

Nombre del semillero de investigación

SEMILLERO DE INVESTIGACION EN MATERIALES

Nombre del proyecto

ESTUDIO CONCEPTUAL DE LA GASIFICACION POR PLASMA PARA LA PRODUCCION DE SYNGAS

Año

2023

Marco del Proceso de ASC: Fortalecimiento o solución de asuntos de interés social.

Este semillero de investigación forma parte de la estrategia de Investigación Formativa de la Universidad EAFIT que ratifica su compromiso con el desarrollo de la Ciencia, la Tecnología, la Innovación y la Creación y lo establece como uno de sus ejes misionales. Con el desarrollo de iniciativas como estas, aportamos a los procesos científico-tecnológicos y creativos que se desarrollan en el seno de su comunidad universitaria y cómo estos permean las experiencias de aprendizaje de los estudiantes.

En el propósito de cultivar talentos y vocaciones científicas y creativas el rol del profesor es vital, ya que es quien desde su pasión, experiencia y conocimiento acerca a los estudiantes a las técnicas propias del saber científico y diseña experiencias de aprendizaje que aporten a la construcción de procesos investigativos.

En consonancia con los [Lineamientos de Investigación Formativa de la Universidad](#), se describe a continuación los principios que rigieron la ejecución del componente con sus resultados, en términos del fortalecimiento de asuntos de interés social, del presente proyecto:

Objetivos del semillero en clave de fortalecimiento de la práctica educativa

General: Diseñar conceptualmente un gasificador por plasma caliente para el tratamiento de residuos sólidos * Específico 1: Comprender los fenómenos involucrados en los procesos de gasificación por plasma. * Específico 2: Identificar los requerimientos del plasma para el tratamiento de residuos sólidos. *Específico 3: Reconocer las características de los productos de reacción en los procesos de

MedellínNIT 890901389
Carrera 49 # 7 sur-50
(57) 604 261 95 00**Pereira**Carrera 19 # 12-70
Megacentro Pinares
(57) 606 321 41 15**Bogotá**Carrera 15 # 88-64
oficina 401
(57) 601 611 46 18**Llanogrande**Km 3.5 vía Don Diego –
Rionegro
(57) 322 529 4323

gasificación por plasma a partir de residuos sólidos. * Específico 4: Establecer los componentes e instrumentos tecnológicos para el desarrollo de gasificadores por plasma.

Metodología

La metodología implementada consistió de cuatro etapas, las cuales se explican a continuación: La etapa 1 asociada a la apropiación de los fundamentos de plasma térmico y las razones por las cuales se puede utilizar la gasificación plasma para el tratamiento de residuos sólidos. La etapa 2 relacionada con la identificación de los elementos claves en procesos de gasificación plasma que ya se encuentren implementados en otras regiones del mundo. La etapa 3 abarcó el estudio de los componentes principales usados en reactores de gasificación a partir de sistemas funcionales en otros países. Finalmente, en la etapa 4 se realizó una compilación de los resultados obtenidos de las etapas anteriores para consolidar los aprendizajes que servirán de insumos para la futura ideación del prototipo de antorcha térmica para tratamiento de residuos sólidos. Para cada una de las etapas mencionadas se realizaron actividades de revisión sistemática de la literatura y vigilancia tecnológica con el fin de recolectar eficientemente la información necesaria para el desarrollo del proyecto.

Resultados obtenidos

Mediante un enfoque metodológico cuidadosamente estructurado, se llevó a cabo el diseño conceptual de un gasificador de plasma caliente destinado al tratamiento de residuos sólidos. El estudio de los fenómenos de gasificación por plasma evidenció importantes ventajas sobre la gasificación convencional, destacando la capacidad del plasma para alcanzar temperaturas extremadamente elevadas y facilitar reacciones endotérmicas, lo que da como resultado un SYNGAS más limpio y eficiente. Se evaluaron varios métodos de generación de plasma, concluyendo que la descarga por arco es la más apropiada para estos procesos debido a su alta densidad y eficiencia. Adicionalmente, se examinaron diversos agentes gasificantes y su influencia en la producción de SYNGAS, determinando que una combinación de aire y vapor de agua es la más eficaz. La revisión de la estructura de gasificadores existentes y la identificación de componentes tecnológicos clave fueron fundamentales para el diseño conceptual del prototipo. Por otro lado, el proyecto permitió a los miembros del semillero adquirir un conocimiento profundo sobre la física del plasma y mejorar sus habilidades de síntesis y análisis crítico.

