

Título del trabajo/ Title of paper

Caracterización y modelización Óptica del humo de incendio para optimización de luminarias

Autor/es/ Author/s

Jaime Quintana<sup>1</sup>, A. Alvarez<sup>1</sup>, J.C. Martinez<sup>1</sup>, M Jaureguizar<sup>2</sup>, M.A. Garcia<sup>3</sup>,  
D. Vázquez<sup>1</sup>

Empresa/s Company/s

(1) Universidad Complutense de Madrid, (2) Normagrup Technology, (3)  
Normalux

Dirección principal/ Mail address

C/Arcos de Jalón 118

Teléfono, fax, e-mail de la persona de contacto/  
Phone, fax number and e-mail address of the contact person

TF:91394 6880  
e-mail: dvazquez@ucm.es

Tema:

Iluminación interior

[cei.secretaria@ceisp.com](mailto:cei.secretaria@ceisp.com)

## Índice

- Introducción
- Caracterización óptica del humo
- Conclusión
- Bibliografía

## Introducción

Los incendios, a pesar de la efectividad de los cuerpos de bomberos, siguen planteando numerosas dificultades a la hora de la evacuación de las víctimas, no solo por las altas temperaturas, sino, por el déficit visual que generado por la aparición del humo. Este último elemento va a ser el objeto de estudio para este trabajo.

Los espacios con humo presentan una serie de inconvenientes en la percepción de los distintos elementos que conforman el medio, en concreto, en la percepción de obstáculos y en la búsqueda de rutas de escape. Actualmente, por el Real Decreto 2177/1996, del 4 de octubre, actualizado por el Real Decreto 2267/2004, del 3 de diciembre, todos los edificios deben reunir unas condiciones para proteger a sus ocupantes.

El presente trabajo se centra en el estudio de cómo se propaga la luz a través del humo teniendo en cuenta la estructura y composición del humo. Para ello se van a realizar pruebas experimentales en un entorno controlado y posteriormente simulaciones del mismo, teniendo en cuenta factores como la densidad óptica, la función de fase (Scattering), etc.

El objeto del presente trabajo consiste en: explorar y comprobar la posible mejora de la visibilidad/contraste en espacios con humo empleando fuentes de luz inteligentes, es decir, fuentes que sean capaces de iluminar una superficie relevante, necesarias para identificar obstáculos y vías de evacuación. Controlando tanto la intensidad del haz como el canal de emisión, se reducen los efectos de difusión provocados por el humo, por lo que la percepción del entorno será mejor, en concreto el contraste de la misma con respecto al fondo.

Para este trabajo, se parte de la hipótesis de que si se ilumina un espacio con humo con una fuente inteligente se va a producir una mejora del contraste entre un “target” y el fondo de la escena, en vez de si se ilumina la escena en su totalidad. Esto se debe a la aparición de deslumbramiento. Este fenómeno tiene lugar cuando la luz se difunde en la misma dirección de propagación, es decir, se produce “forward-scattering”.

Los ambientes con humo están compuestos por partículas que permanecen en distintas concentraciones, los cuales van a provocar la difusión de los haces y, por consecuencia, la disminución de la percepción de los obstáculos.

La difusión de la luz es un fenómeno que está profundamente relacionado con el tamaño de las partículas que conforman el medio. En el caso de, las partículas alcanzan generalmente tamaños comprendidos entre 50  $\mu\text{m}$  y los 150  $\mu\text{m}$ . Para estudiar la difusión, el tamaño de partícula  $\mathbf{p}$  se define como un parámetro proporcional entre el radio  $r$  de la misma y la longitud de onda  $\lambda$  de la luz incidente  $\mathbf{p} = \frac{2\pi r}{\lambda}$ . También se parte

de que el índice de refracción  $m(\lambda) = n + i\kappa$  depende de la longitud de onda, siendo la parte real  $n$  la que da información del tipo de partícula que compone el medio, y la parte compleja  $\kappa$  da información sobre el coeficiente de difusión del medio [1-2].

