

4. Metodología

La Figura 2 representa un esquema de la instalación experimental, ubicada en Hefei, Anhui (China) a una altura de 50 m sobre el nivel del mar y a una presión atmosférica de 100 kPa, y la instalación de medición, la cual consistió en un sistema de suministro de flujo, una tubería, una boquilla de acero inoxidable y una cámara de presión de aire con una dimensión de 3 m de ancho, 2 m de largo y 2 m de altura. La temperatura y la humedad ambiente se mantuvieron en aproximadamente 24.9 °C y 35% respectivamente. El flujo del combustible (metano) se mantuvo en 10.24 L/min y el diámetro de la boquilla en 3 mm para todas las condiciones.

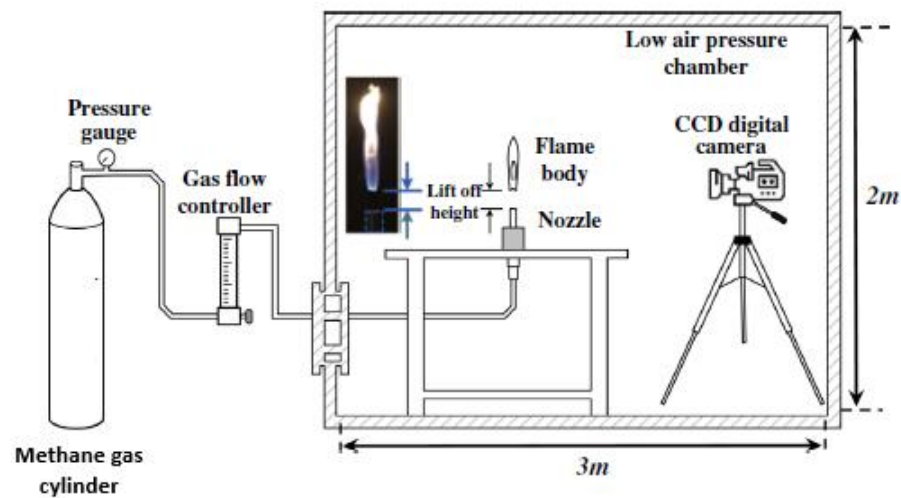


Figura 2. Esquema de la instalación de la cámara experimental, tomado de Wang et al., 2014. La presión ambiental dentro de la cámara se reguló y mantuvo por una bomba de vacío controlada por el sensor de presión dentro de la misma cámara programada a la presión deseada. Las presiones para el experimento se fijaron a 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 y 1 atm.

Cada prueba se inició desde el momento en que la presión se mantuvo estable durante un período de aproximadamente 5 minutos, para asegurarse de que el entorno interno fuera

completamente estable. El tiempo de duración de cada condición experimental fue relativamente corto, aproximadamente de 2 min, para asegurarse de que la condición ambiente dentro de la cámara no cambiara considerablemente durante el proceso experimental. A continuación, se inició la condición experimental de la siguiente prueba después de bombear aire fresco en la cámara para reemplazar el aire previo.

Para identificar la estructura de la llama, se realizó la medición de la altura total, H , la altura radiante, h , el diámetro de la llama, D , y la altura de elevación (*lift-off*), L , para cada una de las imágenes obtenidas (Figura 3).

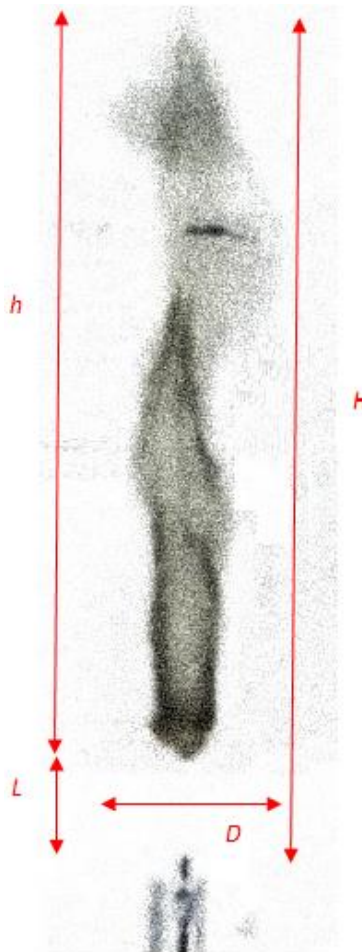


Figura 3. Estructura de medición de una llama: altura total, H , altura radiante, h , altura de *lift-off*, L , y diámetro, D .

