

Estudio experimental de la gasificación de residuos textiles con diferentes agentes gasificantes.

César Gracia¹, Gonzalo Zapata¹, Zainab Afailal¹, Gloria Gea¹, Jesús Arauzo¹

¹ Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: c.gracia@unizar.es

Resumen

En este trabajo se estudia la gasificación de residuos textiles empleando distintos agentes gasificantes a una temperatura de 900 °C, evaluando la composición volumétrica del gas de síntesis obtenido, así como los requerimientos energéticos y el poder calorífico del gas obtenido en cada caso.

Introducción y objetivos

El proceso de gasificación de residuos permite transformar múltiples residuos en gas de síntesis que puede ser empleado bien como combustible o como materia prima para otros procesos... El proceso es llevado a cabo a altas temperaturas (800 a 1200 °C) en un medio oxidante. Para conseguir esta atmósfera oxidante se emplean distintos agentes gasificantes como aire, oxígeno, vapor de agua o CO₂ [1]. El gas de síntesis obtenido es una mezcla de gases constituida fundamentalmente por H₂, CO, CO₂, N₂, CH₄ y C_xH_y.

La cantidad de residuos textiles generados en Europa es de 12,6 millones de toneladas, de los cuales solamente el 22 % es reciclado o reutilizado, mientras que el resto es incinerado o depositado en vertederos. Se estima que aproximadamente el 70 % de los residuos textiles tienen el potencial de ser reciclados fibra a fibra para crear nuevos productos textiles, sin embargo, actualmente solo se lleva a cabo con menos del 1 % del residuo textil. El 30 % restante requiere de otras soluciones como podría ser la producción de gas de síntesis [2].

Con estos datos, se puede observar como los residuos textiles presentan un gran desafío y, si bien parte de ellos pueden ser reciclados para producir nueva ropa, esto está muy lejos de convertirse en una realidad, además de que no es posible realizarlo con la totalidad de estos. Por ello el objetivo que se persigue en este trabajo es evaluar la posibilidad de aprovecharlos mediante gasificación transformándolos en gas de síntesis (*syngas*). Concretamente, se pretende estudiar el efecto del agente gasificante sobre la composición del gas

obtenido a una temperatura típica de gasificación (900 °C). Así mismo, se analiza el efecto sobre otros parámetros del proceso como el poder calorífico del *syngas*, la eficiencia del gas frío (*cold gas efficiency*, CGE por sus siglas en inglés), ratio H₂/CO y la energía necesaria para llevar a cabo el proceso de gasificación.

Materiales y métodos

Residuos textiles

Se trabaja con residuos textiles constituidos fundamentalmente por una mezcla de poliéster y algodón. En la Tabla 1 se muestra los análisis elemental e inmediato, así como el poder calorífico de los residuos utilizados.

Agentes gasificantes

Los agentes gasificantes empleados en los experimentos han sido aire, CO₂, vapor de agua, oxígeno y mezclas de ellos. En la Tabla 2 se muestra el listado de experimentos llevados a cabo.

Procedimiento experimental

El sistema experimental puede observarse en la

Gasifying agent	Flows [NL/min]	SR	S/C
Air	0.31 NL/min	0.2	-
CO ₂	0.32 NL/min	1	-
CO ₂	0.21 NL/min CO ₂ 0.098 NL/min N ₂	0.7	-
Air + steam	0.16 mL/min H ₂ O _(l) 0.311 NL/min Air	0.2	1

CO ₂ + steam	0.16 mL/min 0.108 NL/min CO ₂	0.35	1
O ₂ + steam	0.16 mL/min H ₂ O _(l) 0.067 NL/min O ₂ 0.0318 NL/min N ₂	0.2	1
O ₂ + steam	0.24 mL/min H ₂ O _(l) 0.067 NL/min O ₂ 0.0139 NL/min N ₂	0.2	1.5

