ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1567

Estimación del potencial de energía eléctrica mediante la gasificación de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Trujillo, Perú

Ariana Nayely Cárdenas Chumpitaz [1], Wiliam Salvador Segura Rodriguez[2]
[1] universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, u201922463@upc.edu.pe
[2] universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, pciiwseg@upc.edu.pe

Resumen*– La gestión inadecuada de los residuos sólidos urbanos representa un desafío importante para la sostenibilidad ambiental del Perú. Este estudio estima el potencial de generación de energía eléctrica de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Trujillo, caracterizados como 55,46% orgánicos, 26,31% inorgánicos y 8,58% peligrosos. Utilizando el software Aspen Plus®, se modeló el proceso de gasificación empleando un reactor downdraft y, mediante el software especializado Stat-Ease 360 V.23.1, se optimizó el rendimiento energético del gas de síntesis. El ANOVA demostró un excelente ajuste del modelo para una relación airecombustible mínima de 0,6 y una temperatura máxima de 900 °C, alcanzando un rendimiento óptimo de generación térmica de 462,08 TJ/h y un poder calorífico de 11,16 MJ/kg. El gas de síntesis alimenta a los motogeneradores Jenbacher 624, que tiene una eficiencia eléctrica del 42,1%, obteniéndose una potencia total de 52,96 MW. Esta potencia representa un aporte considerable dentro del sistema energético local y regional. Con esta aplicación se logra cubrir la demanda de energía de aproximadamente el 91,88% de la población urbana de la provincia de Trujillo, lo cual evidencia el impacto positivo de esta tecnología emergente. Adicionalmente, se estimó una reducción de emisiones de CO_2e en 209.730 toneladas anuales por sustitución de energía fósil. Estos resultados destacan claramente la viabilidad técnica, económica y ambiental de la valorización energética de residuos sólidos urbanos como una estrategia eficaz para mitigar el cambio climático y avanzar hacia un modelo energético más sostenible, resiliente y alineado con los objetivos de desarrollo sostenible del país.

Palabras Clave: Residuos Sólidos Urbanos, Gasificador Downdraft, Rendimiento energético, Potencial de Energía Eléctrica, Reducción de emisiones de CO2e

I. Introducción

La creciente urbanización, la mejora del nivel de vida y el aumento del crecimiento económico han provocado un aumento constante en la generación de Residuos Sólidos Municipales en todo el mundo [1]. Esta categoría, también conocida como residuos sólidos urbanos (RSU), comprende los desechos generados principalmente en hogares, así como aquellos provenientes de establecimientos comerciales, oficinas cuya composición son similares a los domiciliarios [2]. Esta tendencia preocupante se refleja en datos impactantes: se proyecta que la generación anual de RSU alcanzará los 2.720 millones de toneladas para el año 2050 [3]. Sin embargo, este aumento excesivo plantea importantes desafíos, ya que los gobiernos regionales se enfrentan a la falta de espacio y a los altos costos asociados con su eliminación, sólo el 33% de los RSU se eliminan de manera segura desde el punto de vista ambiental, mientras que el resto termina en botaderos [4]. A pesar de los avances en los sistemas de gestión de RSU, que incluyen medidas de prevención, reducción, separación, reciclaje y recuperación de energía, su gestión sigue siendo muy limitada [5]. En Perú, la situación es comparable, ya que se producen más de 23.000 toneladas de residuos sólidos al día y el país dispone de solo 52 rellenos sanitarios, lo que resulta en un déficit del 85% en la capacidad de gestión de residuos [6].

II. Materiales y métodos

A. Área de estudio y recolección de la muestra

El área de estudio se ubica en la infraestructura de disposición final de RSU denominado El Milagro, perteneciente al Distrito de Huanchaco, Provincia de Trujillo, en el departamento de La Libertad. Dentro del botadero se delimitó un área de disposición reciente, bajo una metodología combinada entre la Guía de caracterización de residuos sólidos municipales [7]. Asimismo, la Guía de muestreo de suelos establecidos por el Ministerio del Ambiente [8]. Se identificó 6 puntos de muestreo, donde se recolectaron 1 kg de residuos sólidos que fue trasladado al laboratorio para que se le haga un análisis elemental y proximal tal como se muestra en la Fig. 1.

Fig. 1 Ubicación de los puntos de muestreo en la infraestructura de disposición final "EL Milagro".