La llama se visualizó mediante una cámara CCD digital de 8.5 mm de tamaño de sensor con 3.000.000 de píxeles. La velocidad de la película de la cámara fue de 25 fotogramas por segundo. Las imágenes de cada serie se descomprimieron en marcos y se procesaron una por una para cada registro de vídeo. Se usó un método promedio para cuantificar objetivamente las dimensiones de la llama basándose en la serie de imágenes grabadas. Este método proporciona una cuantificación más objetiva de las dimensiones de la llama que la observación visual.

Para obtener el diámetro promedio de la llama, se realizaron las mediciones del diámetro de la llama a el 0, 10, 30, 50, 70, 90 y 100% de la altura de la llama para después calcular el promedio aritmético de todos los porcentajes. Las mediciones se realizaron en base a píxeles y, posteriormente, se hizo la conversión a metros utilizando medidas de referencia. La Figura 4 ejemplifica el tratamiento de las imágenes.

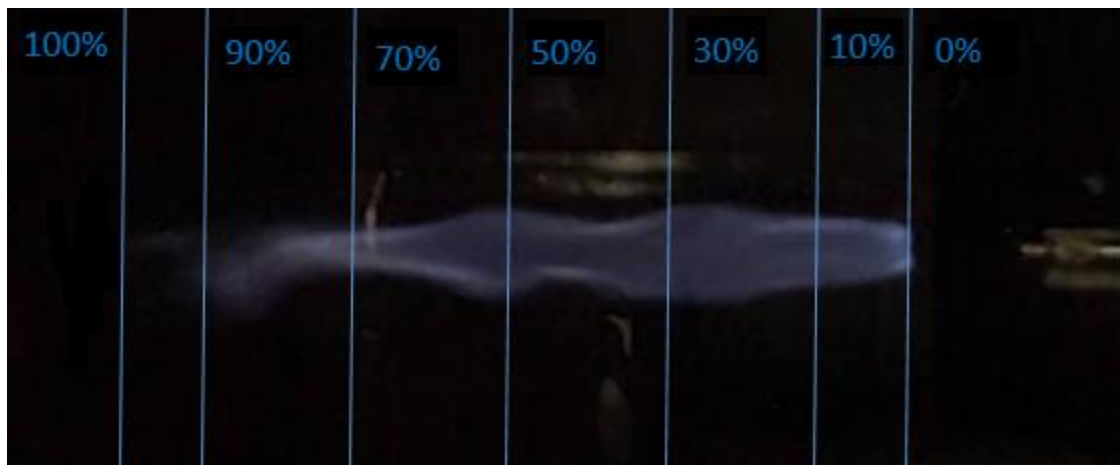


Figura 4. Ejemplo de una llama de metano fraccionada para determinar el diámetro de la llama a diferentes alturas.

Una vez realizadas las mediciones de los diámetros, se realizaron gráficas de D^2 vs h para después obtener la ecuación de la gráfica, como se ve a continuación en un ejemplo de una imagen tratada de una llama a una presión de 0.6 atm.

La gráfica tiene como objetivo ilustrar el comportamiento de los diámetros de la llama y determinar el volumen de la misma. Para ello, se requiere obtener la ecuación de la gráfica, y posteriormente, realizar la integración definida de los valores de la altura radiante de 0 a 100% de esa misma ecuación.