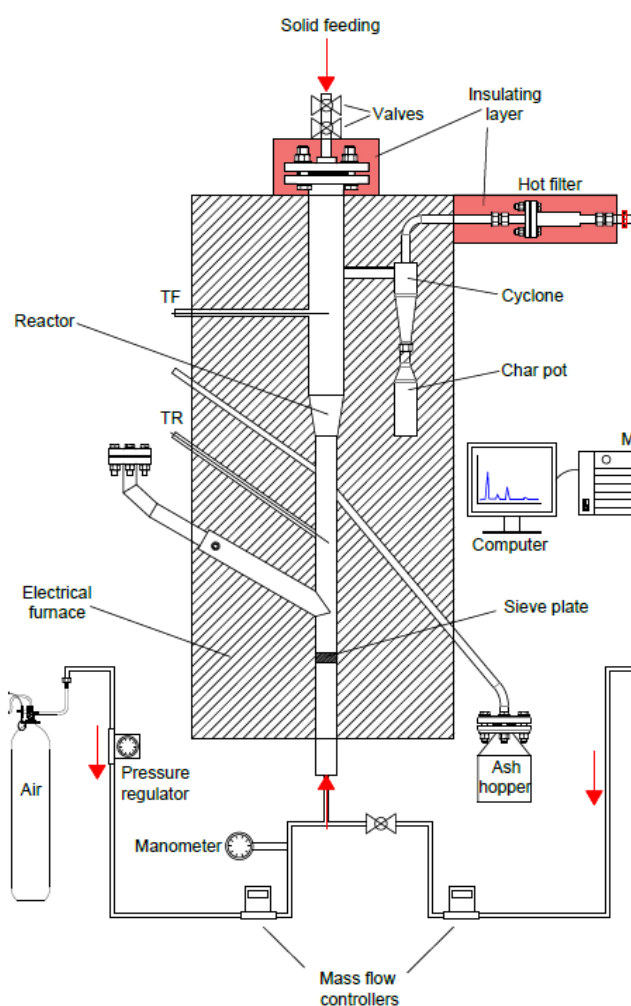


Figura 1. El residuo textil se alimenta por la parte superior del reactor en forma de pastillas (0.3 g), de tal manera que se alimenta una pastilla por minuto. Se trabaja en lecho fijo, ya que el textil tiene una baja densidad aparente lo que provoca un importante arrastre de la materia alimentada si se pretende trabajar en un reactor de lecho fluidizado... Por la parte inferior del reactor se introduce el agente gasificante deseado. El caudal total de agente gasificante se mantiene constante en la mayoría de los experimentos en 0.31 L(STP)/min Mediante un sistema de válvulas, se puede introducir un único agente gasificante o una mezcla de varios. Se dispone de un horno eléctrico que permite alcanzar la temperatura deseada (900 °C) y en el cual se disponen de tres zonas de calentamiento (reactor, freeboard y ciclón). En la salida del reactor se tiene un ciclón y un filtro caliente para eliminar el sólido arrastrado con el syngas. Posteriormente, se dispone de dos condensadores en serie que permiten llevar a cabo la condensación del tar que se genera en la gasificación. El último sistema que se tiene para limpieza de gas es el filtro de algodón que elimina los posibles aerosoles arrastrados con el gas. Tras esto, el gas pasa a través de un contador de gases, gracias al cual se puede determinar el caudal total de gas generado en el experimento, así como ir observando el caudal a lo largo del experimento. Finalmente, mediante un micro gc chromatograph (Agilent 3000-A) se analiza la composición del gas de síntesis generado en la gasificación.

Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestran los resultados de las composiciones volumétricas de las distintas especies que conforman el syngas para cada agente o mezcla de agentes gasificantes empleados. Así mismo, también puede verse el poder calorífico inferior (LHV, *Low Heating Value*) del gas generado expresado con kJ/m^3 (STP). Como puede observarse en la Figura 1, los experimentos en los que se emplea aire o una mezcla de aire con otro agente, el gas queda diluido en N₂, lo que hace que se obtenga un bajo poder calorífico. En el experimento con 87% de CO₂ (RE = 0.7) cabe destacar que con una menor concentración de CO₂ se consigue un porcentaje de H₂ en el gas muy similar al obtenido con un 100 % de CO₂. Por último, cabe destacar que en los experimentos en los que se empleó vapor, se consigue obtener un gas con mayor LHV dado que se genera una mayor cantidad de hidrógeno, de esta forma estos experimentos fueron los que mejor ratio H₂/CO proporcionaron, del orden de 1,2-1,3, si bien queda lejos del valor 2, requerido para su uso en procesos Fisher Tropsch. La Figura 3 muestra la

energía requerida para gasificar un kilogramo de residuo textil según las condiciones y agentes gasificantes empleados en los distintos experimentos. Adicionalmente también se muestra el LHV del gas de síntesis obtenido en cada experimento expresado con kJ/kg de residuo tratado, así como el CGE el cual es el porcentaje de energía que tiene el gas de síntesis respecto al valor energético que tiene el residuo, ver ec. 1. Como se puede observar, en todos los experimentos llevados a cabo se consigue un gas con mayor LHV que la energía que requiere llevar a cabo su gasificación, por lo que desde un punto de vista energético son viables ya que se podría quemar parte del gas para conseguir el calor necesario para el proceso. Un valor de CGE adecuado en un proceso de gasificación se encuentra en el intervalo 70-80 %.

