



FACULTAD DE FÍSICA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

EXPERIMENTO

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE ADIABÁTICO

FIS 152: Termodinámica

ÍNDICE

- OBJETIVOS
- MARCO TEÓRICO
- ASPECTOS TÉCNICOS
- DESCRIPCIÓN TEÓRICA DEL PROCESO DE CLÉMENT Y DÉSORMES
- ANÁLISIS
- TIPS

OBJETIVOS

EN ESTA EXPERIENCIA
SEREMOS CAPACES DE:

- ✓ Medir el índice adiabático de un gas ideal, mediante el método de clément y désormes.
- ✓ Relacionar la diferencia de altura en el manómetro con la presión del sistema.
- ✓ Diferenciar los procesos isocóricos y adiabáticos.

MARCO TEÓRICO

PROCESOS ADIABÁTICO E ISOCÓRICO

PROCESO ADIABÁTICO

Un proceso adiabático corresponde al proceso en que un sistema termodinámico no intercambia calor con su entorno. El cambio de temperatura de un gas en un proceso adiabático se debe comúnmente al cambio en la presión de un gas, lo cual lleva a cambios en el volumen y la temperatura. Este tipo de procesos se representa en el gráfico P-V como una curva adiabática ($PV^\gamma = cte$). Donde γ corresponde al índice adiabático.

PROCESO ISOCÓRICO

También se le conoce como proceso isovolumétrico, corresponde al proceso termodinámico en que el volumen permanece constante. Esto implica que no se realiza trabajo presión-volumen. En un diagrama P-V se representa como una línea vertical.

