04-031

# STUDY OF THE ENERGY RECOVERY OF THE REJECT FRACTION OF A SORTING AND COMPOSTING PLANT BY GASIFICATION

Latorre Valverde, Laura (1); Garcia Fayos, Beatriz (1); Montañes Sanjuan, Maria Teresa (1); Arnal Arnal, Jose Miguel (1)

(1) Universitat Politècnica de València

Municipal solid waste generation has become a critical problem on a global scale. Increasing population and quality of life is leading to large amounts of waste generation that contribute substantially to climate change and pollution, due to the gases and leaches they generate. In order for the European Union to achieve the waste management targets set for the year 2035, the energy recovery from waste must be favoured over landfill disposal. This work addresses this problem, and its aim is to propose an energy recovery solution for the reject fraction of a sorting and composting plant. As an alternative to landfill disposal of this reject fraction, a gasification process will be studied. The thermal treatment will produce a synthesis gas that could be used for different applications depending on its final composition, thus betting on a sustainable waste management model capable of addressing and mitigating current environmental problems. Furthermore, the process stages will be defined, and the necessary equipment will be selected. Finally, the necessary budget will be estimated.

Keywords: gasification; energy recovery; sorting and composting plant

# ESTUDIO DE LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DEL RECHAZO DE UNA PLANTA DE TRIAJE Y COMPOSTAJE MEDIANTE GASIFICACIÓN

La producción de residuos urbanos se ha convertido en un problema crítico a nivel mundial. El aumento de la población y de la calidad de vida hace que se generen grandes cantidades de residuos que contribuyen notablemente al cambio climático y a la contaminación, debido a los gases y lixiviados que estos generan. Para que la Unión Europea alcance los objetivos fijados para el año 2035 en materia de gestión de residuos, se ha de favorecer la valorización energética de éstos frente a su deposición en vertederos. El presente trabajo aborda esta problemática y tiene como objetivo proponer una solución de valorización energética a la fracción de rechazo de una planta de triaje y compostaje. Como alternativa a la deposición en vertedero de esta fracción de rechazo, se estudiará su tratamiento mediante gasificación. Tras el tratamiento térmico se obtendrá un gas de síntesis que podrá utilizarse para diferentes aplicaciones según su composición final, apostando de esta forma por un modelo de gestión de residuos sostenible y capaz de abordar y mitigar los problemas ambientales actuales. Asimismo, se definirán las etapas del proceso y se seleccionarán los equipos necesarios. Por último, se estimará el presupuesto de implantación.

Palabras clave: gasificación; valorización energética; planta de triaje y compostaje

Correspondencia: Beatriz García Fayos. Correo: beagarfa@iqn.upv.es



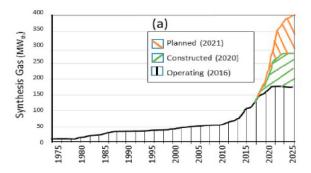
#### 1. Introducción

Debido al modelo de economía lineal, anualmente se generan 2010 millones de toneladas de residuos, y los especialistas advierten sobre el aumento de esta cifra con el paso de los años. En Europa se está atajando el problema y en la Directiva de 2018 sobre gestión de residuos se establece que para el año 2035 se debe cumplir con un máximo de un 10% de residuos destinados a vertedero (Directiva 2018/851). Actualmente en España se destina a vertedero un porcentaje muy superior (55%) al 10% que marca el objetivo citado (Eurostat, 2019).

La gasificación es un proceso termoquímico mediante el cual se convierten materiales carbonosos en un gas de síntesis o syngas, el cual está compuesto por concentraciones variables de: H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> (si se utiliza aire como agente gasificante), así como de otros hidrocarburos ligeros. Este gas de síntesis puede utilizarse para múltiples usos según su composición: obtención de energía, de compuestos químicos o de combustibles líquidos o gaseosos. La composición del syngas depende principalmente del tipo de reactor empleado y el agente gasificante utilizado en el proceso (Ilie Ionut C., 2019).

Por otra parte, en el proceso de gasificación se genera una atmósfera reductora por lo que la formación de dioxinas y furanos no se ve favorecida; por tanto, se tienen menores requerimientos de depuración. Como consecuencia, la utilización, el uso y la planificación y construcción de proyectos de gasificadores, está aumentando significativamente con el tiempo. Este hecho queda reflejado en la Figura 1.

