

Objetivo

1. Estudiar experimentalmente la influencia del dosado y la geometría del quemador en las características de la llama: posición, tamaño, forma, color, radiación, etc.
2. Estudiar experimentalmente la propagación de una llama premezclada, a lo largo de un conducto.

Resumen de Actividades

1. Determinar la concentración de n-butano y propano utilizado.
2. Calcular los flujos de combustible y aire para formar una llama estequiométrica.
3. Calibración del rotámetro de aire.
4. Formar una llama de difusión.
5. Formar una llama de premezcla estequiométrica.
6. Comprobar la separación de la llama premezclada de la no premezclada.
7. Calcular el poder calorífico.
8. Calcular la temperatura de combustión adiabática.
9. Medir la velocidad de deflagración de la llama a través del conducto.
10. Evaluación de la incertidumbre de los resultados obtenidos.

Equipos



Fig. 1. Fotos del equipo utilizado

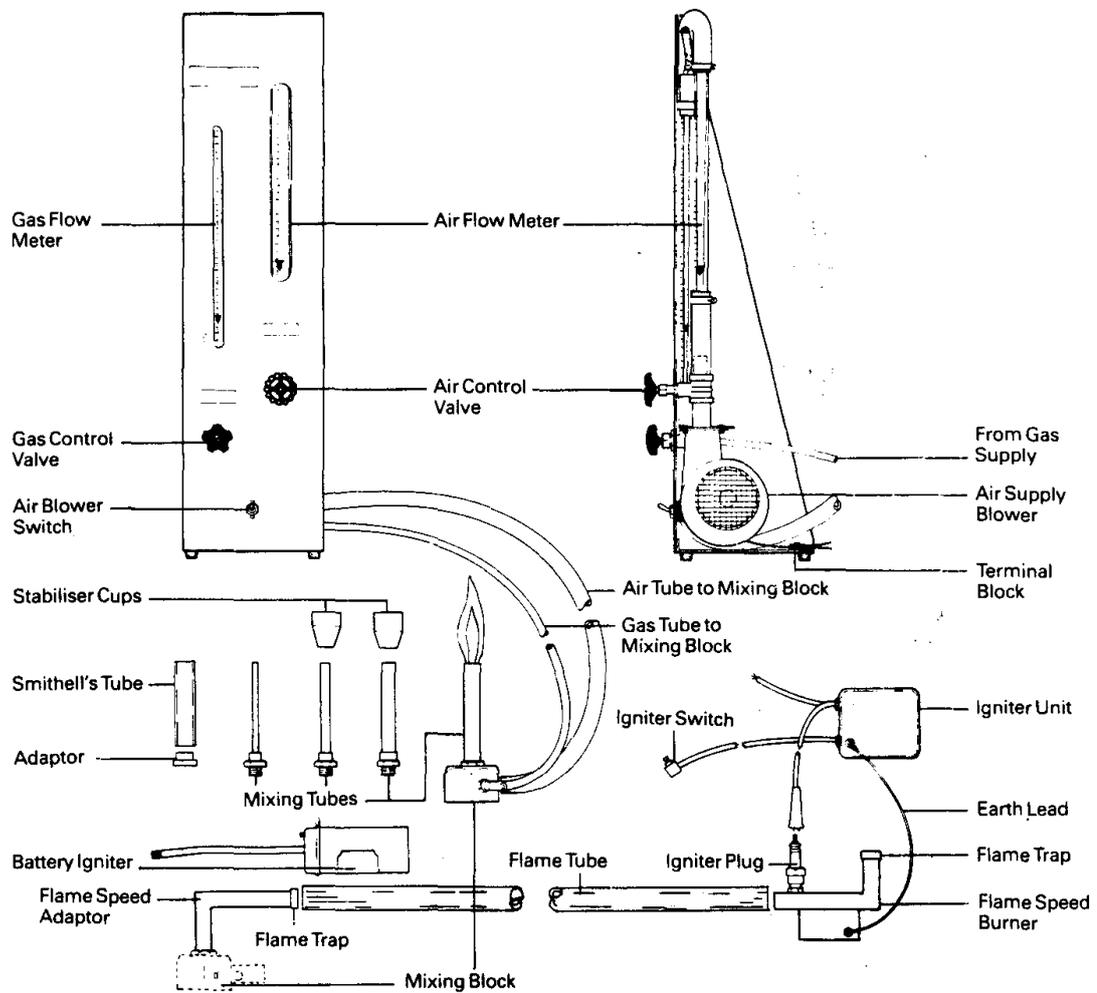


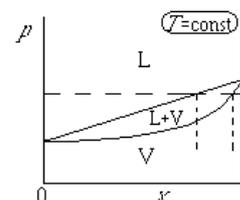
Fig. 2. Componentes del equipo utilizado

Desarrollo

1. **Cómo establecer una llama.** Determinación práctica de las variables de control (continuas y discretas) de un experimento de combustión: suministro de combustible, selección premezcla/difusión, selección y regulación de caudales, métodos de ignición, detección y extinción de la llama. Seguridad.