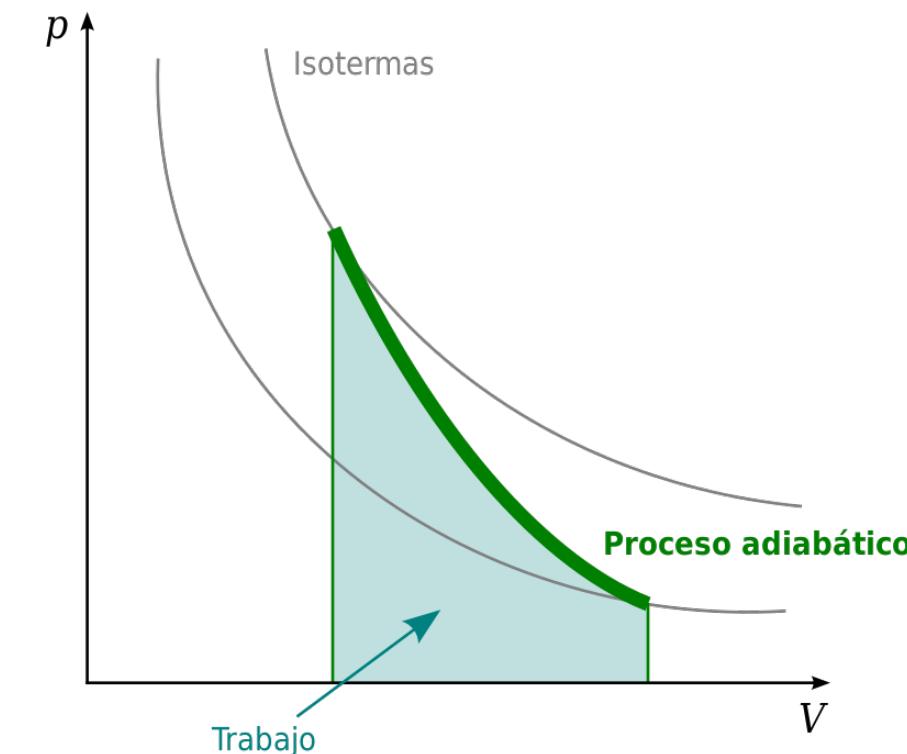


Figura 1: Curva adiabática en un diagrama P-V

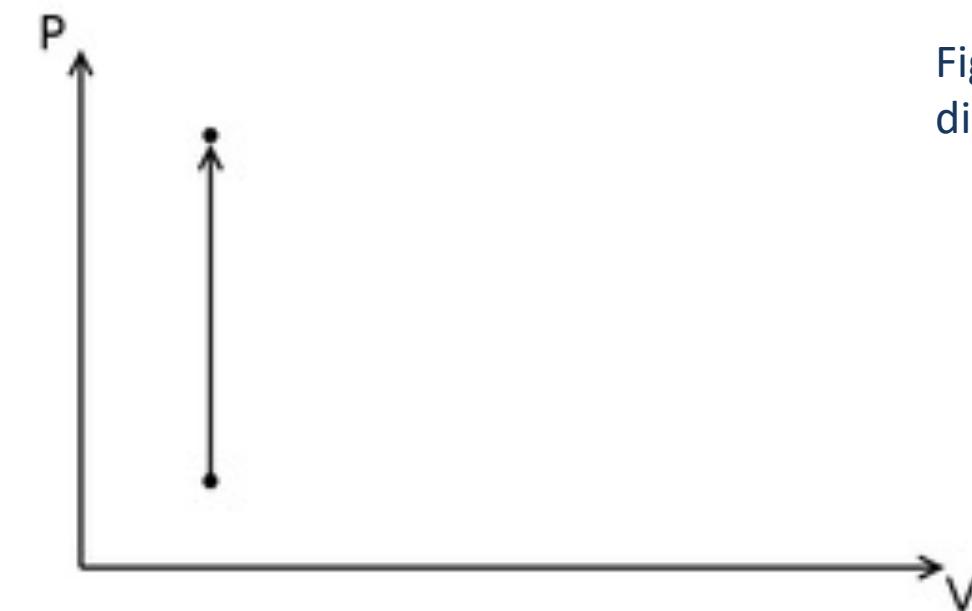


Figura 2: Recta isocórica en un diagrama P-V

MARCO TEÓRICO

ÍNDICE ADIABÁTICO

También conocido como *coeficiente de dilatación adiabática* es la razón de la capacidad calorífica a presión constante (C_p) y la capacidad calorífica a volumen constante (C_V).

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (1)$$

Este factor es particularmente relevante pues varios fenómenos físicos depende de él, como la velocidad del sonido, dado que este tipo de procesos implican procesos de cambio de presión y volumen.

En general es un factor que depende del tipo de gas y de los niveles de temperatura, sin embargo no cambia mucho con cambios pequeños de temperatura.

PROCESO DE CLÉMENT Y DÉSORMES

Este método consiste principalmente en dos procesos que ocurren en un recipiente de gran volumen:

Estado inicial: Previo a los procesos se aumenta la presión ingresando aire al sistema.

Estado intermedio: Se produce el proceso nº1, una expansión adiabática. Disminuye la presión al dejar escapar el aire.

Estado final: Se produce el proceso nº2, un proceso isocórico. Luego de la expansión adiabática aumenta la presión pero sin cambiar el volumen.

Para cada uno de estos procesos se registra la presión con un manómetro (donde se registran las alturas) en dos momentos, al principio del proceso nº1 (h_1) y al final del proceso nº2 (h_2).

ASPECTOS TÉCNICOS

MANÓMETRO

Entre los materiales principales de este experimento se encuentra el manómetro, instrumento que sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados.

Existen distintos tipos de manómetros, pero particularmente en este experimento se utilizará el *manómetro de dos ramas abiertas*. Este consiste en un tubo abierto doblado en forma de U que contiene un líquido (en este caso agua). Una de las ramas se deja abierta a la atmósfera, mientras que la otra se conecta al recipiente.

El fluido del recipiente, en el caso de este experimento el aire, entra en el tubo en U, haciendo contacto con la columna líquida (ver Figura 3). Los fluidos van a alcanzar una configuración de equilibrio de tal forma que:

$$p + \rho gd = p_{atm} + \rho_m gh$$

Donde, p corresponde a la presión en el recipiente, ρ la densidad del fluido en el recipiente y ρ_m la densidad del líquido manométrico. De esta forma la presión en el recipiente queda como:

$$p = p_{atm} + \rho_m gh - \rho gd \quad (2)$$

En el caso particular de que la densidad del fluido sea mucho menor a la del líquido manométrico (que es este caso particular en que en el recipiente hay aire y el líquido manométrico es agua), se puede despreciar el término ρgd . Por lo que la presión se escribirá como:

$$P \approx p_{atm} + \rho_m gh \quad (3)$$

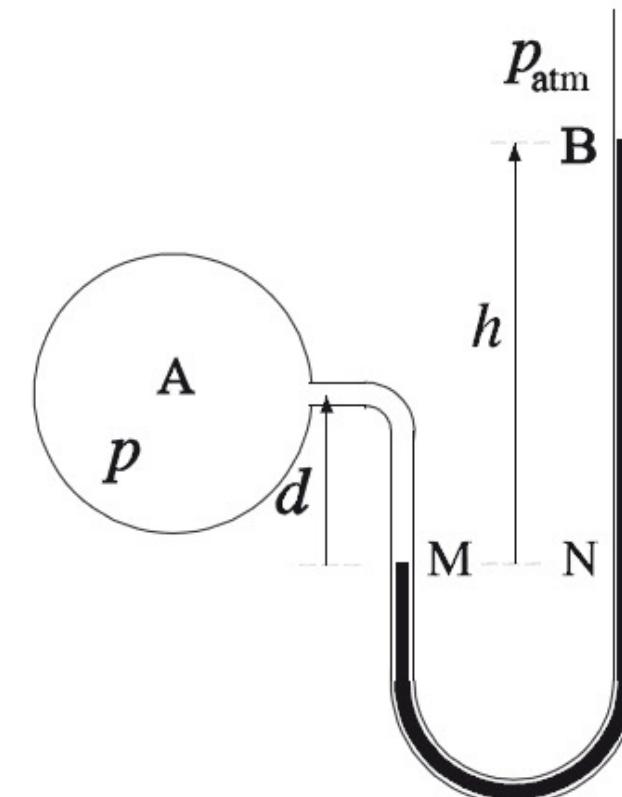


Figura 3: Diagrama de un manómetro de dos ramas abiertas. La letra A representa el aire, mientras que la letra B representa al agua.