La teoría de la difusión que más se ajusta a este fenómeno es la teoría de Mie, establecida en 1908. Esta teoría consiste en la resolución de las ecuaciones de Maxwell para la difusión de la radiación electromagnética que describen el fenómeno de la difusión para partículas esféricas de tamaño comparable o muy superior a la longitud de onda incidente [3].

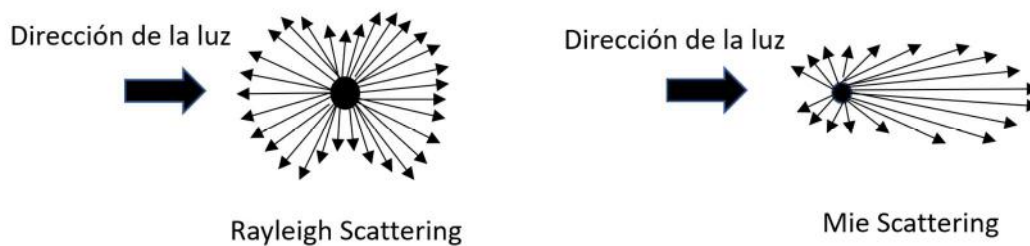


Figura 2: Esquema de la distribución de la radiación electromagnética sobre partículas esféricas de gran tamaño según la teoría de Mie.

Tras la aplicación de la teoría de Mie, se obtiene como resultado la función de fase (1). Esta expresión describe la distribución tanto de la intensidad como de la dirección angular del haz difundido [4]. Como las partículas que conforman el humo desempeñan un comportamiento esférico, la función de fase es independiente de la dirección del haz incidente, por lo que solo varía en la dirección del ángulo de difusión  $\theta$ :

$$P(\theta) = \frac{I(\theta)}{I_0} \quad (1)$$

donde  $I_0$  corresponde con la intensidad del haz incidente e  $I(\theta)$  corresponde con la intensidad dispersada en función del ángulo  $\theta$ , ángulo que indica la dirección de difusión, como puede verse en la figura 3.

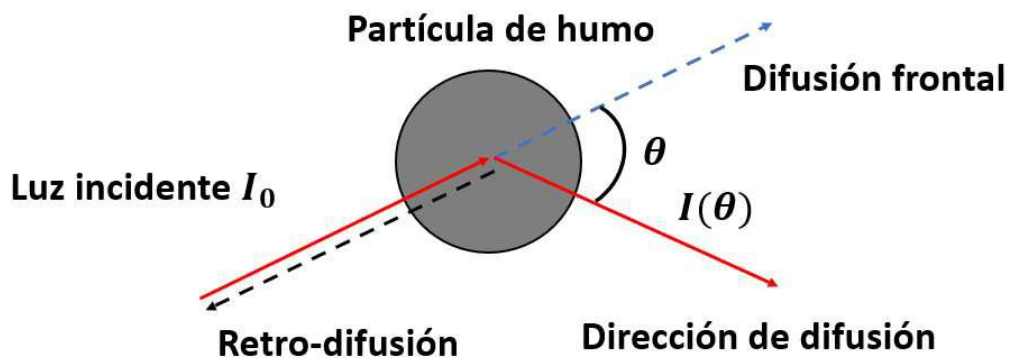


Figura 3: Esquema de difusión de la luz debido a una partícula de humo.

Para estudiar el comportamiento de la luz, se aplica la ley de “Lambert-Beer”, que da información de cómo disminuye la intensidad del haz emitido por la fuente en función de la distancia y del coeficiente de extinción del humo[5].

$$I = I_0 e^{-k_{ext}d} \quad (2)$$

Donde  $I$  es la intensidad medida a una distancia  $d$  con respecto al origen del sistema  $I_0$  y  $k_{ext}$  corresponde al coeficiente de extinción del medio. Cabe mencionar que el coeficiente de extinción del medio está conformado por los distintos factores del medio que afectan a la propagación de la luz. En este caso los dos factores más relevantes son el coeficiente de difusión  $\alpha_d$  y el coeficiente de absorción  $\alpha_a$ , siendo este último despreciable para este caso en particular debido a que presenta valores muy próximos a cero.