Como puede verse esto solo ocurre o está próximo a ocurrir en las gasificaciones en las que se emplea CO₂, con la única excepción de la gasificación con O₂+vapor y un S/C = 1,5. De esta forma, aunque en la gasificación con aire se obtenga un gas con un poder calorífico de 8 MJ/kg_RT siendo un proceso autotérmico, presenta el valor de CGE más bajo, indicando que la obtención de energía a través de un proceso de combustión es muy superior al obtenido mediante gasificación del residuo.

$$CGE [\%] = \frac{LHV_{syngas} \left[\frac{kJ}{kg} \right]}{LHV_{waste} \left[\frac{kJ}{kg} \right]} \quad \text{ec. 1}$$

Conclusiones

Como se ha mencionado, solamente hay tres agentes gasificantes que lleguen a ofrecer unos valores correctos en cuanto a CGE, que son CO₂

Tabla 1. Análisis inmediato y elemental del residuo textil.

Proximate analysis (wt.%, wet basis)	
Moisture	2.04
Ash	10.04
Volatiles	82.49
Fixed carbon	5.42
Ultimate analysis (wt.%, wet basis)	
C	54.2
H	4.74
N	2.46
S	0.11
O ^(a)	28.44
HHV [MJ/kg]	19.19

(preferiblemente con RE=1), CO₂+vapor y en menor medida O₂+vapor con un S/C=1. A pesar, de que desde un punto de vista energético el gas generado puede suplir las necesidades energéticas de la gasificación, habría que considerar también otros aportes energéticos requeridos, como por ejemplo los necesarios para la limpieza del gas de síntesis obtenido. Por lo tanto, el análisis energético global requiere de un estudio en mayor profundidad. Los resultados obtenidos muestran que el syngas obtenido es apropiado para ser empleado en calderas (*boilers/kilns*), pero no en los procesos de Fischer-Tropsch. En el caso del gas producido en la gasificación con vapor de agua se obtienen ratios H₂/CO cercanos a 1,3, por lo que realizando un proceso de *upgrading* al gas mediante la mezcla con hidrógeno generado en algún otro proceso, se podría llegar a tener un gas apto como materia prima para procesos industriales como Fischer-Tropsch.

REFERENCIAS

- [1]. Ahrenfeldt J, Knoef H, GasNet (2005) Handbook biomass gasification BTG Biomass Technology Group Enschede, Netherlands.
- [2]. European Parliamentary Research Service. The waste framework directive: Towards a more sustainable use of natural resources (europa.eu). Mayo, 2024.

^(a) Calculated by difference (wt.%): $O = 100 - C - H - N - S - \text{Ash}$

Tabla 2. Experimentos realizados.

Gasifying agent	Flows [NL/min]	SR	S/C
Air	0.31 NL/min	0.2	-
CO ₂	0.32 NL/min	1	-
CO ₂	0.21 NL/min CO ₂ 0.098 NL/min N ₂	0.7	-
Air + steam	0.16 mL/min H ₂ O _(l) 0.311 NL/min Air	0.2	1
CO ₂ + steam	0.16 mL/min 0.108 NL/min CO ₂	0.35	1
O ₂ + steam	0.16 mL/min H ₂ O _(l) 0.067 NL/min O ₂ 0.0318 NL/min N ₂	0.2	1
O ₂ + steam	0.24 mL/min H ₂ O _(l) 0.067 NL/min O ₂ 0.0139 NL/min N ₂	0.2	1.5