ASPECTOS TÉCNICOS

VÁLVULAS DEL RECIPIENTE

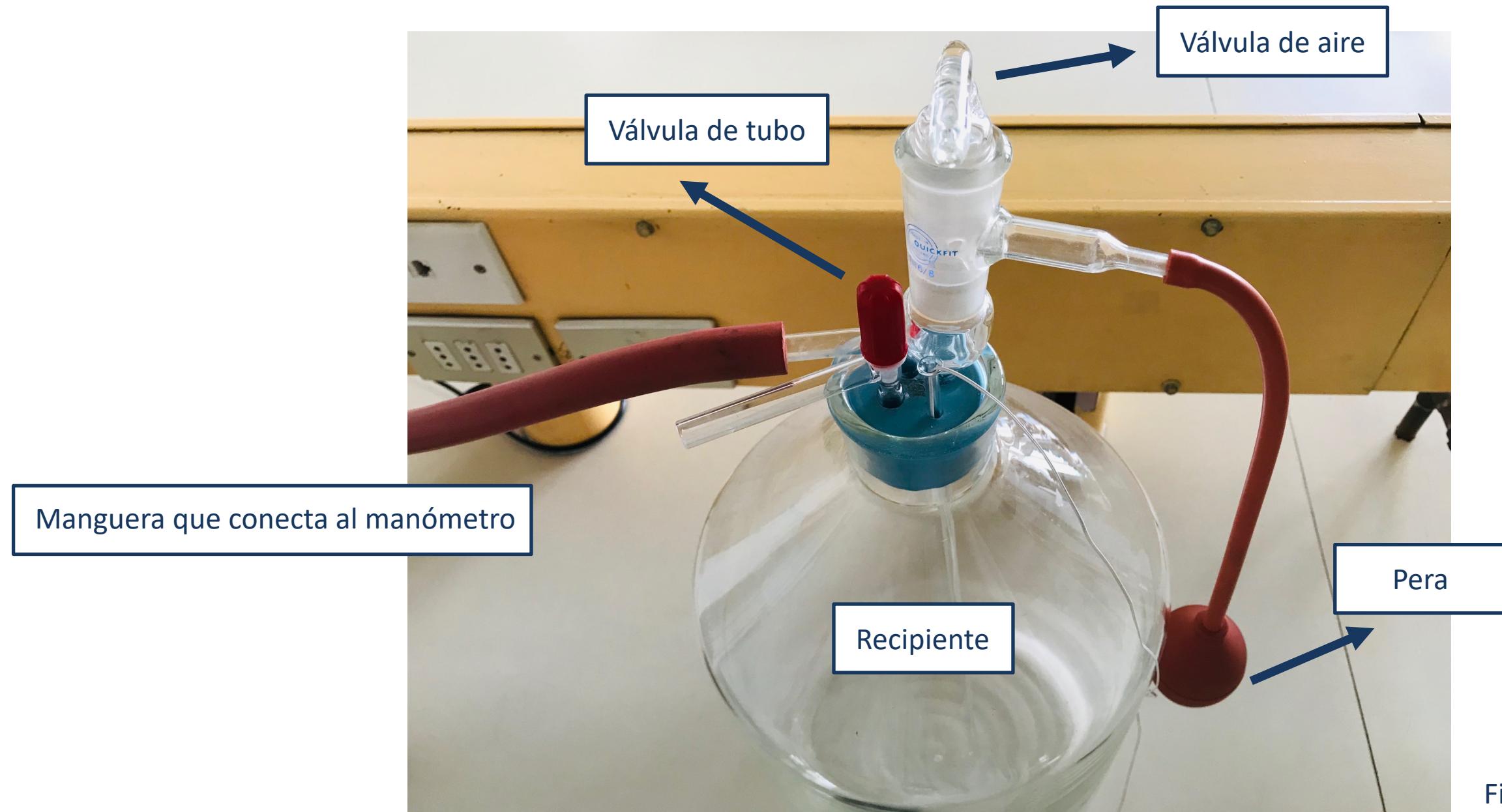


Figura 4: Válvulas del recipiente

DESCRIPCIÓN TEÓRICA DEL PROCESO DE CLÉMENT Y DÉSORMES

El montaje del experimento consta principalmente de un recipiente de 10 litros conectado a un manómetro de dos ramas abiertas, y un termistor para monitorear la temperatura durante los procesos.

Proceso inicial (P_1, v_1, T_1)

En primer lugar se lleva el gas del recipiente a una presión P_1 levemente mayor a la presión atmosférica P_0 , con un volumen específico inicial v_1 y temperatura T_1 (temperatura ambiental). En este punto se registra la diferencia de altura de las columnas de agua del manómetro como h_1 y tenemos:

$$P_1 = P_0 + \rho g h_1 \quad (4)$$

Proceso intermedio: Proceso de expansión adiabática (P_0, v_0, T_2)

Luego se libera aire **rápidamente** para evitar el intercambio de calor con el ambiente, hasta alcanzar la presión atmosférica P_0 .

En este punto se llega a un volumen específico intermedio v_0 mayor que v_1 , y debido al proceso adiabático podemos escribir:

$$P_1 v_1^\gamma = P_0 v_0^\gamma \quad (5)$$

La expansión adiabática lleva al aire a una temperatura menor a la ambiental (T_2) dado que el aire realiza trabajo para poder ser expulsado.

Proceso final: Proceso isocórico (P_2, v_2, T_1)

Debido a la anterior expansión adiabática, el sistema ahora absorbe energía para llegar al equilibrio térmico, aumentando la temperatura a T_1 y aumentando la presión hasta P_2 (se registra la altura h_2 en el manómetro, la cual es menor a h_1) dado que el volumen se mantiene constante, por tanto el volumen específico final corresponde a $v_2 = v_0$. Por lo tanto tenemos otras dos relaciones a escribir:

$$P_2 = P_0 + \rho g h_2 \quad (6)$$

y

$$P_1 v_1 = P_2 v_2 \quad (7)$$

DESCRIPCIÓN TEÓRICA DEL PROCESO DE CLÉMENT Y DÉSORMES

Usando $v_2 = v_0$ en la ecuación (7) obtenemos:

$$P_1 v_1 = P_2 v_0 \quad (8)$$

Para encontrar la dependencia del índice adiabático con las alturas registradas, lo que hacemos es eliminar la dependencia del volumen.