Al difundirse la luz por dicho medio, se producen diferentes factores que contribuyen a la disminución de la percepción visual del entorno [6]:

- 1 La atenuación: es la pérdida de intensidad del haz a medida que este atraviesa el medio. La difusión provocada por el humo hace que la intensidad disminuya según un factor exponencial  $e^{-kd}$ .
- 2 El halo: este fenómeno se produce cuando parte del haz reflejado por una superficie se difunde hacia el ojo del observador fuera del eje principal, dando lugar a un resplandor de luz difusa alrededor del haz reflejado.
- 3 Luminancia de velo: este fenómeno se produce cuando una parte del haz transmitido se difunde distribuyéndose de manera no uniforme en la dirección principal. Cuando el haz es reflejado, este fenómeno recibe el nombre de luminancia de velo retro-reflejado.

En este trabajo, para determinar la mejora en la percepción de la superficie deseada al emplear fuentes inteligentes, se utiliza la medida del contraste empleando la fracción de contraste de Weber, modelo de percepción visual que sirve para medir el contraste local de una superficie de luminancia uniforme comparándolo con un fondo,

$$C = \frac{\Delta L}{L_{\text{Fondo}}} \quad (3)$$

donde  $L_{\text{Fondo}}$  es la diferencia entre la luminancia media de la superficie y la luminancia media del fondo  $L_{\text{Fondo}}$ , comparándolo con la luminancia media del fondo.

## ***Caracterización óptica del humo***

El objeto de esta primera parte consiste en determinar la función de fase del humo. Se desarrolla un script en Matlab para extraer distintos valores de intensidad en función del ángulo de capturas de una Lumicam 1300 [7].

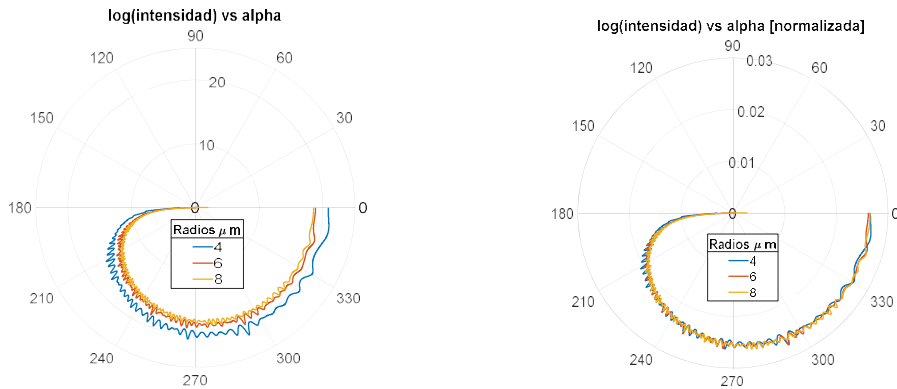


Figura 4: Representación en coordenadas polares de la función de fase de distintas partículas.

Como se puede ver en la figura 4, se realiza una representación de la función de fase de tres partículas de distinto tamaño. Para este estudio, tanto el tamaño de partícula como la concentración no van a variar los cálculos significativamente. Por tanto, la función de fase a obtener se puede expresar como una función promedio a cualquier tipo de humo

## ***Modelo óptico experimental de humo***

A continuación, se va a desarrollar una fase experimental en un entorno controlado para recrear condiciones de humo. Para ello se va a construir una cámara aislada de 90x90x220 cm de tableros de densidad media MDF. La cámara tiene dos ventanas de metacrilato situadas en las tapas, necesarias para controlar el experimento.

Para recrear el humo se utiliza un humidificador de radiofrecuencia, añadiendo un fluido basado en glicol.

Se utiliza un proyector LÁSER (Casio X.15-A251) como fuente de iluminación para controlar la iluminación de la escena, donde se coloca un objetivo. Se utiliza un Lumican 1300 para realizar las mediciones de luminancia.

