

# Técnicas de recirculación del flujo de gas para la minimización de contaminantes en procesos de combustión

María Abián, Angela Millera, Rafael Bilbao, M<sup>a</sup> Ujué Alzueta

GPT (Grupo de Procesos Termoquímicos)  
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)  
Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente.  
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza.  
Tel. +34-876555451, Fax +34-976761879, e-mail: [mabian@unizar.es](mailto:mabian@unizar.es)

## Resumen

La tecnología de recirculación del flujo de gas de salida ha sido utilizada en diferentes aplicaciones de combustión, y el presente estudio pretende determinar la influencia de los compuestos presentes en los gases recirculados, sobre la conversión de combustibles en fase gas, haciendo especial hincapié en su efecto sobre la formación de hollín.

## Introducción

Actualmente, uno de los principales problemas medioambientales derivado de los sistemas de combustión es la emisión de importantes contaminantes atmosféricos, tales como: el óxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub> y N<sub>2</sub>O) y la materia particulada (tipo hollín). El hollín se forma en el interior de las cámaras de combustión, preferentemente cuando se tienen zonas ricas en combustible, y en muchas ocasiones continúa presente en el flujo de gas de escape como emisión contaminante indeseada. Además, la formación de hollín es una medida de la ineficiencia del sistema de combustión. Por lo tanto, la reducción de las emisiones de hollín en dichos procesos se plantea como un objetivo medioambiental y operacional importante.

En este sentido, un campo de estudio de importancia para la minimización de hollín, que puede tener una relativamente fácil aplicación a instalaciones reales actuales, es el derivado del efecto que la presencia de diversos compuestos gaseosos puede tener sobre su formación. Estos compuestos pueden estar presentes en los gases de combustión y, por tanto, formarían parte de la corriente gaseosa alimentada a un combustor en el caso de que se utilizara la técnica de recirculación de flujo de gas de escape (conocida también como “*flue gas recirculation*”, FGR, o “*exhaust gas recirculation*”, EGR) [Angrill y cols., 2000].

La tecnología de recirculación del flujo de gas de salida ha sido utilizada en diferentes aplicaciones de combustión (por ejemplo, calderas y motores de vehículos) y oxicomustión, y el presente estudio pretende determinar la influencia de los compuestos presentes en los gases recirculados, en particular del CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, H<sub>2</sub>, los óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O) y los óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>), sobre la conversión de diferentes combustibles en fase gas, en determinadas condiciones de operación, haciendo especial hincapié en su efecto sobre la formación de hollín.

## Objetivos y Metodología

Teniendo en cuenta el actual estado del arte, el propósito del presente estudio es profundizar en el conocimiento de si diferentes compuestos gaseosos, presentes en el flujo de gas recirculado, pueden inhibir o promover el proceso general de conversión del combustible en un sistema de combustión, así como, de si alguno de los contaminantes recirculados puede ser utilizado activamente para controlar la emisión de otros contaminantes, en este caso de hollín. La realización de este estudio se considera fundamental para conocer los mecanismos de reacción a través de los cuales se produce la interacción entre los compuestos gaseosos considerados y los distintos hidrocarburos involucrados en el proceso de formación de hollín, con objeto de evaluar la posibilidad de usar técnicas de recirculación del flujo de gas para la minimización de las emisiones de hollín.

Por un lado, se ha llevado a cabo un estudio experimental, en el que se han considerado diferentes aspectos de interés mediante la realización de diversos tipos de experimentos (experimentos de conversión de diferentes compuestos en fase gas, experimentos de formación de hollín y experimentos de reactividad del hollín formado). Estos experimentos se han realizado en distintas instalaciones experimentales, que constan básicamente de: i) Un sistema de alimentación de gases, que incluye botellas a presión de gases, a

partir de las cuales se preparan los caudales correspondientes a las concentraciones deseadas, mediante medidores de flujo másico, así como un sistema de inyección de agua; ii) Un sistema de reacción específico para cada caso, que permite operar en condiciones bien controladas, y que engloba un reactor de cuarzo situado en el interior de un horno eléctrico; iii) Un sistema de acondicionamiento y análisis de gases, que incluye un cromatógrafo de gases con detectores TCD y FID, un microcromatógrafo de gases, un espectrofotómetro FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) y analizadores de gases en continuo para CO/CO<sub>2</sub> y NO. La Figura 1 muestra un esquema de una de las instalaciones experimentales utilizadas.

Por otra parte, se plantea la necesidad de desarrollar un modelo cinético detallado de reacción en fase gas que consiga reproducir los datos experimentales en las diferentes condiciones de interés. El modelo desarrollado debe ser válido para un amplio intervalo de condiciones de operación y, por tanto, permitir realizar simulaciones y analizar estrategias de minimización de la formación de los diferentes precursores de hollín en presencia de diferentes productos de combustión, haciendo posible su integración en descripciones CFD (fluido dinámica computacional) complejas del proceso que tiene lugar en las calderas de combustión. Para el desarrollo del modelo, se dispone del software de cinética química Chemkin [Kee y cols., 1991], y concretamente del código Senkin [Lutz y cols., 1990], que, mediante el uso de un mecanismo cinético detallado de reacción, permite calcular la evolución en el tiempo de una mezcla homogénea de gases reactantes en un sistema cerrado.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Gobierno de Aragón, a la European Social Fund (ESF) y al MINECO (Proyecto CTQ2012-34423) la financiación concedida. M. Abián agradece a la Universidad de

Zaragoza y al Grupo de Procesos Termoquímicos la beca predoctoral concedida.

## Referencias

Angrill O., Geitlinger H., Streibel T., Suntz R., Bockhorn H. 2000. Influence of exhaust gas recirculation on soot formation in diffusion flames. *Proceeding of the Combustion Institute* 28, 2643-2649.

Kee R.J., Rupley F.M., Miller J.A. 1991. Chemkin-II: a Fortran chemical kinetics package for the analysis of gas-phase chemical kinetics. *Sandia National Laboratories. Report SAND 87-8215*.

Lutz A., Kee R.J., Miller J.A. 1990. Senkin: a Fortran program for predicting homogeneous gas phase chemical kinetics with sensitivity analysis. *Sandia National Laboratories. Report SAND 87B-8248*.

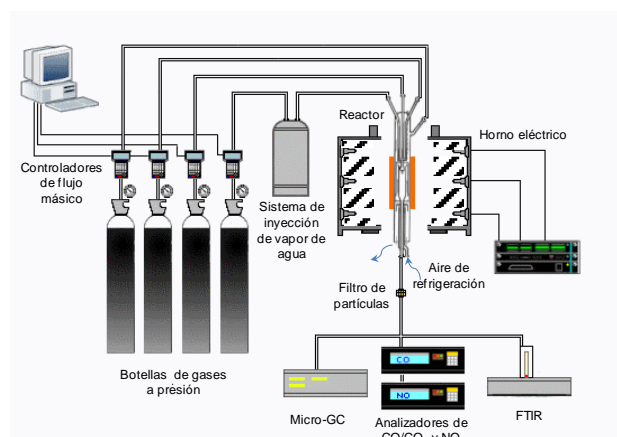


Figura 1. Esquema de la instalación experimental para el estudio de la oxidación de combustibles en fase gas