- Determinar el tipo combustible usado. Es "camping gas", que inicialmente se llena con un 60..70% molar de butanos (n-butano, iso-butano) y un 30..40% molar de propano, pero que, como se va gastando de la fase gaseosa más rica en propano (por ser más volátil que los butanos), cada vez queda la botella más rica en butanos. Si se supone mezcla binaria de n-butano y propano, la medida de la presión (y la temperatura) sirve para determinar la composición interior:

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_{VB}}{x_{LB}} &= \frac{p_B^*(T)}{p} \\ \frac{1-x_{VB}}{1-x_{LB}} &= \frac{p_P^*(T)}{p} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \ln \frac{p_B^*(T)}{1 \text{ kPa}} &= 13,98 - \frac{2292}{T/K - 27,86} \\ \ln \frac{p_P^*(T)}{1 \text{ kPa}} &= 13,71 - \frac{1873}{T/K - 25,10} \end{aligned}$$



- Calcular (teóricamente, NO EXPERIMENTALMENTE) los flujos de combustible y de aire para formar una llama estequiométrica estable (e.g. $v_{sal}=1$ m/s) en la boca de un bunsen.
- Inspeccionar el equipo experimental. Observar que el caudalímetro para el combustible no tiene el intervalo de medida más adecuado.

2. **Caudalímetros.** Tipos de flujómetros de fluido: medidas de velocidad, medidas de gasto másico, medidas integrales. Calibración del rotámetro de aire (0..0,6 L/s el de aire); el de fuel es 0..0,2 L/s.

3. **Estabilidad de llamas.** Diagramas de estabilidad de llamas: soplado y reentrada. Estabilizadores de llama: rejillas, ensanchamientos y bordes; barreras anti-llama; estabilización por debajo y por arriba de una rejilla.

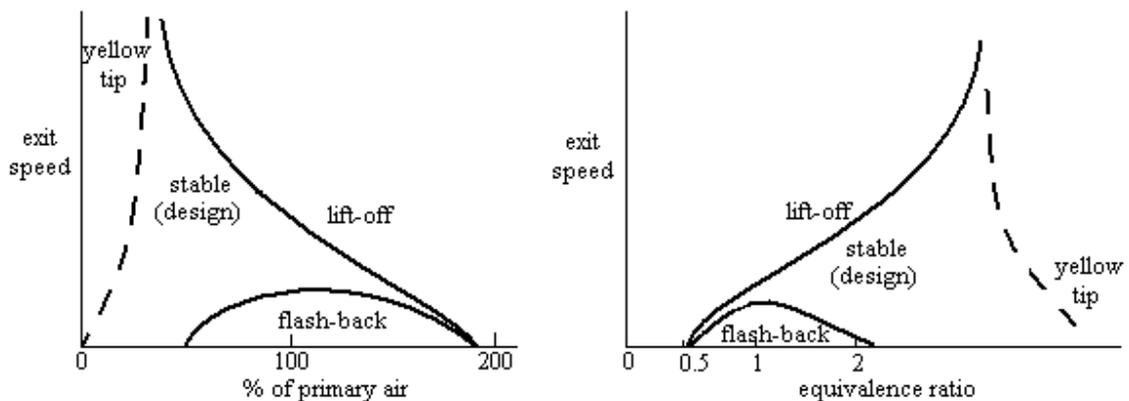
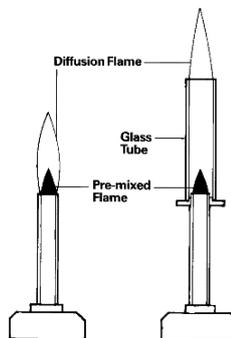