Para esto reescribimos la ecuación (8), y elevamos ambos lados a γ , obteniendo:

$$\left(\frac{v_1}{v_0}\right)^\gamma = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^\gamma \quad (9)$$

Y usando la ecuación (5) en la ecuación (9):

$$\frac{P_0}{P_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^\gamma \quad (10)$$

Despejamos P_0 de la ecuaciones (4)

$$P_0 = P_1 - \rho g h_1 \quad (11)$$

Reemplazamos la ecuación (11) en la ecuación (6), obteniendo:

$$P_2 = P_1 - \rho g h_1 + \rho g h_2 \quad (12)$$

Evaluamos la ecuación (11) y (12) en la ecuación (10):

$$\frac{P_1 - \rho g h_1}{P_1} = \left(\frac{P_1 + \rho g(h_2 - h_1)}{P_1}\right)^\gamma \quad (13)$$

DESCRIPCIÓN TEÓRICA DEL PROCESO DE CLÉMENT Y DÉSORMES

Lo que es equivalente a:

$$1 - \frac{\rho g h_1}{P_1} = \left(1 + \frac{\rho g (h_2 - h_1)}{P_1}\right)^\gamma \quad (11)$$

Suponiendo que $\frac{\rho g (h_2 - h_1)}{P_1} \ll 1$, entonces expandimos la parte de la derecha de la ecuación (11) en sus primeros dos términos de su serie de Taylor:

$$1 - \frac{\rho g h_1}{P_1} = 1 + \gamma \frac{\rho g (h_2 - h_1)}{P_1} \quad (11)$$

Despejando γ de (11) se obtiene finalmente:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \quad (12)$$

Por lo tanto podremos utilizar esta expresión para calcular el valor de γ y para ello solo será necesario registrar cuidadosamente los valores de h_1 y h_2 .