B. Simulación con Aspen Plus®

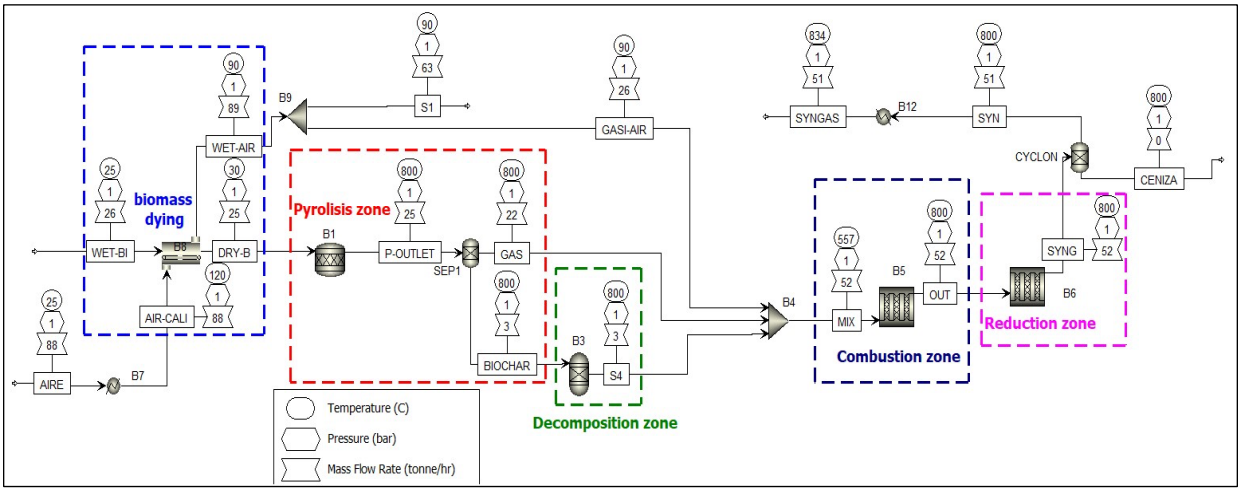


Fig. 2 Diseño de proceso de gasificación Downdraft con Aspen Plus.

La gasificación incluye los procesos de secado- piròlisis- (gasificación). Las reacciones químicas en la zona de combustion, la zona de reducción, sociando sus respectivas cinéticas de Arrhenius.

El modelado del proceso de gasificacón se llevó a cabo utilizando el software Aspen Plus ® V14.0, implementando un reactor de tipo downdraft. datos obtenidos a partir del análisis elemental y proximal de los residuos sólidos urbanos (RSU). cada reacción [9].

TABLA I REACCIONES EN LA ZONA DE COMBUSTIÓN

Reacción	N. º Reacción
$1{,}25\ C + O_2 \rightarrow 0{,}5\ CO + 0{,}75\ CO_2$	R1
$CO + 0{,}5\ O_2 \rightarrow CO_2$	R2
$CH_4 + 0{,}5\ O_2 \rightarrow CO + 2\ H_2$	R3
$H + 0{,}5\ O_2 \rightarrow CO + 2\ H_2$	R4
$C_6H_6O + 4\ O_2 \rightarrow 6\ CO + 3\ H_2O$	R5
$C_6H_6O + 4{,}5\ O_2 \rightarrow 6\ CO + 3\ H_2O$	R6

TABLA II
CINÉTICA DE ARRHENIUS DE LAS REACCIONES EN LA ZONA DE COMBUSTIÓN

Cinética de Arrhenius (kmol/m^3·s)	N. ºReacción
$3{,}7 \times 10^{10}\ T\ x\ e^{(-\frac{150000}{RT})}[O_2]$	R1
$1{,}78 \times 10_{10}\ x\ e_{(-\frac{180000}{RT})}[O_2]_{0.25}[CO][H_2O]_{0.5}$	R2
$1{,}58 \times 10_{12}\ x\ e_{(-\frac{202000}{RT})}[O_2]_{0.8}[CH_4]_{0.7}$	R3
$1{,}08 \times 10^{7}\ x\ e^{(-\frac{150000}{RT})}[O_2][H_2]$	R4
$655\ x\ e^{(-\frac{80200}{RT})}[O_2][C_6H_6O]^{0.5}$	R5
$2{,}4\ x\ 10_{11}\ e_{(-\frac{126000}{RT})}[O_2][C_6H_6O]_{0.5}$	R6

