

*Práctica de Combustión: Llama  
premezclada*

Carlos del Pino Peñas y Luis Parras Anguita  
E. T. S. Ingenieros Industriales.  
Universidad de Málaga.

30 de mayo de 2012

## 1. Introducción

Los grupos de esta práctica serán reducidos y los estudiantes de Ingeniería deben seguir las indicaciones reflejadas en este guión de prácticas y las dadas por el profesor responsable de la realización de las prácticas. La práctica tiene una duración de una hora y el estudiante debe haberse familiarizado con el quemador que se describe en la práctica de la llama de difusión.

Las llamas premezcladas (ver fotografía en la figura 1) tienen como característica principal que el combustible y el oxidante se encuentran en la misma corriente antes de producirse la combustión. Existen dos regiones, una en equilibrio térmico (zona de reacción-difusión) y otra donde las reacciones están congeladas debido a su baja temperatura (zona de difusión-convección). El calor y los radicales producidos en la llama premezclada se difunden hacia el lado congelado y esto hace que se produzca un frente de reacción. Este frente, en el caso de ser plano, tiene una velocidad constante denominada velocidad de propagación de la llama. Este valor se determina gracias al autovalor de la velocidad de quemado. El espesor de la llama ( $\delta$ ) es del orden del cociente entre la difusión térmica ( $D_T = \frac{K}{\rho c_p}$ ) y la velocidad de propagación  $u$ . La velocidad de propagación  $u$  presenta de forma genérica un máximo cuando la mezcla es próxima a la estequiométrica, disminuyendo tanto para mezclas más ricas como para mezclas más pobres.

La estabilidad de la llama de premezcla depende de la riqueza de la mezcla, así como de la difusividad térmica y de las especies químicas presentes. Básicamente, compiten los procesos de difusión de calor, que es estabilizante, y de la difusión del reactante minoritario que es destabilizante. Por consiguiente, la llama puede ser estabilizada entre dos valores límites de flujo total de gas. A continuación comentaremos estos límites. Cuando el flujo total de gas (suma del combustible y el comburente) excede de un cierto valor la llama se separa



Figura 1: Fotografía de una llama premezclada.

de la boquilla del quemador. Este fenómeno es llamado levitación o *blowoff* de la llama. Si el flujo total de gas se incrementa un poco más, se alcanza el valor umbral a partir del cual la llama se extingue. El valor máximo de flujo total de gas es conocido como límite de soplado o *blowoff*. Por otro lado, cuando el flujo de gas cae por debajo de un cierto umbral mínimo, la llama no es capaz de anclarse al quemador y se traslada hacia el interior de la boquilla. Este valor es conocido como *flashback*. Estos dos límites son muy importantes para el diseño y mejora de los sistemas de inyectores en los que se produce una llama premezclada. De hecho, en el diseño del quemador de la práctica es necesario tener en cuenta que el diámetro de inyección antes de la premezcla es de 1.8 mm. Estos diámetros son importantes porque evitan que se produzca un flashback hacia la zona donde se sitúa el honeycomb o panal de abejas, ya que éste al ser de plástico puede arder si el flashback en la boquilla alcanza esta región. Con la elección del diámetro de 1.8mm evitamos la aparición de la llama al ser éste el diámetro mínimo de extinción para el propano por lo que se impide la formación de la llama en la cámara donde se premezclan los gases.

## **2. Realización de la práctica**

Mediante la realización de esta práctica se pretende alcanzar 3 objetivos:

1. Realizar el cálculo la velocidad de propagación de una llama premezclada.
2. Conocer cualitativamente la transición entre llama de difusión pura y llama premezclada
3. Conocer cualitativamente el límite de soplado.

Para este fin, realizaremos los pasos especificados en cada subapartado.

### **2.1. Cálculo de la velocidad de propagación de la llama premezclada**

La llama es el lugar donde se desarrolla la reacción química de combustión entre el gas combustible y el gas comburente. Para poder obtener un frente de llama estable, es suficiente que en un punto de ese frente se produzca la igualdad entre la velocidad de la mezcla aire-combustible (flujo total de gas) y la velocidad de propagación de la llama. En estas condiciones, la componente normal de la velocidad de la mezcla de aire-combustible es igual a la velocidad de propagación del combustible.

La llama se propaga con una velocidad que depende de muchos factores, entre los cuales se encuentran la composición de la mezcla, la presión, la temperatura y la homogeneidad de la mezcla.

Analizaremos por tanto la velocidad de propagación de la mezcla gracias al montaje experimental con la boquilla de 10 mm de diámetro, ya que se forma una llama estacionaria en la que se identifica un cono interno (ver figura 1) donde se desarrolla la combustión del gas combustible con el aire de

premezcla (o primario) y de ahí la tonalidad azul que adopta. El aire secundario contribuye a completar la combustión. El cálculo de la velocidad de la llama se puede realizar mediante la expresión del mechero Bunsen que se ha visto en la teoría, es decir,

$$u = \frac{Q_t}{A_C} = \frac{V_t A_t}{A_C},$$

donde  $Q_t$  es el caudal total calculado como la suma del caudal de propano  $Q_p$  y el caudal de aire  $Q_a$ , leídos en los rotámetros. Este caudal es el producto de la velocidad de la mezcla en el tubo  $V_t$  por la sección del tubo  $A_t$ . Queda por determinar mediante cualquier método o procedimiento visual el área del cono  $A_C$ .

## **2.2. Transición entre llama de difusión pura y llama premezclada**

Coloque una boquilla de 20 mm de diámetro en el quemador y enciéndalo con el caudal de aire de premezcla cerrado (al igual que se hizo en la práctica de la llama de difusión). Este tipo de llama tiene un color amarillento. A continuación incremente poco a poco el caudal de aire y se observa como la llama cambia de tonalidad y aparece un cono azul. Si bien en la realización de la práctica no da tiempo a anotar valores cuantitativos, sí que es posible realizar un gráfica en la que en el eje de abcisas se tenga un caudal de propano y en el eje de ordenadas el de aire. Con esta gráfica se puede analizar cuándo se produce la transición entre una llama de difusión laminar y una llama premezclada laminar.

## **2.3. Límite de soplado**

Si seguimos aumentando el caudal de aire, tal y como hicimos en el apartado anterior, en la llama premezclada se produce la levitación de la llama

para posteriormente (con un leve incremento de caudal de aire) producirse el soplado de la misma.