Figura 1. Gasificadores planeados, construidos y en operación por año (Janajreh y col., 2021).



A nivel industrial existen empresas que desarrollan la gasificación como tecnología para valorizar residuos energéticamente. La gran mayoría de gasificadores de esta tipología se encuentran en la región de Asia-Pacífico. La empresa líder en esta región es Nippon Steel Engineering (Nippon Steel, s.f.), la cual realiza proyectos de valorización energética por gasificación empleando el sistema Direct Melting System (DMS), que consiste en la vitrificación de la ceniza para obtener una escoria inertizada.

#### 2. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es estudiar la posibilidad de gasificar la fracción de rechazo que se está generando actualmente en la planta de triaje y compostaje de residuos urbanos ubicada en Quart de Poblet (Valencia), así como diseñar una planta de valorización energética mediante este proceso para tratar dicha fracción de rechazo. Para lograr este objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las características óptimas de los pellets a alimentar al gasificador. De esta forma, se podrá obtener la composición del gas de síntesis producto y justificar la elección de la aplicación de dicho gas mediante bibliografía.
- Realizar el diseño de la instalación asegurando que la planta diseñada cumple con la normativa ambiental vigente y con los objetivos que dicta la Unión Europea en materia de gestión de residuos.

### 3. Metodología

En el presente proyecto se pretende gasificar pellets compuestos por la fracción de rechazo de la planta de triaje y compostaje de residuos urbanos ubicada en Quart de Poblet (Valencia). La metodología que se va a seguir para la consecución de este proyecto es la siguiente:

- 1. Determinar la composición de la fracción de rechazo.
- 2. Diseño de pellets cilíndricos de tamaño y diámetro determinados.
- 3. Definición de los requerimientos de la alimentación:
  - Humedad: se buscará en bibliografía el contenido en humedad de cada componente de la fracción de rechazo.
  - Densidad: se buscará en bibliografía la densidad de cada componente de la fracción de rechazo.
- 4. Determinar la cantidad de agente gasificante necesario para que se produzca el proceso. Para ello, se parte de las medidas experimentales de un estudio encontrado en bibliografía (Arena U., 2015).
- 5. Determinar la composición del gas de síntesis obtenido.
- 6. Obtener la relación H₂/CO del gas de síntesis, la cual permite decidir el uso que se le podrá dar a dicho producto.
- 7. Realizar una selección de equipos acorde al uso que se le vaya a dar al gas y calcular la eficiencia global del proceso.

#### 4. Resultados

La planta objeto de este trabajo recibe anualmente 350.000 toneladas de residuos urbanos. Del proceso de triaje resulta una fracción de rechazo, la cual actualmente termina depositada en vertedero controlado puesto que la planta no cuenta con una instalación de valorización energética.

### 4.1. Caracterización de la fracción de rechazo a tratar

Para poder escoger un reactor adecuado, es necesario determinar las características de la fracción de rechazo. En la Tabla 1 se muestra la cantidad y la composición (porcentaje en peso) de la fracción de rechazo procedente de esta planta, además de la composición química elemental de cada fracción (Tchobanoglous y col.,1994).

Tabla 1. Composición de la fracción de rechazo.

Comp. del rechazo	Toneladas /año	% en peso	%C	%Н	%O	%N	%S	%CI	%Ceniza
Papel / Cartón	749,70	2,86	43,40	5,8	44,3	0,3	0,2	0	6
Bricks	25,41	0,10	43,00	5,9	44,8	0,3	0,2	0	5
Latas aluminio	4,75	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
Metales	480,00	1,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
PET	3.370,40	12,84	85,20	14,20	0,00	0,10	0,10	0,00	0,40
PEAD	5.561,16	21,19	85,20	14,20	0,00	0,10	0,10	0,00	0,10
Film	16.047,68	61,16	85,20	14,20	0,00	0,10	0,10	0,00	0,20
Materia orgánica	0,00	0,00	48,00	6,40	37,60	0,40	0,40	0,00	5,00
Vidrio	0,00	0,00	0,50	0,10	0,40	0,00	0,00	0,00	98,90
Sur	na ponderada	ı	82,39%	13,69%	1,31%	0,10%	0,10%	0,00%	2,22%

De la Tabla 1 se puede determinar la cantidad anual de residuo a tratar en la planta de gasificación, la cual resulta de 26240 toneladas/año.