TABLA III combustión (oxidación)-reducción

REACCIONES EN LA ZONA DE REDUCCIÓN

Reacción	N. º Reacción
$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	R7
$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	R8
$CO_2 + H_2 \rightarrow CO + H_2O$	R9
$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$	R10
$C + CO_2 \rightarrow 2\ CO$	R11
$C_6H_6O \rightarrow CO + 0{,}4\ C_{10}H_8 + 0{,}15\ C_6H_6 + 0{,}1\ CH_4 + 0{,}75\ H_2$	R12
$C_6H_6O \rightarrow 3\ H_2O \rightarrow 4\ CO + 0{,}5\ C_2H_4 + CH_4 + 3\ H_2$	R13
$C_{10}H_8 \rightarrow 6{,}5\ C + 0{,}5\ C_6H_6 + 0{,}5\ CH_4 + 1{,}5\ H_2$	R14

TABLA IV CINÉTICA DE ARRHENIUS EN LA ZONA DE REDUCCIÓN

Cinética de Arrhenius (kmol/(m^3 s))	Nº Reacción
$0.008\ x\ e^{(-\frac{49900}{RT})}[C][H_2O]$	R7
$278\ x\ e^{(-\frac{12600}{RT})}[CO][H_2O]$	R8
$258\ x\ e^{(-\frac{12600}{RT})}[CO_2][H_2]$	R9
$4.92 \times 10^{-11}\ x\ e^{(-\frac{125000}{RT})}[H_2O][CH_4]$	R10
$1.05 \times 10^{13}\ x\ e^{(-\frac{135000}{RT})}[C]$	R11
$10^{7}\ x\ e^{(-\frac{100000}{RT})}[C_6H_6O]$	R12
$10^{7}\ x\ e^{(-\frac{100000}{RT})}[C_6H_6O]$	R13
$1.7 \times 10_{7}\ x\ e_{(-\frac{350000}{RT})}[C_6H_6O]_{1.6}[H_2]_{-0.5}$	R14

C. Optimización de la producción de gas de síntesis Con Aspen Plus® V14.0, se pudo predecir la composición, el flujo, y poder calorífico del gas de síntesis, con estos dos últimos valores se

obtiene la energía térmica generada para diferentes condiciones del proceso. Mediante el empleo del software Stat Easy se correlaciona los factores relación aire combustible y temperatura con energía térmica del gas de síntesis y se optimiza mediante el modelo de superficie de respuesta (RSM). La tabla V muestra las diferentes relaciones de factores analizados.

TABLA V FACTORES

Relación aire-combustible	RSU	Agente Gasificante	Temperatura °C
1	26,21	26,21	700
1	26,21	26,21	800
1	26,21	26,21	900
0.6	26.21	15.72	700
0.6	26.21	15.72	800
0.6	26.21	15.72	900
0.8	26.21	20.97	700
0.8	26.21	20.97	800
0.8	26.21	20.97	900

D. Potencial de energía eléctrica a partir del gas de síntesis

Para el presente desarrollo se optó por la utilización del motor de combustión interna Jenbacher modelo J624, debido a su capacidad para operar eficientemente con gases de bajo poder calorífico y composición compleja, como los hidrocarburos presentes en el gas de síntesis generado. El modelo J624 se distingue por su alta eficiencia en la conversión de syngas a electricidad hasta un 42.1%, gracias a un sistema avanzado de control de la mezcla aire-combustible y un diseño optimizado para combustibles alternativos. Este motor ofrece una potencia nominal de hasta 4,4 MW por unidad, lo que facilita la instalación de múltiples motores en paralelo para satisfacer la elevada demanda energética del proyecto [10].