Estos aprendizajes no solo son valiosos para el desarrollo de futuros prototipos, sino también para la formación académica y profesional de los participantes.

Descripción del fortalecimiento, la solución o el mejoramiento de la práctica educativa

Se fomentó la interacción académica entre estudiantes de diversos semestres del programa de Ingeniería Física en torno a temas relacionados con la ciencia de materiales y sus aplicaciones. También, se potenció la visibilidad y difusión de los resultados de investigación a nivel nacional generados a partir de las acciones y proyectos de investigación sobre ciencia de materiales, sus aplicaciones y su contribución al desarrollo tecnológico, realizados por los miembros del semillero. Finalmente, se motivó el intercambio de conocimientos y resultados de estudios en torno a la ciencia de los materiales para aplicaciones tecnológicas avanzadas.

A partir de estas consideraciones, a continuación, se encuentra la sistematización del proceso.

INFORME FINAL DE PROYECTOS DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN 2023
VICERRECTORÍA DE DESCUBRIMIENTO Y CREACIÓN
OFICINA DE PLANEACIÓN Y DESCUBRIMIENTO FORMATIVO
UNIVERSIDAD EAFIT

Nombre del semillero de investigación	Semillero de Materiales
Nombre del proyecto de investigación	Estudio conceptual de la gasificación por plasma para la producción de SYNGAS
Nombre del investigador principal	Claudia Constanza Palacio Espinosa
Estudiantes que participaron en la investigación	Juan Sebastián Aguiar Castrillón, Samuel David Morales Paternina, Karol Andrea Peña Arango, Juan Manuel Arboleda Londoño

OBJETIVOS

Tipo de Objetivo	Contenido	Porcentaje de cumplimiento
General	Diseñar conceptualmente un gasificador por plasma caliente para el tratamiento de residuos sólidos.	100%
Específico #1	Comprender los fenómenos involucrados en los procesos de gasificación por plasma.	100%
Específico #2	Identificar los requerimientos del plasma para el tratamiento de residuos sólidos.	100%
Específico #3	Reconocer las características de los productos de reacción en los procesos de gasificación por plasma a partir de residuos sólidos.	100%
Específico #4	Establecer los componentes e instrumentos tecnológicos para el desarrollo de gasificadores plasma	100%

METODOLOGÍA

La metodología implementada consistió de cuatro etapas, las cuales se explican a continuación:

- Etapa 1: asociada a la apropiación de los fundamentos de plasma térmico y las razones por las cuales se puede utilizar la gasificación plasma para el tratamiento de residuos sólidos.
- Etapa 2: relacionada con la identificación de los elementos claves en procesos de gasificación plasma que ya se encuentren implementados en otras regiones del mundo.
- Etapa 3: abarca el estudio de los componentes principales usados en reactores de gasificación a partir de sistemas funcionales en otros países.
- Etapa 4: con el fin de dar cierre al proyecto se realizó una compilación de los resultados obtenidos de las etapas anteriores para consolidar los aprendizajes que servirán de insumos para la futura ideación del prototipo de antorcha térmica para tratamiento de residuos sólidos.

Para cada una de las etapas mencionadas se realizan actividades de revisión sistemática de la literatura y vigilancia tecnológica con el fin de recolectar eficientemente la información necesaria para el desarrollo del proyecto.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con el fin de comprender las fases de un proceso de gasificación por plasma, se realiza una comprensión de los fundamentos de la gasificación convencional (que involucra la combustión). A partir de dicho ejercicio, se identifica que principalmente la gasificación por plasma se caracteriza por una etapa de descomposición térmica del residuo que alimenta el sistema seguida de una etapa de reacciones de oxidorreducción las cuales se ven favorecidas por el ambiente de alta energía generado por el plasma circundante. Básicamente, el valor agregado del plasma en este tipo de procesos consiste en la conversión de sustancias químicas que por combustión convencional no sería posible dadas las altas temperaturas alcanzadas (alrededor de 12000K) y su alta entalpía [1], [2].

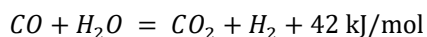
En cuanto a los requerimientos del plasma para el tratamiento de residuos sólidos, se realizó una comparación de los métodos de generación del plasma por descargas eléctricas [3], ya que esto delimita la manera en que funcionará la antorcha implementada en el futuro diseño del reactor de gasificación. En la tabla 1 se presenta el contraste entre algunos de los métodos considerados. De esta manera, se distingue la descarga por arco como el procedimiento más apropiado dado que genera un plasma robusto necesario para una gasificación eficiente.