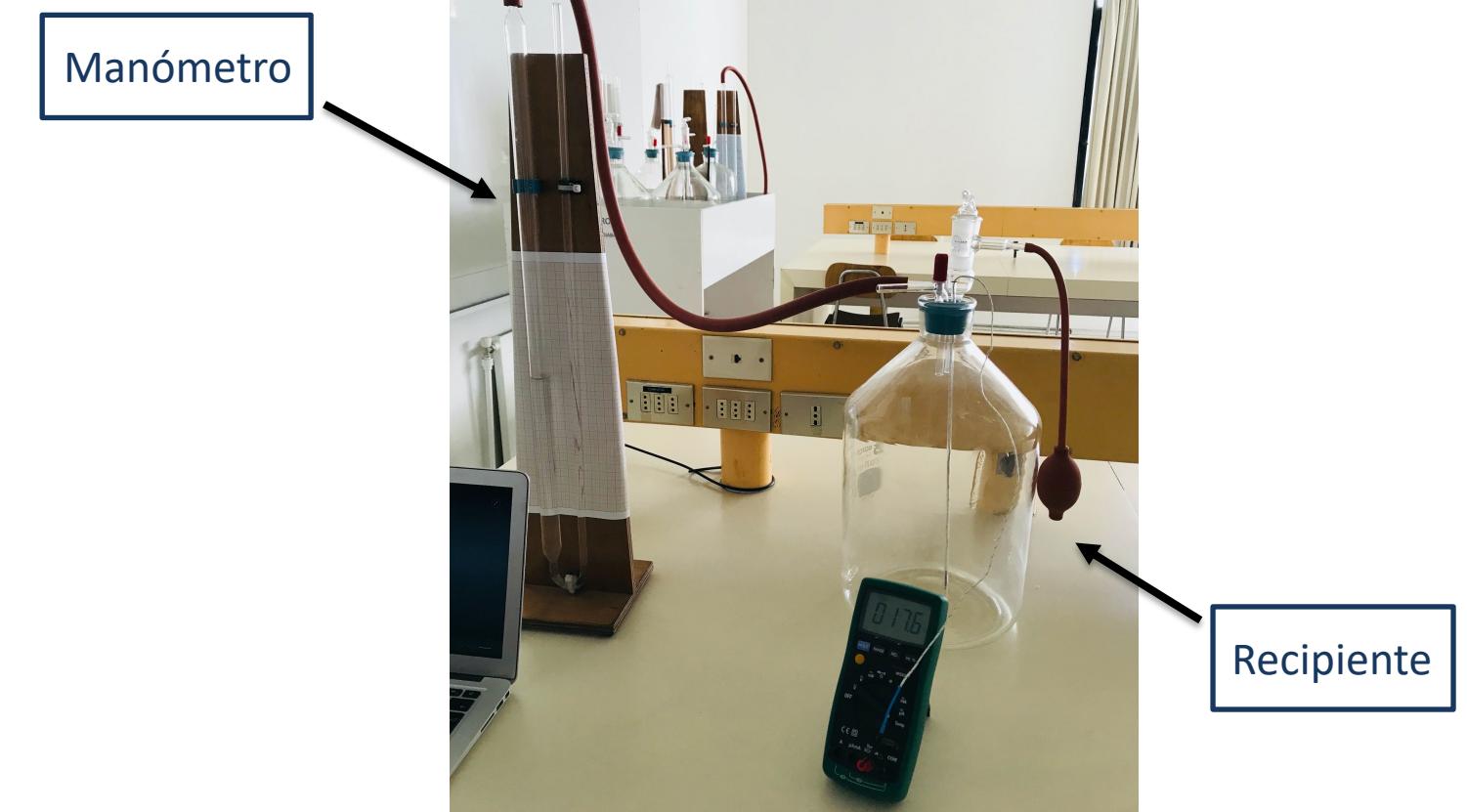


Figura 5: Montaje Experimental

ANÁLISIS

1. Con los datos entregados, determine el valor del índice adiabático del aire. Calcúlelo para tres repeticiones del experimento.
2. Compare el valor obtenido con el valor esperado ($\gamma = 1,4$ para el aire). ¿Qué ocurre si se compara con el promedio entre las tres repeticiones? ¿Debería acercarse al valor esperado?. Comente sus resultados.
3. Realice un gráfico P-V de todo el proceso, incluyendo las temperatura que se registraron con el termistor. No necesita ser un gráfico con ejes cuantitativos, basta con uno cualitativo en donde se pueda ver la relación entre las variables presión y volumen en los diferentes estados.
4. Encuentre los valores de capacidad calorífica a presión constante y volumen constante. Justifique claramente cómo obtiene estos valores.
5. ¿Por qué cuando se deja escapar el aire desde la botella el proceso se puede considerar adiabático?
6. ¿Qué factores pudieron intervenir con el resultado? ¿Qué errores se pudieron haber realizado en el experimento? ¿Qué cambios incluiría para mejorarlo?

TIPS

Cuando consideramos el índice adiabático teórico del aire, consideramos que la atmósfera terrestre está compuesta principalmente por gases diatómicos, como lo son el nitrógeno molecular (N_2) y el oxígeno molecular (O_2). Pero esto dista un poco de la realidad en nuestro experimento, donde también encontramos en pequeña cantidad moléculas triatómicas como lo son el vapor de agua (H_2O) y el dióxido de carbono (CO_2).

Sabemos que el índice adiabático es la razón entre la capacidades caloríficas (C_P y C_V). Para obtener la capacidad calorífica del aire a volumen constante relacionaremos la ecuación (1) con la relación de Mayer ($C_P = C_V + nR$), obteniendo:

$$C_V = \frac{nR}{\gamma - 1} \quad (13)$$

Ahora reemplazando la ecuación (13) en la ecuación (1) obtenemos la capacidad calorífica del aire a presión constante:

$$C_P = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1} \quad (14)$$

n : Cantidad de sustancia (aire) en moles
 R : Constante universal de los gases ideales

La cantidad de sustancia en moles (n) se puede obtener utilizando dos formas: La primera forma es usando la ecuación de estado de los gases ideales ($PV = nRT$) en el estado intermedio del experimento, mientras que la segunda forma es considerando que la abundancia atmosférica del nitrógeno es 78% y del oxígeno molecular es 21%. Para ambas formas debes considerar el volumen del frasco de vidrio correspondiente a 10 litros.