Para calcular la potencia de energía eléctrica que brinda el proceso de gasificación se necesitaron los siguientes datos obtenidos en todo el proceso de gasificación:

TABLA VI GAS DE SÍNTESIS

UNIDAD	CANTIDAD
Volumen (m^3/h)	165.508,4822
Poder Calorífico Inferior (kJ/kg)	11.159,88043
Flujo másico de síntesis(kg/h)	41.405,55106
Densidad (kg/m^3)	0,2502

La potencia de entrada (P in) del sistema de generación de energía mediante gasificación se realiza determinando la potencia energética del syngas, que depende de su flujo másico (F) y de su poder calorífico inferior (LHV).

$$\text{P in (kW)} = \text{F } (kg/s) \times \text{LHV(kJ/kg)} \quad (1)$$

La potencia de salida (P out) es la cantidad de energía eléctrica útil que el motor de combustión interna puede generar a partir de la potencia de entrada del syngas, teniendo en cuenta la eficiencia del Sistema (Ƞ).

$$\text{P out (kW)} = \text{P in (kW)} \times \text{Ƞ(\%)} \quad (2)$$

Después de determinar la potencia de salida del sistema en megavatios (MW), se procedió a calcular la energía generada con una disponibilidad de 98%.

$$\text{Energía} = \text{Potencia} \times \text{tiempo} \times 98\%. \quad (3)$$

E. Población beneficiada

La estimación de la cantidad de viviendas en la provincia de Trujillo se realizó aplicando la metodología establecida en la Guía de Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales, aprobada por el Ministerio del Ambiente (MINAM). Asimismo, se emplearon los datos censales recopilados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), reportados por el MINAM para los años 2007 y 2018, con el objetivo de calcular la tasa de crecimiento poblacional y proyectar la cantidad actual de viviendas [11].

TABLA VII
CANTIDAD DE VIVIENDAS DEL AÑO 2007 Y 2018

AÑO	VIVIENDAS
2007	177643
2018	228660

Con una tasa de crecimiento poblacional de 2,87 % se determinó su proyección para el año 2023, mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{PF} = \text{Pi} \times (1 + 0.0287)\text{^16}. \quad (4)$$

Donde:
Pi: Población de viviendas según censo del 2007
PF: Población de viviendas final proyectada al año 2023 16: Número de años que se desea proyectar a la población, a partir de la población inicial (Pi).

Se llevó a cabo un cálculo preliminar utilizando el software estadístico Minitab (versión 21.1) para determinar el tamaño de muestra requerido en una población de 279,362 viviendas. Se estableció un margen de error del 5% y un nivel de confianza del 95%. Los resultados iniciales indicaron que era necesaria una muestra mínima de 385 viviendas para cumplir con el margen de error especificado. Una vez determinado el tamaño de muestra, se procedió a aplicar una encuesta única dirigida a los hogares seleccionados, enfocada en recopilar información

sobre el consumo energético mensual por vivienda. Posteriormente, se calculó el promedio de consumo energético anual mediante el análisis de una muestra simple utilizando la prueba t en el programa Minitab, lo que permitió obtener una estimación representativa y estadísticamente robusta para el análisis del potencial de cobertura energética del proyecto.

$$\text{Cant. de viv. beneficiadas} = \frac{\text{Energia generada}\left(\frac{kWh}{año}\right)}{\text{Consumo energético}\left(\frac{kWh}{año}\right)} \quad (5)$$

F. Reducción de emisiones de CO_2

Las toneladas de CO_2e reducidas por el desplazamiento de la energía fósil, se calcularon multiplicando la energía renovable generada por el factor de emisión del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional del Perú (FE) que para el 2023 es de 0,4221ton CO_2e/MWh.

$$\text{Ton } CO_2e \text{ reducidas} = \text{Energía}\left(\frac{MWh}{año}\right) \times FE\left(\frac{Ton}{MWh\ CO_2e}\right) \quad (6)$$

III. Resultados

G. Composición de los residuos sólidos

El análisis de la composición de los residuos sólidos estudiada, revela que los desechos orgánicos constituyen la mayor parte de la fracción de residuos, representando un 55,46% del total. El análisis proximal y elemental se muestra en las tablas VIII Y IV.

TABLA VIII

ANALISIS ELEMENTAL

Componente	Porcentaje en masa
Cenizas	0,31 %
C	47,35 %
H	6,18 %
N	0,09 %
O	46,07 %

TABLA IX

ANALISIS PROXIMAL

Componente	**Porcentaje en masa**
Humedad	20 %
Compuestos volátiles	82,29%
Carbono Fijo	17,4 %
Cenizas	0,31%

H. Simulación con Aspen Plus

Se obtuvo un flujo de gas de síntesis de 41.406,0 kg/h, con un poder calorífico de 11,1599 MJ/kg y una energía térmica de 462,081 TJ o 128,35MW térmicos; esto es para una relación aire combustible de 0,6 una temperatura de reacción de 900ºC y un flujo de biomasa de 26,21ton/h. La figura 3 muestra la composición del gas de síntesis donde destacan el CO, H2 y CH4.