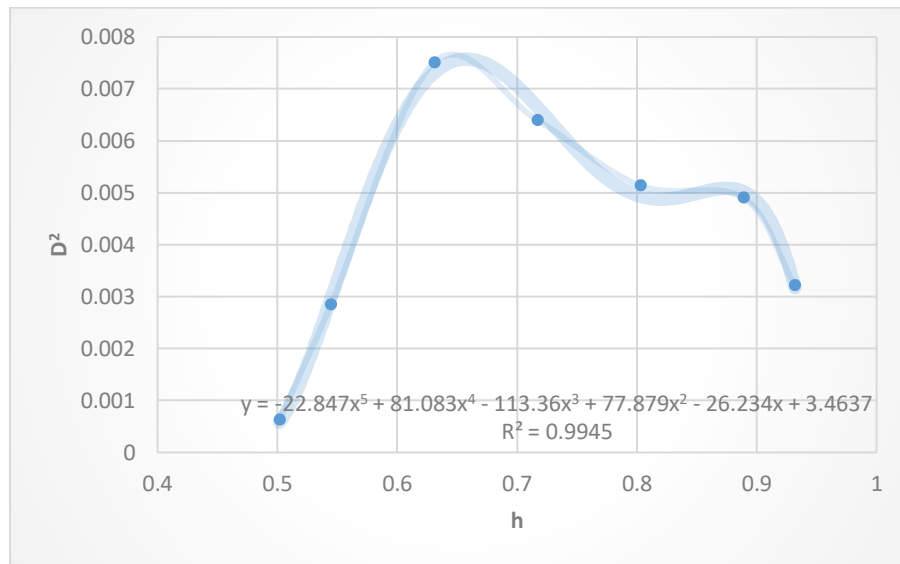


Figura 5. Ejemplo de una gráfica de D^2 vs h .

Para determinar la ecuación de las gráficas se utilizó la función “ESTIMACION.LINEAL”, para determinar el coeficiente de correlación (R^2) se utilizó la función “INDICE” en el programa de Microsoft Excel 2016©. El grado de la ecuación de todas las gráficas se fijó a 5 debido a que, en promedio, a grados mayores el volumen resultaba en un número negativo y a grados menores, la R^2 mostraba valores por debajo de 0.9.

Una vez calculada la ecuación de las gráficas, se calculó la integral definida desde h 0% hasta h 100%. Continuando con el ejemplo de la Figura 5, en este caso el valor de h 0% es igual a 0.5017 m y de h 100% es igual a 0.9319 m. Integrando la ecuación de la gráfica, y sustituyendo los límites, el valor del volumen para este ejemplo es igual a 0.0023 m³.

Se investigaron las propiedades de densidad (ρ , kg/m³) viscosidad (μ , Pa*s) y la relación de calores específicos (γ) del metano a las presiones y temperaturas dadas con ayuda del programa de Aspen HYSYS 8.8©.

A continuación, se realizaron los cálculos para determinar el flujo másico (Ecuación 1) y el número de Reynolds (Ecuación 2), donde \dot{Q} es el flujo volumétrico (10.24 L/min) y D_{or} es el diámetro de la boquilla (3 mm).

$$\dot{m}(kg/s) = \dot{Q}\rho = \frac{10.24}{1000 * 60}\rho = 1.71 \times 10^{-4}\rho$$

Ecuación 1.

$$Re = \frac{\rho \vec{v} D_{or}}{\mu} = \frac{4\dot{m}}{\pi D_{or} \mu} = \frac{4\dot{m}}{(3.1416)(0.003)\mu} = 424.4132 \frac{\dot{m}}{\mu}$$

Ecuación 2.

Las llamas se consideran como turbulentas cuando el número de Reynolds es mayor a 2300.

Este mismo procedimiento se repitió para cada una de las imágenes tratadas, las cuales sumaron un total de 3,745. Posteriormente, se calcularon los promedios aritméticos de todos los datos obtenidos para cada presión en particular.