Los gasificadores dependen de las características del alimento a emplear; por este motivo, es crucial determinar el porcentaje de humedad y densidad total de la fracción de rechazo. A partir de los valores de densidad y humedad de cada componente de la fracción, obtenidos a partir de datos bibliográficos, se puede determinar la humedad y la densidad totales del residuo. La humedad total resulta con un valor de 2,28% en peso y la densidad total de 80 Kg/m³.

#### 4.2. Elección del reactor y del agente gasificante

A partir de las características de la fracción de rechazo obtenidas en el apartado 4.1 se puede seleccionar un reactor adecuado para el estudio. En la Tabla 2 se muestran los principales reactores que se pueden emplear y las características de los mismos a tener en cuenta (Knoef, H.,2005).

Tabla 2. Comparación de las características de operación de los gasificadores.

	Lecho fijo		Lecho	Lecho	Lecho
	Flujo paralelo	Flujo contracorriente	fluidizado burbujeante	fluidizado circulante	arrastrado
Tamaño de partículas mínimo (mm)	40 – 100	10 – 250	10	1 – 10	0,1 – 1
Densidad aparente (kg/m³)	> 500	> 400	> 100	> 100	> 400
Agente gasificante típico	Aire/Vapor de agua	Aire/Vapor de agua	Aire/Vapor de agua	Oxígeno/Vapor de agua	Oxígeno/Vapor de agua
PCI del gas (MJ/Nm³)	4,5 – 5,0	5,0 - 6,0	5,0 – 5,5	15 – 20	15 – 22

Cabe destacar que, según el modelo de reactor, se presentan diferentes valores mínimos de tamaño de partícula en la corriente de entrada. Por este motivo, se le realizará un proceso de peletización a la alimentación; lo que posibilita que la densidad del residuo aumente. Se sabe que la densidad en la fracción de rechazo ha resultado con un valor de 80 Kg/m³. En el caso a estudiar, se garantizará que tras el proceso de peletización, se alcance una densidad ligeramente superior a los 100 kg/m³. De esta forma, se optaría por el uso de un reactor de tipo lecho fluidizado. Dado que los reactores de tipo burbujeante presentan una fácil escalabilidad y, al operar a menor velocidad que el de tipo circulante, produce un menor arrastre del lecho, se ha optado por escoger dicho reactor.

Por otra parte, se puede asumir que el porcentaje de humedad de la corriente de rechazo es el mismo que el de los pellets fabricados, pues la variación de humedad debida al proceso de extrusión para fabricar los pellets se puede considerar despreciable al trabajar con un porcentaje muy bajo de tan solo un 2,28% en peso. Este porcentaje de humedad resulta adecuado para un proceso de valorización energética ya que el poder calorífico aumenta conforme la humedad es menor.

En cuanto a las dimensiones de los pellets, para un reactor de tipo lecho fluidizado burbujeante, el tamaño mínimo que deben tener es de 10 mm. Teniendo en cuenta dicha limitación, los pellets diseñados tendrán unas dimensiones de 30 mm de longitud y 5 mm de diámetro.

Finalmente, en cuanto a la selección del agente gasificante a emplear, para un reactor de tipo lecho fluidizado burbujeante los agentes gasificantes típicamente empleados son: el aire y el vapor de agua. Para el diseño se ha decidido emplear aire con obieto de abaratar costes.

#### 4.3. Cálculo de la cantidad de agente gasificante necesaria

Una vez determinado el reactor, se puede determinar el requerimiento de agente gasificante y la composición del gas de salida. Para ello, se hace uso de valores experimentales bibliográficos obtenidos mediante la gasificación de pellets procedentes del rechazo de una planta italiana con un reactor de tipo lecho fluidizado burbujeante (Arena U., 2015).

En la Tabla 3 se compara la composición elemental del residuo bibliográfico con la composición del rechazo de la planta de Quart de Poblet (Valencia). Se puede observar que existen algunas diferencias, por lo que se realizarán los cálculos pertinentes y diferentes suposiciones para ajustarse al caso de estudio.