	Units	CENIZA	SYN
− Mass Flows	**tonne/hr**	**0.0798584**	**41.4056**
H2	tonne/hr	0	0.310145
O2	tonne/hr	0	0
CO	tonne/hr	0	18.0552
CO2	tonne/hr	0	1.83933
CH4	tonne/hr	0	1.93987
H2O	tonne/hr	0	4.42755
C2H4	tonne/hr	0	1.10553
C2H6	tonne/hr	0	0.079248
C6H6	tonne/hr	0	0.551231
C7H8	tonne/hr	0	0.926361
C6H6O	tonne/hr	0	5.44713e-05
C10H8	tonne/hr	0	0.146799
C	tonne/hr	0	0
N2	tonne/hr	0	12.0242
BIOMASA	tonne/hr	0	0
BIOCHAR	tonne/hr	0	0
ASH	tonne/hr	0.0798584	0

Fig. 3 Resultados de simulación con Aspen Plus® V14.0.

I. Optimización de la producción de gas de síntesis

La fig. 4 muestra los resultados de contenido de energía de diferentes relaciones aire combustible y temperatura, empleando el software Aspen Plus.

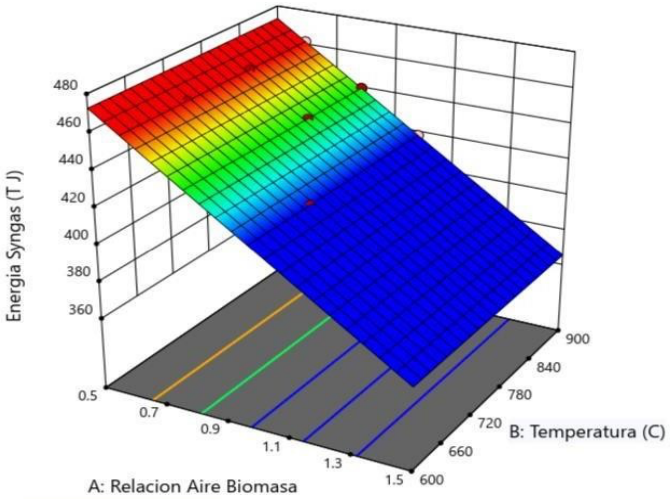
Relación aire-combustible	RSU	Agente Gasificante	Temperatura °C	Flujo Tn/h	Poder Calorífico MJ/kg	Energía (TJ/h)
1	26.21	26.21	700	51.8883	8.0767	419.087
1	26.21	26.21	800	51.8883	8.0773	419.117
1	26.21	26.21	900	51.8883	8.0774	419.124
0.6	26.21	15.72	700	41.4055	11.1585	462.024
0.6	26.21	15.72	800	41.4054	11.1595	462.065
0.6	26.21	15.72	900	41.4056	11.1599	462.081
0.8	26.21	20.97	700	46.6509	9.4433	440.537
0.8	26.21	20.97	800	46.6509	9.4441	440.576
0.8	26.21	20.97	900	46.6511	9.4444	440.590

Fig. 4 Simulación con diferentes relaciones de aire combustible y temperatura

Mediante un análisis con el software Stat Easy se determinó que el modelo que mejor correlaciona los factores relación aire combustible, agente gasificante y temperatura para la energía del syngas es un modelo cuadrático tal como se aprecia en la ecuación (7):

$$Y = 419{,}10 - 5360A + 0{,}0475B - 00187AB + 0.0958A2 - 0{,}0274B2 \quad (7)$$

La superficie de respuesta obtenida de este modelo se muestra en la figura 5 donde se muestra la relevancia de la relación aire combustible (A) y la temperatura (B), en la determinación de la energía contenida en el gas de síntesis.



Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
Intercept	419.10	1	0.0015	419.10	419.11	
A-Relacion Aire Biomasa	-53.60	1	0.0076	-53.63	-53.58	13.38
B-Temperatura	0.0475	1	0.0029	0.0382	0.0568	5.50
AB	-0.0187	1	0.0038	-0.0309	-0.0066	2.88
A^2	0.0958	1	0.0090	0.0672	0.1245	13.00
B^2	-0.0274	1	0.0032	-0.0377	-0.0171	4.00

Fig. 5 Superficie de respuesta

El modelo cuadrático demostró ser altamente significativo, capturando de manera efectiva las influencias de la relación combustible/aire, la temperatura y sus interacciones sobre la generación de energía. La fig. 6 muestra el Anova del modelo donde claramente muestra que los términos del modelo son relevantes. Las estadísticas de ajuste del modelo muestran un ajuste excelente. El R^2 y el R^2 Ajustado son prácticamente 1, indicando que el modelo explica casi toda la variabilidad en los datos de energía. El R^2 Predicho también es muy alto, lo que sugiere que el modelo tiene una capacidad predictiva muy precisa.

Fig. 6 Anova para el modelo cuadrático

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	2766.71	5	553.34	1.334E+08	< 0.0001	significant
A-Relacion Aire Biomasa	206.22	1	206.22	4.971E+07	< 0.0001	
B-Temperatura	0.0011	1	0.0011	263.72	0.0005	
AB	0.0001	1	0.0001	24.11	0.0162	
A^2	0.0005	1	0.0005	113.36	0.0018	
B^2	0.0003	1	0.0003	71.37	0.0035	
Residual	0.0000	3	4.148E-06			
Cor Total	2766.71	8				

Std. Dev.	0.0020	**R^2**	1.0000
Mean	440.58	**Adjusted R^2**	1.0000
C.V. %	0.0005	**Predicted R^2**	1.0000
		Adeq Precision	25855.3203

El análisis de condiciones óptimas para maximizar la generación de energía mediante la gasificación reveló parámetros críticos que influyen significativamente en el rendimiento del sistema. Los resultados del ANOVA indican que, para alcanzar el máximo rendimiento energético, es esencial mantener una relación combustible-aire mínima de 0,60. Además, la temperatura operativa debe ser máxima a 900°C como se indica en la fig. 7, para optimizar la producción de energía, logrando así un valor de 462.082 TJ/h que es equivalente a 128.355,833 kW.

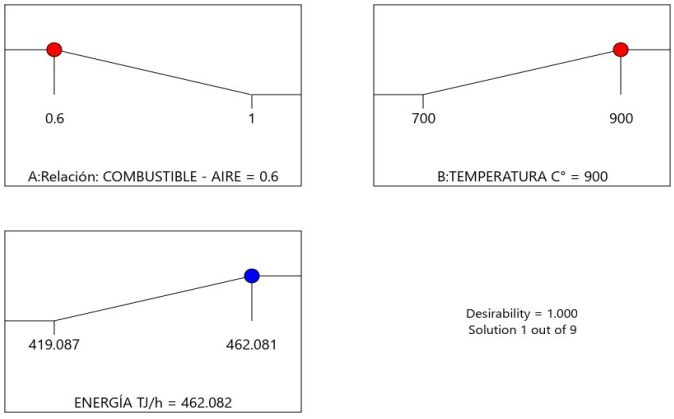


Fig 7. Optimización de Parámetros

J. Potencial de energía eléctrica a partir del gas de síntesis

De la ecuación (2) se obtiene que los motogeneradores J420 pueden desarrollar una potencia de 54MW con todo el syngas obtenido por gasificación de RSU.

$$P\ out = 128.355{,}833\ kW \times 42.1\% = 54MW \quad (8)$$

De la ecuación (3) se determinó que los motogeneradores J420 pueden desarrollar 463.903,75MWh anuales

$$Energía\ eléctrica = 463.903{,}75\ MWh/año \quad (9)$$

K. Población beneficiada

La fig. 8 muestra que el consumo anual promedio por vivienda en la provincia de Trujillo es de 1.807,2 kWh.

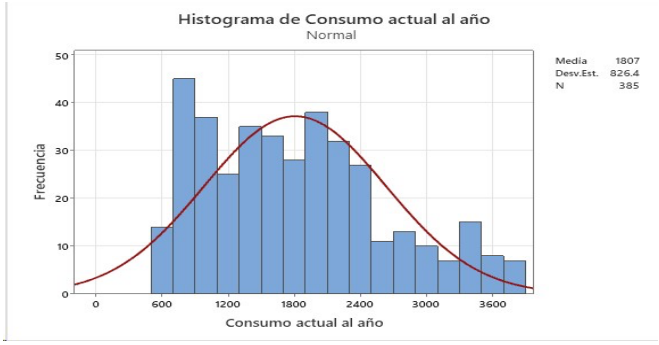


Fig. 8 Histograma del promedio anual del consumo energético.