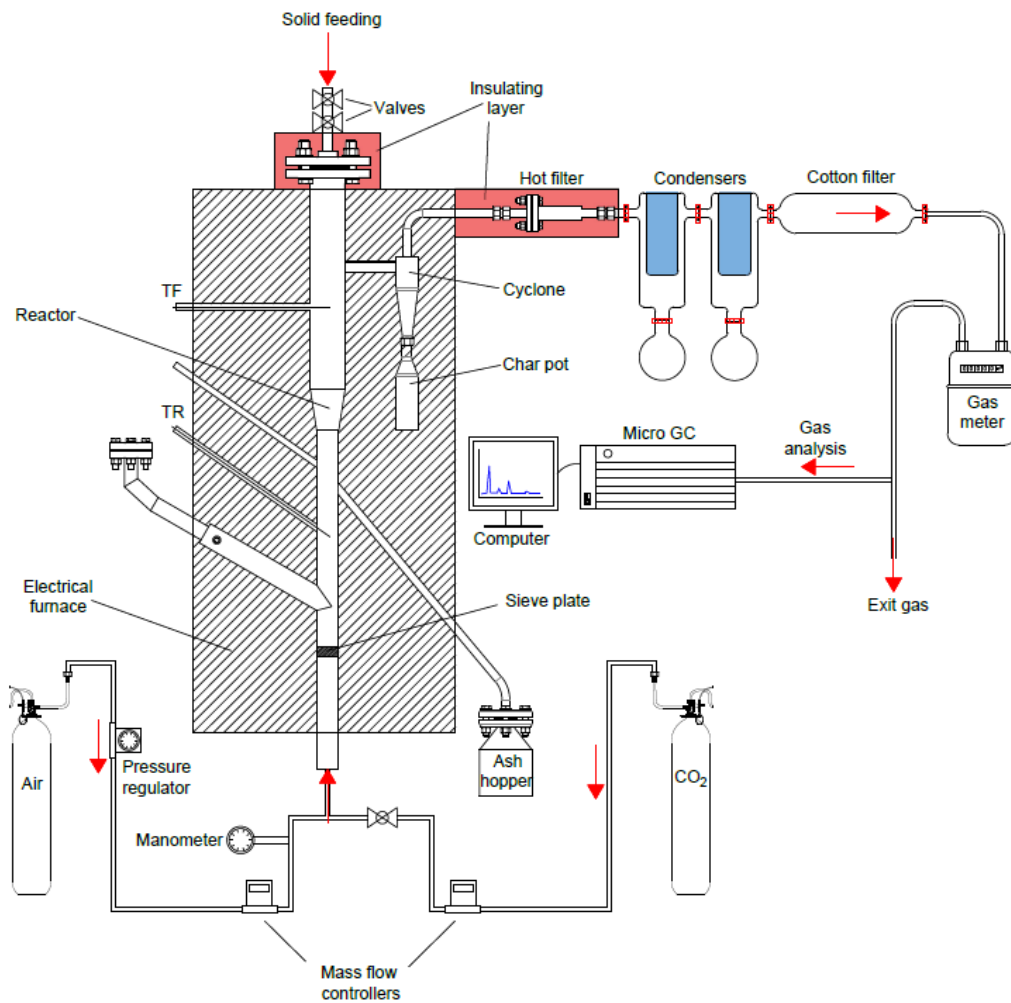


Figura 1. Esquema experimental del sistema de gasificación.