•	n del residuo gráfico	Composición de la fracción de rechazo de Quart de Poblet		
Elemento químico	%peso	Elemento químico	%peso	
С	43,30	С	82,39	
Н	6,25	Н	13,69	
N	0,68	N	0,10	
S	0,20	S	0,10	
CI	0,15	CI	0,00	
Ο	29,97	0	1,31	
Humedad	6,40	Humedad	2,28	
Cenizas	19,45	Cenizas	2,22	

Para determinar la cantidad de aire a introducir en el gasificador, se calcula el porcentaje de aire con respecto al necesario para una combustión completa que se necesita para gasificar el residuo bibliográfico. A partir de la fórmula empírica del residuo se plantea la reacción de combustión completa:

$$C_{852}H_{1463}O_{443}N_{11}SCl + \frac{2005}{2}O_2 \rightarrow 852\ CO_2 + \frac{1462}{2}\ H_2O + 11\ NO + SO_2 + HCl \tag{1}$$

Tomando como base de cálculo 1 kg de residuo, se pueden determinar por estequiometría los moles de oxígeno y de aire necesarios para la combustión completa, así como la masa:

$$\frac{2005}{2} moles \ de \ O_2}{1 \ mol \ residuo} \cdot 0,03966 \ moles \ residuo = 39,76 \ moles \ de \ O_2/kg \ residuo$$

moles de aire = 
$$\frac{moles de O_2}{0.21} = \frac{39,76 \ moles de O_2}{0.21} = 189,33 \ moles de aire/kg residuo$$

masa de aire = moles de aire · Pm aire = 
$$189,33 \frac{mol}{kg \ residuo}$$
 ·  $28,84 \frac{gramo}{mol}$   
=  $5,46 \frac{kg \ aire}{kg \ residuo}$ 

Por otra parte, en la bibliografía empleada (Arena U., 2015) se indica un ratio que permite calcular la masa de aire empleada para gasificar 1 kg de residuo:

$$\frac{kg \ aire}{kg \ residuo} = 1.8 \rightarrow Masa \ aire \ gasificación = 1.800 \ kg \ de \ aire$$

La relación entre la masa de aire necesaria para gasificar y la que sería necesaria para una combustión completa del residuo bibliográfico resulta ser de 32,96%.

Dicho porcentaje se aplica a la cantidad de aire necesario para la combustión completa del residuo a tratar en el presente estudio; de esta forma, se determina la cantidad de agente gasificante a introducir en el gasificador. Se procede, por tanto, análogamente, a determinar la cantidad de aire necesaria para realizar la combustión completa de los pellets de estudio, los cuales tienen la siguiente fórmula empírica:  $C_{2199}H_{4346}O_{26}N_2S$ .

$$C_{2199}H_{4346}O_{26}N_2S + \frac{6549}{2}O_2 \rightarrow 2199\ CO_2 + 2173\ H_2O + 2\ NO + SO_2$$
 (2)

Sabiendo que se reciben 26240 t/año de combustible a tratar en el gasificador, y siguiendo el procedimiento de los cálculos anteriormente detallados, se obtiene una cantidad de  $3,605 \cdot 10^{11}$  gramos de aire necesaria para la combustión completa del residuo.

Finalmente, se puede determinar la cantidad de agente gasificante a introducir en el reactor, la cual será el resultado de multiplicar la masa de aire necesaria para la combustión completa por el porcentaje de aire con respecto al de combustión completa necesario para realizar el aporte subestequiométrico de oxígeno, el cual se ha determinado previamente:

masa de aire gasificador =  $3,605 \cdot 10^{11}$  gramos  $\cdot 0,3296 = 11,88 \cdot 10^{10}$  gramos/año

$$\frac{kg\ aire}{kg\ residuo} = \frac{11,88 \cdot 10^7}{26239,1 \cdot 10^3} = 4,53$$

#### 4.4. Determinación de la composición del gas de síntesis

El gas está formado por los siguientes compuestos mayoritarios (N2, CO2, CO, H2, CH4, C2H4, C2H6, C2H6, C3H6, C6H6), y los siguientes compuestos minoritarios (HCI, H2S, NH3, elutriados de carbono y alquitrán). Para determinar la composición del gas de síntesis que se obtendría mediante la gasificación de la fracción de rechazo de Quart de Poblet, se parte de los datos experimentales de composición del gas obtenido a partir del residuo bibliográfico mencionado anteriormente. A partir de dichos datos experimentales, se pueden determinar las cantidades en masa de C, H y N que pasan a formar parte de cada uno de los compuestos que constituyen el gas de síntesis. Si se dividen dichas masas entre la masa de C, H y N disponible en el residuo bibliográfico, se obtiene el % de C, H y N que pasa a formar parte de cada compuesto. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Porcentajes en peso de carbono e hidrógeno del residuo bibliográfico que forman parte de los diferentes compuestos mayoritarios del gas de síntesis.