Por otra parte, gracias al ambiente de alta energía al que se someten los residuos durante la gasificación por plasma, toda la materia orgánica que los compone contribuye en la formación del SYNGAS (compuesto principalmente de monóxido de carbono e hidrógeno) mientras que la materia inorgánica se vitrifica en el fondo del gasificador pudiendo ser recolectada y reutilizada en material de construcción o en la extracción de metales [2], [4]

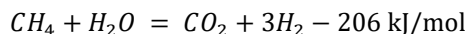
Tabla 1. Comparación entre métodos para generación de plasma por descarga.

Método	Mecanismo	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones comunes
Descarga corona	Ionización de gas mediante alto voltaje en puntas afiladas	Bajo consumo de energía, bajo costo y de fácil implementación	Baja densidad de plasma, limitado a gases con baja ionización	Tratamiento de superficies y purificación de gases
Descarga por arco	Ionización de gas mediante corriente continua o alterna	Alta densidad de plasma, altas temperaturas y eficiente para grandes volúmenes de gas	Alto consumo de energía y desgaste de los electrodos. Además, este tipo de plasmas son difíciles de controlar.	Soldadura, corte de metales y tratamiento de residuos
Descarga resplandor	Ionización de gas entre dos electrodos a baja presión	Se genera un plasma con buena estabilidad, teniendo un control preciso del proceso	Requiere sistemas de vacío complejos y su implementación es costosa	Recubrimientos, fabricación de semiconductores y esterilización
Descarga por barrera dieléctrica (DBD)	Ionización de gas mediante alternancia de voltaje con barrera dieléctrica	Posee una buena eficiencia energética, generando un plasma de alta densidad y temperaturas moderadas	Exige complejidad en el diseño de los electrodos así como el cumplimiento de requerimientos específicos para el material dieléctrico	Tratamiento de superficies, desinfección y síntesis de ozono.

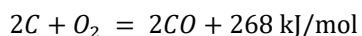
Los productos obtenidos de la gasificación por plasma son similares a los de la gasificación convencional, pero el SYNGAS producido por plasma es más limpio y está libre de grandes cantidades de alquitrán y gases tóxicos como los óxidos de azufre [5]. La composición final del SYNGAS se ve afectada por la selección de los agentes gasificantes debido a que son los encargados de estimular ciertas reacciones de la gasificación como las siguientes:



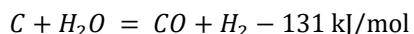
Desplazamiento Agua-Gas (1)
Exotérmica



Reformación del Metano (2)
Endotérmica



Combustión parcial del Carbono (3)
Endotérmica



Reacción Agua-Gas (4)
Endotérmica



Combustión parcial del Monóxido de Carbono (5)
Endotérmica

A partir de las reacciones presentadas, se reconoció la importancia de la asistencia del plasma en procesos de gasificación al favorecer las reacciones endotérmicas que producen hidrógeno y monóxido de carbono.

Luego de una revisión bibliográfica del efecto del aire, vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono (CO_2) como agentes gasificantes en el gas producto de la gasificación [6], se llega a la siguiente síntesis:

- El orden de los agentes gasificantes en función de la **concentración de monóxido de carbono (CO)** que generan de manera descendente es: $\text{CO}_2 > \text{Oxígeno} > \text{Vapor de Agua} > \text{Aire}$.
- El orden de los agentes gasificantes en función de la **concentración de CO_2** que generan de manera descendente es: $\text{Oxígeno} > \text{Vapor de Agua}$.
- El orden de los agentes gasificantes en función de la **cantidad de energía calórica que libera el gas resultante** al someterse a combustión de manera descendente es: $\text{CO}_2 > \text{Vapor de Agua} > \text{Oxígeno} > \text{Aire}$.
- El orden de los agentes gasificantes en función de la **concentración de metano (CH_4)** que generan de manera descendente es: $\text{CO}_2 > \text{Vapor de Agua} > \text{Oxígeno} > \text{Aire}$.
- El orden de los agentes gasificantes en términos de la **cantidad de hidrógeno (H_2) obtenido por kg de biomasa** de manera descendente es: $\text{Vapor de Agua} > \text{Aire} > \text{Oxígeno} > \text{CO}_2$.
- El orden de los agentes gasificantes en términos de la **cantidad de CO obtenido por kg de biomasa** de manera descendente es: $\text{CO}_2 > \text{Aire} > \text{Oxígeno} > \text{Vapor de Agua}$.
- El orden de los agentes gasificantes en término de la **tasa de producción de gas** de manera descendente es: $\text{Aire} > \text{Vapor de Agua} > \text{CO}_2 > \text{Oxígeno}$.