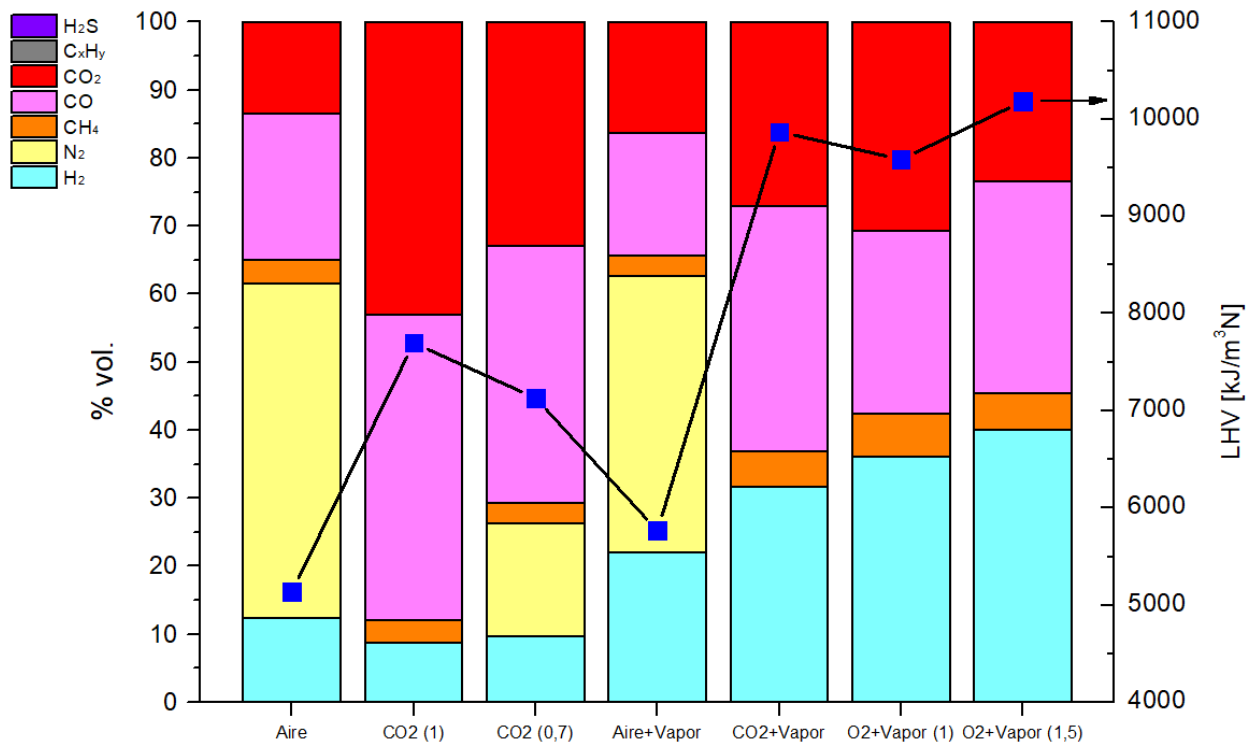


Figura 2. Composición volumétrica del syngas y LHV obtenido en cada experimento.

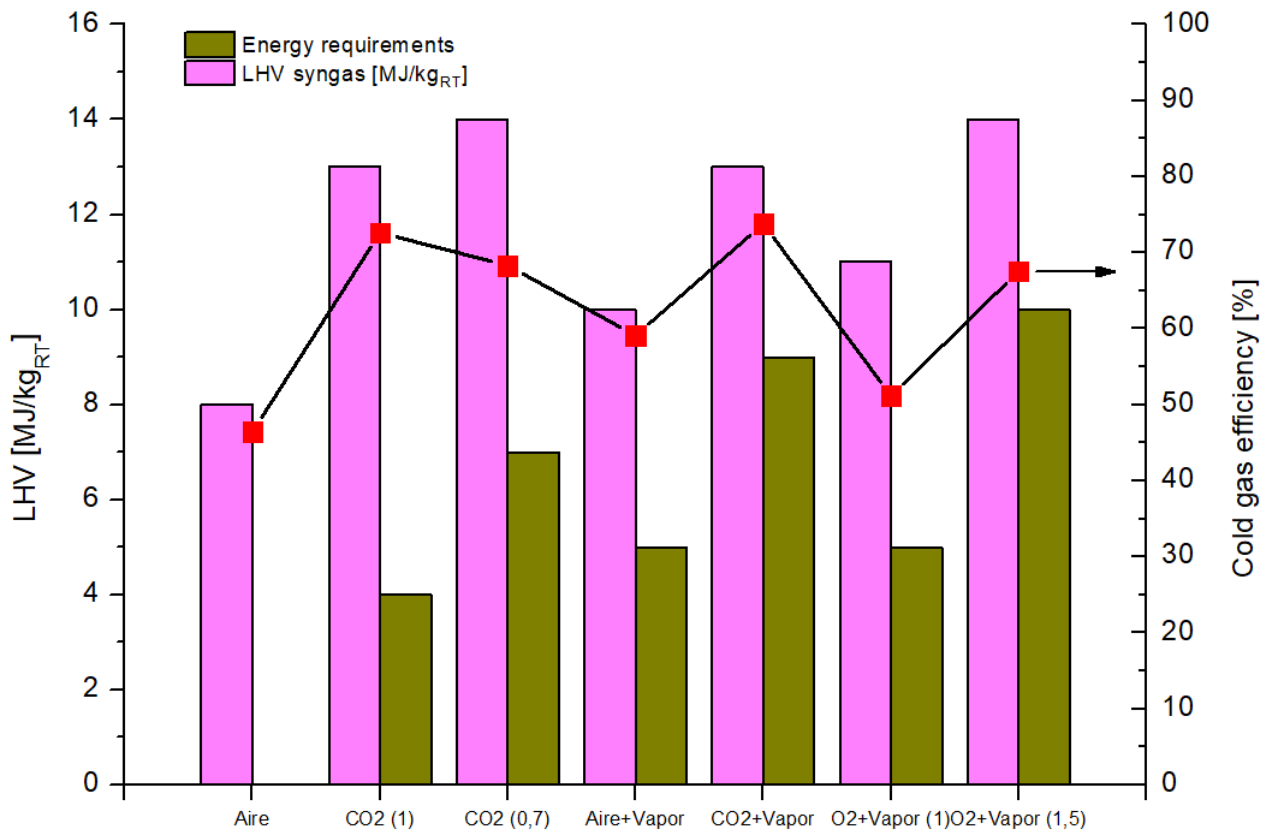


Figura 3. Energía necesaria por kg de residuo textil, LHV de cada gas de síntesis y cold gas efficiency de cada experimento.