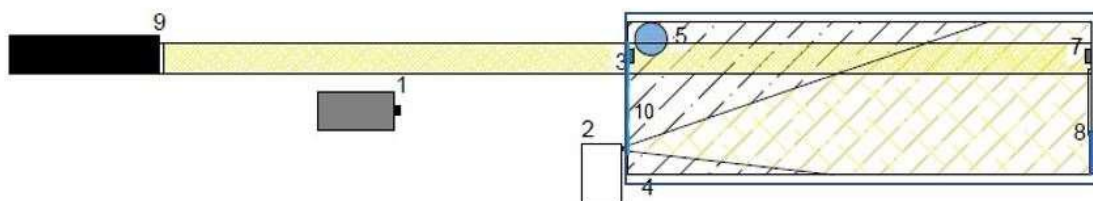




Figura 5: (1) Lumicam 1300, (2) Proyector (Casio X.15-A251), (3) Luxómetro 1, (4) Cámara de humo, (5) Humidificador, (7) Luxómetro 2, (8) Objetivo, (9) Fuente (10) Lente de metacrilato.

El proceso de medición consiste en realizar varias mediciones de luminancia de la escena utilizando la lumicam 1300 (1) y variando el haz de luz que se proyecta (2) sobre el objetivo en el extremo de la cámara, a través de una ventana de metacrilato (10) de 3 mm de espesor, tal y como se muestra en el esquema de la figura 5. Utilizando los luxómetros (3) y (7), se determina el valor del coeficiente de extinción del humo para cada captura, ambos luxómetros se iluminan con la fuente colimada (9), el primer luxómetro (3) se utiliza para determinar las fluctuaciones de la fuente y el segundo luxómetro (7) determina el valor utilizado para calcular el coeficiente de extinción.

## Conclusión

Se ha desarrollado un software que procesa el modelo global anterior para obtener la función de fase del humo, de forma que se pueda calcular de una forma rápida y sencilla la pérdida de calidad de imagen en estos ambientes. Este análisis permitirá establecer, que a la hora de evaluar la función de fase de un ambiente con humo es posible para el objetivo del presente trabajo, simplificar las características de su composición: tamaño de partícula y concentración, y emplear una función de fase promedio.

Se ha diseñado y realizado un montaje experimental de un ambiente de oscuridad total con humo, que va a permitir la adquisición de información para la validación de la simulación. Dicho test permite concluir que es posible mejorar mediante el uso de sistemas de iluminación inteligentes la visibilidad durante el ejercicio de la evacuación en situaciones de incendios. Si se controla la forma de iluminar los diferentes “targets”.

El objetivo de esta segunda parte consiste en aplicar tanto la función de fase, obtenida al emplear el modelo de difusión de “Mie”, como la ley de “Lambert-Beer” (1) para desarrollar un programa en “Matlab” que simule lo descrito en la fase experimental. Este programa va a consistir en una estructura cúbica matricial que recrea un ambiente con humo. Genera un volumen compuesto de cubos elementales de humo que contienen

Agradecimientos  
Normagrup Technology S.A.

Seguridad de vehículos para una movilidad inteligente, sostenible, segura e integradora. Acronimo : SEGVAUTO 4.0-, REDES 2018, S2018/EMT-4362 por financiar el proyecto de investigación.

## Bibliografía

- [1] Mariela L. Alvarez. Nuevos modelos para la caracterización de aerosoles en espectro-metría atómica: aplicaciones de la dispersión de la luz láser, 2001.
- [2] Goo, Jaehark. Development of the size distribution of smoke particles in a compartment fire. Fire Safety Journal, Vol. 47, p. 46-53, 2012
- [3] Xingcai Li, Li Xie, and Xiaojing Zheng. The comparison between the mie theory and the rayleigh approximation to calculate the EM scattering by partially charged sand. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 113(3):251–258, 2012.
- [4] Reza Nasiri Mahalati and Joseph M. Kahn. Effect of fog on free-space optical links employing imaging receivers. Opt. Express, 20(2):1649–1661, Jan 2012.
- [5] Mitsuo Tasumi. Introduction to experimental infrared spectroscopy: Fundamentals and practical methods. John Wiley & Sons, 2014.
- [6] N. RAMOS. Iluminación inteligente en automoción; aplicada a ambientes con niebla. Universidad Complutense de Madrid., 2017.
- [7] Matlab 2019b. The mathworks. Inc., Natick, Massachusetts, United States, 2020.