Fig. 3. Estabilidad de llamas bunsen en términos de aire primario. Cuando se suministran combustible y aire, el diagrama de estabilidad se presenta en términos de ratio de equivalencia de la mezcla suministrada.

- Formar una llama de difusión (sin premezcla) abriendo MUY POCO la llave del gas. La altura de llama crece linealmente con el caudal.
- Formar una llama de premezcla estequiométrica y observar la influencia de la riqueza.

4. **Llamas primaria y secundaria: estabilización y separación.** Comprobar experimentalmente la separación de la llama premezclada de la no premezclada (separador de Smithell).



Smithell's Flame Separation Experiment

Fig. 4. Separador de llama de Smithell.

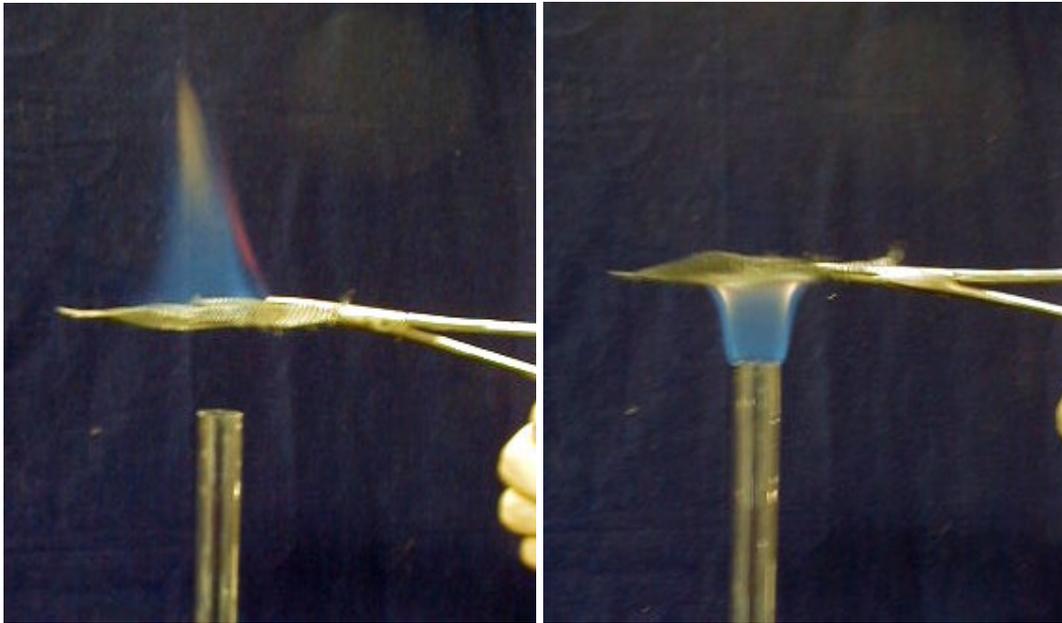


Fig. 5. Una fina malla metálica previene la propagación de la llama a través de ella, de forma que si la premezcla se inflama a un lado de la malla, la llama no puede pasar al otro lado.

- Calcular el poder calorífico, $PC = -\sum v_i h_{f,i}^\oplus$, y la temperatura de combustión adiabática, $T_{ad} = T^\oplus + \frac{PCI}{\sum v_i c_{p,i}}$.

5. **Deflagración.** Medida de la velocidad de deflagración laminar en tubo horizontal de PVC (la medida da casi el doble del valor teórico porque la llama no es plana sino parabólica). Influencia del dosado.