Compuesto	%C	%Н	%N
N <sub>2</sub>	-	-	-
CO <sub>2</sub>	33,25	-	-
со	28,62	-	-
H <sub>2</sub>	-	21,89	-
CH₄	9,50	21,94	-
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	9,48	10,94	-
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,27	0,47	-
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,84	0,49	-
C₃H <sub>6</sub>	0,15	0,17	-
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,67	0,77	-
Elutriados de carbono	17,22	43,30	-
Alquitrán			
HCI	-	0,005	-
H <sub>2</sub> S	-	0,004	-
NH <sub>3</sub>	-	0,012	0,51

Manteniendo dichos porcentajes constantes para el residuo de Quart de Poblet, se puede determinar la masa de todos los compuestos mayoritarios con C que se forman. Para ello, se multiplica el porcentaje de C mostrado en la Tabla 4 por la masa de C presente en la fracción de rechazo. A partir de estos valores, se determina por estequiometría la cantidad en masa de H que se invierte en su formación.

Análogamente, se realiza el mismo procedimiento para los compuestos minoritarios. Cabe realizar una serie de suposiciones ya que la cantidad de azufre no es la misma en el residuo de estudio que en el residuo bibliográfico y, además, el residuo del estudio no contiene cloro en su composición. Como se trata de compuestos minoritarios, se asume que el error que se comete con las suposiciones es pequeño. Las suposiciones que se han efectuado son las siguientes:

- Todo el azufre del residuo se transforma en H<sub>2</sub>S.
- El porcentaje de N de residuo que pasa a formar parte del NH<sub>3</sub> es el mismo que con el residuo bibliográfico.

Por último, se realiza un balance de materia para calcular el  $N_2$  presente en el gas como la suma del  $N_2$  introducido por el aire y el N perteneciente al residuo:

• Nitrógeno introducido mediante el aire:

moles de aire = 
$$\frac{masa\ de\ aire}{Pm\ aire}$$
 =  $\frac{11,88\cdot 10^{10}\ gramos}{28,84\ gram\ o/m\ ol}$  =  $4,12\cdot 10^9\ moles$   
moles de  $N_2$  = moles de aire  $\cdot$  0,79 =  $3,25\cdot 10^9\ moles$   
moles de  $N$  =  $2\cdot moles\ de\ N_2$  =  $2\cdot 3,25\cdot 10^9$  =  $6,51\cdot 10^9\ moles$   
masa  $N$  = moles de  $N\cdot Pa$  =  $6,51\cdot 10^9\cdot 14$  =  $9,11\cdot 10^{10}\ gramos\ de\ N$ 

• Nitrógeno introducido por el residuo:

$$26682025,8 \cdot (1 - 0,00512) = 26545947,47 \ gramos \ de\ N$$

El nitrógeno total presente en el gas de síntesis será la suma de ambas contribuciones:  $9,1126 \cdot 10^{10} \ gramos \ de \ N$ .

Finalmente, la composición del gas de síntesis obtenido a partir del rechazo de la planta de Quart de Poblet se muestra en la Tabla 5. Y el volumen total de gas obtenido resulta ser de  $11,60\cdot 10^7~Nm^3$ , que expresado por kilogramo de residuo resulta de  $4,42~\frac{Nm^3~syngas}{kg~residuo}$ .

Tabla 5. Composición del gas de síntesis que se obtendría a partir del rechazo de la planta de triaje y compostaje de Quart de Poblet.