De acuerdo con la encuesta realizada cada vivienda de Trujillo demanda 1.807,17KWh/año y para un uso continuo del gasificador que en condiciones óptimas produce 463.903,75 MWh anuales de energia, por lo que aplicando la ecuación (5) se obtiene que se puede abastecer la demanda energética de 256,701 viviendas ver fig. 9 lo cual representa un 91,88% de viviendas beneficiadas

Fig.9 Viviendas Beneficiadas por el proyecto

L. Reducción de emisiones de CO

De acuerdo a la ecuación a la ecuación (6), el proyecto de gasificación de residuos sólidos, mediante el reactor downdraft evitará la emisión de 209.730,89 toneladas de CO_2e anualmente por desplazamiento eléctrico al sustituir la energía generada por combustibles fósiles con energía renovable.

$$\text{Ton } CO_2e \text{ reducidas} = 463.904 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \text{ X } 0{,}4521 \frac{\text{Ton}}{\text{MWh}} \frac{CO_2e}{} =$$

$$209.730 \text{ ton } CO_2e \quad (10)$$

Conclusiones

La fracción orgánica representa el 55,46% del total de los residuos sólidos urbanos dispuestos en el relleno sanitario de Trujillo, lo que evidencia un alto potencial energético. El análisis proximal y elemental indicó una composición favorable para la gasificación, con 47,35% de carbono, 82,29% de compuestos volátiles y bajo contenido de cenizas (0,31%).
La simulación en Aspen Plus® mostró un flujo de gas de síntesis de 41.406 kg/h con un poder calorífico de 11,16 MJ/kg, generando 128,35 MW térmicos bajo condiciones óptimas: relación aire-combustible de 0,6 y temperatura de 900 °C. La optimización mediante un modelo cuadrático validado estadísticamente permitió identificar estos parámetros como críticos para maximizar la energía generada, alcanzando 462.082 TJ/h.

Con un rendimiento eléctrico del 42,1%, se puede generar 54 MW de energía eléctrica, lo que equivale a 463.904 MWh/año. Esta cantidad permite abastecer a 256.701 viviendas, lo que representa el 91,88% del total de viviendas de la provincia de Trujillo.

Agradecimientos

Los investigadores agradecen a la Universidad Peruanas de Ciencias Aplicadas (UPC), a los profesores del curso de Proyectos de Investigación Ambiental por impulsar el desarrollo de este trabajo; asimismo, agradecemos al Servicio de Gestión Ambiental de la municipalidad de Trujillo quién nos brindó información sobre la gestión de los residuos sólidos en el distrito de Trujillo.

Referencias

[1] Casas Ledón, et al (2016). Exergoeconomic valuation of a waste-based integrated combined cycle (WICC) for heat and power production. Energy, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216310982 [2] Lakhouit, A. (2025). Revolutionizing urban solid waste management with AI and IoT: A review of smart solutions for waste collection, sorting, and recycling. Results in Engineering, 25, 104018.
https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2025.104018
[3] Goncalves, et al (2024). Sustainable waste management solutions: Optimization of hybrid and gasification waste-to-energy plants. Energy, 306, 132549. https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2024.132549
[4] Banco Mundial, (2022). Solid Waste Management https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management
[5] Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. https://publications.iadb.org/es/situacion-de-la-gestion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe
[6] Arteaga et al (2023). Solid waste management and urban environmental quality of public space in Chiclayo, Peru. City and Environment Interactions, 20, 100112.https://doi.org/10.1016/J.CACINT.2023.100112.
[7] Ministeriodelambiente.(2018).https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/237043-457-2018- minam
[8] Ministerio del Ambiente https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_002-2013-minam-fe-erratas.pdf
[9] Ab Abdelouahed, L., A. O. , M. G. , & C. J. (2012). Modelado detallado de gasificación de biomasa en reactores de lecho fluidizado dual bajo Aspen Plus. Energía y combustibles 26(6) 3840-3855
[10] 1800kW-4500kW Gas Engines| Products| Jenbacher https://www.jenbacher.com/en/gas-engines/type-6
[11] SINIA- MINAM https://sinia.minam.gob.pe/metadatos/303756