Debido a que el objetivo de una gasificación eficiente es producir la mayor cantidad de CO y H_2 se concluyó que una mezcla de Aire y Vapor de agua es el mejor agente gasificante.

Por otra parte, al estudiar la arquitectura de gasificadores plasma se observó que estos en su configuración más básica cuentan con un sistema de alimentación por gravedad el cual dado su simplicidad en el diseño y operación facilita la manipulación de pequeños volúmenes de residuos. En la figura 1 se presenta un esquema representativo de este sistema.

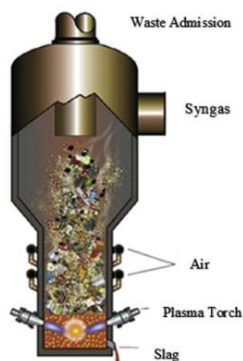


Figura 1. Arquitectura básica de un gasificador plasma usando un sistema de alimentación de residuos por gravedad. Tomada de [7].

En el caso en que sea necesario el manejo de volúmenes de residuos más grande se puede optar por sistemas de alimentación por pistón (empujando los residuos al gasificador en intervalos regulares), por vibración (asegurando un flujo uniforme y controlado de los

residuos al ingresar al gasificador), por tornillo sin fin, neumáticos (transporte a partir de aire comprimido) o por banda transportadora [8], [9].

Finalmente, luego de analizar las etapas de un proceso de gasificación asistido por plasma se realizó el siguiente listado de posibles componentes que se consideran relevantes en el diseño conceptual de un gasificador plasma:

- **Termopares:** sensores que pueden ser usados para monitorear la temperatura del plasma en la zona de gasificación, de modo que se cuente con las condiciones necesarias para maximizar la conversión de residuos a SYNGAS. También puede ser usado para registrar la temperatura de las paredes del reactor y prevenir daños térmicos.
- **Sensores de corriente:** considerando que el plasma sería generado usando descargas por arco, los sensores de corriente son necesarios para revisar que la corriente suministrada entre los electrodos sea estable y suficiente para la ionización del gas plasmógeno.
- **Medidores de flujo de gas:** son importantes para llevar un control del flujo de gases plasmógenos, garantizando de que haya plasma constantemente para una gasificación adecuada de los residuos. Así mismo, pueden ser usados para monitorizar el flujo de SYNGAS producido.
- **Sensores de nivel de sólidos:** se plantea su uso en las etapas de alimentación y pirólisis, de manera que se asegure una alimentación continua al gasificador y se eviten acumulaciones o bloqueos en los conductos o tuberías.
- **Transductores de presión:** serían usados como elementos de seguridad y detección de problemas en la medida en que pueden dar información sobre la existencia de fugas o bloqueos de componentes que pueden dañar todo el equipo o generar accidentes.

EJECUCIÓN PRESUPUESTAL

Fundamentalmente, se destinó el presupuesto asignado para la participación del semillero en eventos de divulgación científica como los encuentros de semilleros REDCOLSI así como el pago de dos monitores de investigación que estuvieron apoyando en la apropiación de los conocimientos adquiridos. El resto del presupuesto que no fue ejecutado se debe a que no se realizaron actividades en las que fuese necesario el traslado de todos los integrantes a zonas fuera del campus universitario o que fuesen de una larga duración. En la tabla 2 se resume la destinación del presupuesto descrita.

Tabla 2. Destinación del presupuesto para la ejecución del proyecto

Tipo de Gasto	Presupuesto Aprobado	Presupuesto Ejecutado	Ejecución [%]
<i>Gasto de Personal – Salarios</i>	\$ 3.450.000,00	\$ 3.312.000,00	96
<i>Servicios Técnicos</i>	\$ 1.050.000,00	\$ 0	0
TOTAL	\$ 4.500.000,00	\$ 3.312.000,00	96

LECCIONES APRENDIDAS

A continuación se describen algunos aprendizajes adicionales que los miembros del semillero lograron adquirir luego de la ejecución total del proyecto:

Estudio de la física del plasma: aunque la comprensión del plasma puede implicar conceptos que son relativamente complejos, el objetivo del proyecto sirvió como una motivación para que cada uno de los integrantes del semillero buscaran la forma de entender la naturaleza de este estado de la materia aunque no tuviesen unos fundamentos teóricos adecuados. Esto también propició un

ejercicio colaborativo en el que se presentaron sesiones en el semillero para aclarar dudas y verificar que todos comprendiesen los temas tratados.