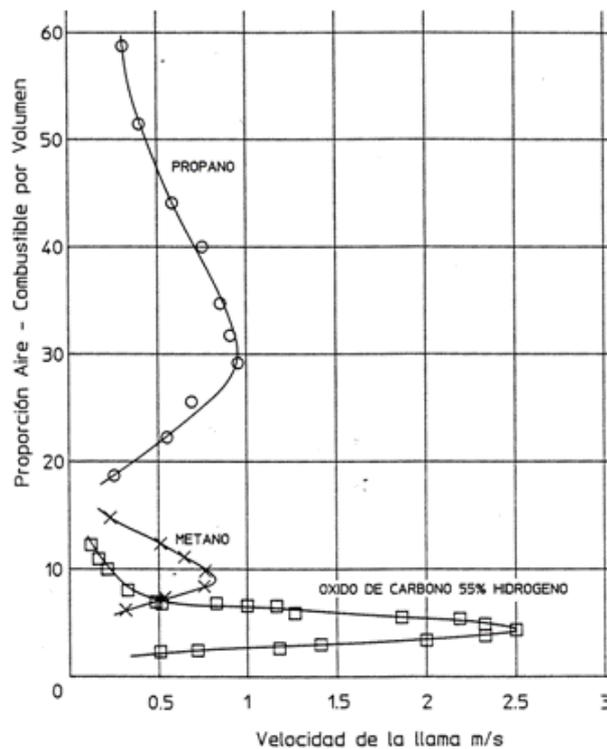


Fig. 6. Velocidad de llama en función de la premezcla para distintos combustibles.

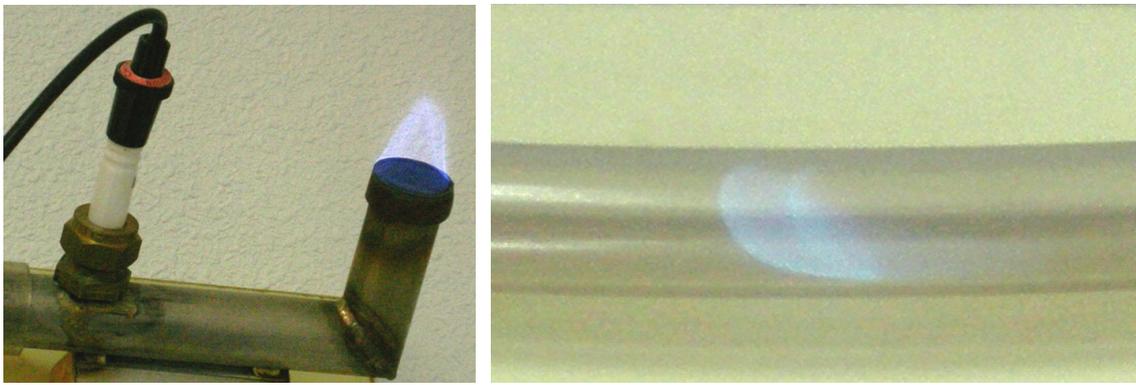


Fig. 7. Imágenes de la propagación de la llama.

- Medir la velocidad de deflagración de la llama a través del conducto.

Notas y datos

Datos de algunas sustancias

Tabla 1. Límites de inflamación para premezclas combustible/aire en condiciones ambiente (%vol), diámetro mínimo de extinción a condiciones ambiente, y temperatura de autoignición.