Composición del syngas	Moles de compuesto	Volumen de compuesto (Nm³)	%volumen	
N <sub>2</sub>	3254519498	72895704	62,80	
CO <sub>2</sub>	585296476	13109646	11,29	
СО	503829829	11284932	9,72	
H <sub>2</sub>	569643453	12759045	10,99	
CH₄	167289800	3747007	3,23	

# Continuación de Tabla 5. Composición del gas de síntesis que se obtendría a partir del rechazo de la planta de triaje y compostaje de Quart de Poblet

Composición del syngas	Moles de compuesto	Volumen de compuesto (Nm³)	%volumer	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	83427075	83427075 1868625		
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	<b>C₂H</b> <sub>6</sub> 7406059 165883		0,14	
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	7406059	165883	0,14	
C₃H <sub>6</sub>	871301	19516	0,02	
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1960427	43910	0,04	
H₂S	810143	18146	0,02	
NH <sub>3</sub>	9750	218	0,0002	
Volumen total form	ado (Nm³/año)	116078515		

## 4.5. Determinación del posible uso del gas de síntesis

Por otra parte, el uso que se le puede dar al gas de síntesis viene dictado por la relación H<sub>2</sub>/CO. Al calcular dicha relación con los valores de composición obtenidos, el valor resulta de 0,08:

$$\frac{H_2}{CO} = \frac{1139286905}{14107235203,6} = 0.08$$

En la Tabla 6 se muestran los requerimientos del gas de síntesis para los distintos usos que se le pueden dar (Ruiz & Sánchez, 2014).

Tabla 6. Requerimientos del gas de síntesis en función del posible uso.

	Combust. sintético, Gasolina, Diesel FT	Metanol	Hidróge no	Caldera	Turbina	Motor combustión interna
H₂/CO	0,6	2	1	Indifere nte	Indiferent e	Indiferente
Presión (bar)	20 – 30	50 (líquido) 140 (vapor)	20	1	1	Ţ

Continuación de Tabla 6.	Requerimientos del ga	as de síntesis en	función del posible uso.

	Combust. sintético, Gasolina, Diesel FT	Metanol	Hidrógeno	Caldera	Turbina	Motor combustión interna
Temperatura (°C)	200 – 400	100 – 200	100 – 200	250	500 – 600	<b>↓</b>
Contaminante	< 1 ppm S, ↓ partículas	< 1 ppm S, ↓ partículas	< 1 ppm S, ↓ partículas	-	↓ partícula s y metales	↓ partículas y metales

Como se puede observar en la Tabla 6, de acuerdo con la relación H<sub>2</sub>/CO calculada, el gas de síntesis obtenido a partir del rechazo de la planta de triaje y compostaje de Quart de Poblet es apto para obtención de energía mediante caldera, turbina y motor de combustión interna. En el presente trabajo se ha decidido que el gas se utilice en un motor de combustión interna para producir energía eléctrica.

### 4.6. Diagrama de flujo del proceso

Una vez determinado el uso del gas de síntesis, se ha realizado una selección de equipos adecuada y se diseñado el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 2.

RELIENO DEL LECHO FLO

FRACCIÓN DE RECHAZO

TI

Perticular

(a gestioner)

AGUA DE REC

ENERGÍA

ENERGÍA

ELÉCTRICA

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de gasificación

La planta de gasificación diseñada consta de los siguientes elementos: trituradora, peletizadora, gasificador de lecho fluidizado burbujeante, intercambiador de calor gas-aire,

ciclón, tamizadora, mezcladora, colector húmedo, filtro mangas, motor de combustión interna y generador.

#### 4.7. Cálculo de la eficiencia global y del gasificador

En el presente apartado se calcula la eficiencia del gasificador y la eficiencia global del proceso, para lo cual es necesario calcular previamente el calor generado y el calor suministrado:

$$\begin{aligned} \textit{Calor generado} &= \textit{V}_{\textit{gas sintesis}} \cdot \textit{PCI}_{\textit{gas}} = 60636514,23 \, \frac{\textit{kcal}}{\textit{h}} \\ \textit{Calor suministrado} &= \textit{masa}_{\textit{residuo}} \cdot \textit{PCI}_{\textit{residuo}} = 117123433,2 \, \frac{\textit{kcal}}{\textit{h}} \\ & \textit{Eficiencia gasificador} = \frac{\textit{Calor generado}}{\textit{Calor suministrado}} \cdot 100 = 51,77\% \end{aligned}$$

La eficiencia en este tipo de equipos suele estar en el rango de 50-70% (García Herrero, E. A., 2012), por lo que se puede afirmar que la eficiencia del gasificador calculada resulta adecuada. Si se tiene en cuenta que los rendimientos del motor y del generador son de 0,25 y 0,9, respectivamente, la eficiencia global del proceso viene dada por:

$$Eficiencia\ global = \frac{Calor\ generado \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{generador}}{Calor\ suministrado} \cdot 100 = 11,65\%$$