Síntesis de resultados: al querer estudiar la gasificación desde lo básico, se identificó que es un tema extenso, por lo que no era posible abarcar por completo cada uno de los conceptos que se derivan de esta técnica y cumplir con los tiempos de ejecución del proyecto. En consecuencia, se analizó y dialogó en conjunto con todos los integrantes del semillero sobre cuáles eran los puntos clave en los que se centraría el proyecto para contar con información relevante y concisa. Este fue un ejercicio que permitió a los integrantes del semillero poner a prueba su capacidad de síntesis de contenidos.

CONCLUSIÓN GENERAL

A través de un enfoque metodológico bien estructurado, se desarrolló el diseño conceptual de un gasificador por plasma caliente para el tratamiento de residuos sólidos. El análisis de los fenómenos de gasificación por plasma reveló ventajas significativas en comparación con la gasificación convencional, destacando la capacidad del plasma para alcanzar temperaturas extremadamente altas y facilitar reacciones endotérmicas, resultando en un SYNGAS más limpio y eficiente. Diversos métodos de generación de plasma fueron evaluados, concluyendo que la descarga por arco es la más adecuada para estos procesos debido a su alta densidad y eficiencia. Asimismo, se analizaron diferentes agentes gasificantes y su impacto en la producción de SYNGAS, estableciendo que una combinación de aire y vapor de agua es la más efectiva. La revisión de la arquitectura de gasificadores existentes y la identificación de componentes tecnológicos clave fueron esenciales para el diseño conceptual del prototipo. Por otro lado, el proyecto también permitió a los miembros del semillero adquirir conocimientos profundos sobre la física del plasma y mejorar sus habilidades de síntesis y análisis crítico. Estos aprendizajes son valiosos no solo para el desarrollo de futuros prototipos, sino también para la formación académica y profesional de los participantes. En términos de ejecución presupuestal, se destinaron recursos principalmente a la participación en eventos de divulgación científica y a la remuneración de monitores de investigación. En conclusión, el proyecto ha sentado bases sólidas para la futura implementación de gasificadores por plasma y ha contribuido significativamente al desarrollo de competencias en investigación y tecnología dentro del semillero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Fabry, C. Rehmet, V. Rohani, y L. Fulcheri, “Waste Gasification by Thermal Plasma: A Review”, *Waste Biomass Valorization*, vol. 4, núm. 3, pp. 421–439, 2013, doi: 10.1007/s12649-013-9201-7.
- [2] S. Nema y K. Ganeshprasad, “Plasma pyrolysis of medical waste”, *Curr Sci*, vol. 83, ago. 2002.
- [3] A. Bogaerts y E. C. Neyts, “Plasma Technology: An Emerging Technology for Energy Storage”, *ACS Energy Lett*, vol. 3, núm. 4, pp. 1013–1027, abr. 2018, doi: 10.1021/acseenergylett.8b00184.
- [4] C. Ducharme, “Technical and economic analysis of Plasma-assisted Waste-to-Energy processes”, 2010.
- [5] B. Ruj y S. Ghosh, “Technological aspects for thermal plasma treatment of municipal solid waste—A review”, *Fuel Processing Technology*, vol. 126, pp. 298–308, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.05.011>.
- [6] M. W. Islam, “Effect of different gasifying agents (steam, H₂O₂, oxygen, CO₂, and air) on gasification parameters”, *Int J Hydrogen Energy*, vol. 45, núm. 56, pp. 31760–31774, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.002>.
- [7] J. Favas, E. Monteiro, y A. Rouboa, “Hydrogen production using plasma gasification with steam injection”, *Int J Hydrogen Energy*, vol. 42, núm. 16, pp. 10997–11005, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.03.109>.
- [8] C. Mandl, I. Obernberger, y F. Biedermann, “Updraft fixed-bed gasification of softwood pellets: mathematical modelling and comparison with experimental data”, *17th European biomass conference & exhibition*, ene. 2009.
- [9] M. Aikas, D. Gimzauskaite, A. Tamosiunas, R. Uscila, y V. Snapkauskienė, “Thermal arc air plasma application for biomass (wood pellets) gasification”, *Clean Technol Environ Policy*, vol. 26, pp. 1–13, jun. 2023, doi: 10.1007/s10098-023-02566-4.