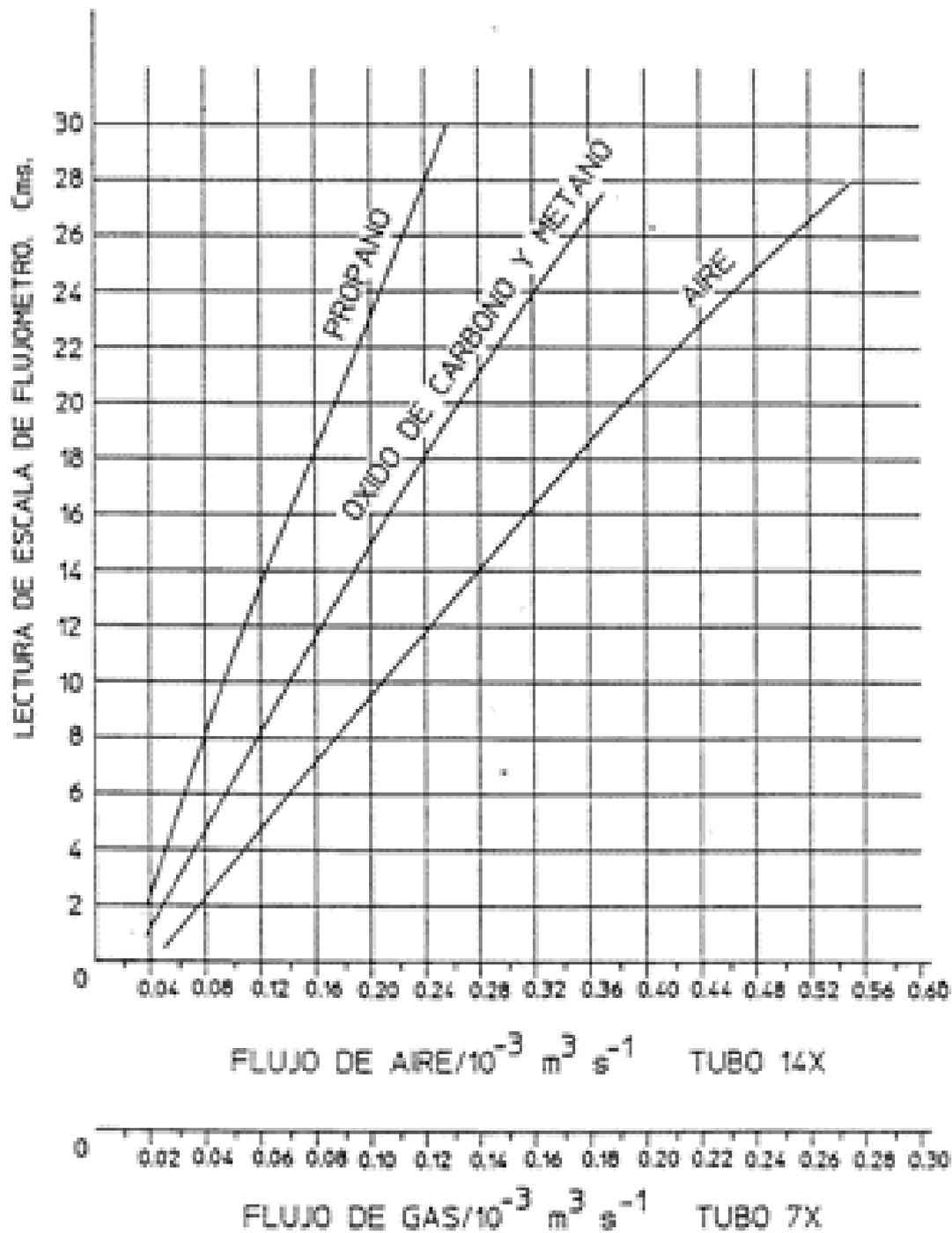
Combustible	Límite de inflamación inferior, LFL	Estoquiometría	Límite de inflamación superior, UFL	Diámetro mínimo de extinción [mm]	Temperatura autoignición [K]
CO, monóxido de carbono	12,5	29,5	74		900
H ₂ , hidrógeno	4,0	29,5	75	0,61	850
CH ₄ , metano	5,0	9,47	15	2,0	850
C ₂ H ₆ , etano	3,0	5,64	13	1,8	800
C ₃ H ₈ , propano	2,0	4,02	9,5	1,8	750
C₄H₁₀, n-butano	1,5	3,13	8,5	1,8	700

Tabla 2. Entalpías de formación y capacidad térmica a presión constante para distintas sustancias.

Substancia	h_f^\ominus kJ/mol	c_p J/(mol·K)
CO ₂ (g)	-394	54
H ₂ O(l)	-286	47
O ₂ (g)	0	34
N ₂ (g)	0	34
C ₄ H ₁₀ (g)	-126	97

CURVAS DE CALIBRACION DEL FLUJOMETRO

UNIDAD HILTON DE PROPAGACION Y ESTABILIDAD DE LLAMA, C551



[Back to lab](#)