# 4.8. Cálculo de la energía eléctrica que aporta el proceso de gasificación. Ahorro energético

Partiendo de que se producen 116078514 Nm³ de gas de síntesis con un PCI aproximado de 5,25 MJ/Nm³ y que los rendimientos del motor y generador son de 0,25 y 0,9, respectivamente, se puede calcular la energía eléctrica que se produciría en el proceso de gasificación. Esta resulta ser de 38088293 kWh/año. Por otra parte, la planta de Quart de Poblet tiene un requerimiento energético anual de 15000000 kWh.

Teniendo esto en cuenta se puede calcular el ratio entre ambos valores y determinar el porcentaje de energía que se podría suplir con la planta de gasificación diseñada. El resultado obtenido es del 254%. Es decir, se puede suplir en su totalidad la energía de la planta de Quart de Poblet. Como el resultado es mayor al 100% podría almacenar el excedente de energía eléctrica para poder ser usada durante los tramos de hora punta, con objeto de abaratar los costes eléctricos de la planta, o venderla.

### 5. Conclusiones

Una vez finalizado el estudio de la valorización energética del rechazo de la planta de triaje y compostaje de Quart de Poblet mediante gasificación, se alcanzan las siguientes conclusiones.

La composición de la fracción de rechazo de la planta de triaje y compostaje de Quart de Poblet es adecuada para ser gasificada en un reactor de tipo lecho fluidizado burbujeante, el cual utiliza aire como agente gasificante.

Se ha determinado que son necesarios  $15,36\cdot 10^7$  m³ de aire para gasificar las 26240 t/año de fracción de rechazo que produce la planta de triaje y compostaje. La relación kg aire/kg de residuo resulta de 4,53.

La gasificación diseñada genera un volumen anual 116078514 Nm³ de gas de síntesis con una relación H₂/CO de valor 0,08, la cual indica que el gas producto es apto para ser empleado en un motor de combustión interna.

La eficiencia del gasificador es adecuada y tiene un valor de 51,77% y la eficiencia global del proceso para producir energía eléctrica es de 11,65%.

En trabajos futuros, si se quisiera aumentar la eficiencia del gasificador, se debería estudiar el uso de otro tipo de agente gasificante, como puede ser el oxígeno puro, el cual evita el efecto de dilución en el gas de salida.

Asimismo, se recomienda realizar ensayos en planta piloto para verificar los resultados estimados en este trabajo mediante cálculo.

#### 6. Referencias

Arena, U. (2015). A techno-economic evaluation of a small-scale fluidized bed gasifier for solid recovered fuel. *Fuel Processing Technology*, 131, 69-77

Eurostat. (2019). *Recycling rate of municipal waste*. Obtenido el 10 de agosto de 2021, desde https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei wm011/default/bar?lang=en

García Herrero, E. A. (2012). Diseño básico del tren de limpieza de gases de turbina de una central de gasificación con ciclo combinado IGCC (Proyecto final de carrera, Universidad Carlos II de Madrid, 2012. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/15322

Ilie Ionut, C. (2019). Diseño del proceso de gasificación para los combustibles sólidos recuperados procedentes de una planta de tratamiento mecánico biológico (Tesis Fin de Máster, Universitat Jaume I de Castellón, 2019). Obtenido de http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/183434.

Janajreh y col. (2021). A review of recent developments and future prospects in gasification systems and their modelling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110505

Knoef, H. (2005). Handbook Biomass Gasification. Países Bajos: Drukkerij Giethoorn ten Brink

Nippon Steel Engineering. (s.f.). *Direct Melting System*. Obtenido de https://www.eng.nipponsteel.com/english/whatwedo/upload/docs/Direct%20Melting%20Syste m%20Brochure.pdf

Unión Europea. Directiva 94/62/CE de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases: [internet] Diario Oficial de la Unión Europea, de 31 de diciembre de 1994, núm 365, pp-10-23. Disponible en:https://eurlex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32018L0852

Ruiz, E., & Sánchez, J. M. (2014). *Purificación y acondicionamiento del gas de gasificación de biomasa*. Boletín Grupo Español Carbón, 33, 15-19

Tchobanoglous y col. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Madrid (España): McGraw-Hill. 1

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible





