s, empujando rápidamente la biela, repetir esta operación hasta que los pistones comiencen a moverse por sí mismos.
8. En caso de que no se observe movimiento de los pistones, ajustar el motor pidiendo ayuda al profesor.
9. Una vez que el motor comience la operación, accionar el cronómetro.
10. Registrar la temperatura del pistón caliente y frío con ayuda del termómetro infrarrojo cada minuto aproximadamente por un par de minutos.
11. Registrar el voltaje entregado por el motor cada minuto durante un par de minutos.
12. Después de que el motor ha trabajado por un par de minutos, apagar el mechero y parar el cronómetro.
13. Con ayuda de un par de guantes, medir nuevamente la masa del mechero.
14. Regresar los materiales a su estado inicial.

➤ **TABLAS DE DATOS**

**Tabla 1. Registro de la masa del mechero y combustible**

<b>Objeto:</b>	<b>masa (g)</b>
Mechero vacío:	
Mechero + etanol al inicio del experimento:	
Etanol colocado en el mechero:	
Mechero + etanol al final del experimento:	
Masa de etanol consumida en el experimento:	

**Tabla 2. Lectura del termómetro y voltaje**

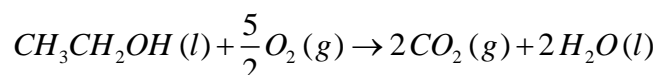
tiempo (min)	Pistón caliente (°C)	Pistón frío (°C)	Voltaje (V)
1			
2			
3			

➤ **TRATAMIENTO DE DATOS Y CÁLCULOS**

1. Determinar la masa de etanol consumida (en g) durante la combustión como:

$$m_{\text{etanol}} = m_{\text{mechero+etanol inicial}} - m_{\text{mechero+etanol final}}$$

2. Plantear la ecuación de la reacción de combustión del etanol de la siguiente manera:



3. Buscar en la literatura los datos de las entalpías de formación a condiciones estándar de las sustancias involucradas en la reacción de combustión del etanol y calcular su entalpía de reacción (en kJ/mol) con la siguiente ecuación:

$$\Delta H_r^0 = \sum_i \nu_i \Delta H_{f,\text{productos}}^0 - \sum_i \nu_i \Delta H_{f,\text{reactivos}}^0$$

4. Convertir la entalpía de reacción de kJ/mol a J/g, utilizando la masa molar del etanol, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\Delta h_{\text{etanol}} = \left( \frac{\Delta H_r^0}{M_{\text{etanol}}} \right) \left( \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}} \right)$$

5. Calcular el calor absorbido por la máquina térmica (en J), a través de la ecuación:

$$Q_{\text{abs}} = -m_{\text{etanol}} \Delta h_{\text{etanol}}$$

6. A partir de las temperaturas de los pistones caliente ( $T_h$ ) y frío ( $T_c$ ), respectivamente en el minuto 3 (véase la Tabla 2), convertir dichas temperaturas de °C a K, utilizando la relación:

$$T(K) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

7. Calcular la eficiencia de la máquina térmica, utilizando las temperaturas los pistones caliente (o foco caliente) ( $T_h$ ) y frío (foco frío) ( $T_c$ ) respectivamente, (ambas en K) y con ayuda de la ecuación:

$$\eta = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

8. Determinar el trabajo entregado por la máquina térmica (en J), mediante el ciclo termodinámico de Stirling:

$$W_{ciclo} = -\eta Q_{abs}$$

9. Obtener el calor cedido hacia los alrededores (en J), proveniente de la máquina térmica, empleando la ecuación:

$$Q_{ced} = (\eta - 1)Q_{abs}$$

10. Construir la siguiente tabla y registrar los datos medidos y calculados:

Magnitud:	Valor:
Temperatura del foco caliente $T_h$ (°C):	
Temperatura del foco frío $T_c$ (°C):	
Temperatura del foco caliente $T_h$ (K):	
Temperatura del foco frío $T_c$ (K):	
Entalpía de combustión del etanol $\Delta H_r^0$ (kJ/mol):	
Masa molar del etanol $M$ (g/mol):	
Entalpía de combustión del etanol $\Delta h_{etanol}$ (J/g):	
Masa de etanol consumida en la combustión $m_{etanol}$ (g):	
Calor absorbido por la máquina térmica $Q_{abs}$ (J):	
Calor cedido por la máquina térmica $Q_{ced}$ (J):	
Trabajo entregado por la máquina térmica $W_{ciclo}$ (J):	

## ➤ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- González-Bayón, J. J. y cols. (2011) Análisis de irreversibilidades en el comportamiento de un motor Stirling. *Ingeniería Mecánica*, 14 (2) 99-106.
- Hernández-Millán, G. y col. (2012) ¿Cómo diversificar los trabajos prácticos? Un experimento ilustrativo y un ejercicio práctico como ejemplo. *Revista Educación Química*, 23 (no. extraordinario 1), 101-111.
- Miranda Morales, José Arnulfo. (2008). Análisis termodinámico de un Motor de Ciclo Stirling [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].
- Cengel, Y. A. y Boles, M. A. (2012) *Termodinámica*. (pp. 508–511). Mc Graw Hill.
- “Análisis de la operación de un motor Stirling como estrategia para el aprendizaje de ciclos termodinámicos” Aline Villarreal Medina y Gerardo Omar Hernández Segura. *Memorias 3º Congreso Internacional de Educación Química, noviembre 2022*.

- Chang, R. (2008). *Fisicoquímica*. (pp. 134–135). Mc Graw Hill.
- Atkins, P., De Paula, J. (2012). *Chimie* (pp. 559–697). De Boeck.
- Laidler, K. J., Meiser, J. H. (2009). *Fisicoquímica*. (pp. 45–69). Grupo Editorial Patria.
- Levine, I. N. (2009). *Physical Chemistry*. (pp. 141–144). Mc Graw Hill.
- Speight, J. G. (2005). *Lange's Handbook of Chemistry*. (pp. 1.262, 1.264). Mc Graw Hill.
- Haynes, W. M. (2014). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (pp. 5-1–5-42). CRC Press.

### **Apéndice I: Conocimientos previos**

1. Ley cero de la termodinámica.
2. Termometría.
3. Primera ley de la termodinámica.
4. Conceptos de calor y trabajo.
5. Máquina térmica.
6. Ciclo termodinámico.
7. Ciclo de Stirling.
8. Eficiencia de un ciclo termodinámico.

### **Apéndice II: Preparación de reactivos**

No hay preparación de reactivos en esta práctica.

### **Apéndice III: Disposición de residuos**

No hay disposición de residuos en esta práctica.

#### **➤ ANEXOS**

- a) Reglamento de Higiene y Seguridad para los Laboratorios de la Facultad de Química.
- b) Reglamento para los Estudiantes y Profesores de los Cursos Experimentales del Departamento de Fisicoquímica.

#### **➤ AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la DGAPA por los recursos otorgados mediante el proyecto PAPIME PE 102122 “Actualización de la enseñanza experimental en Termodinámica 1212”, para el desarrollo de este protocolo.