

Diseño de un convertidor catalítico de baja temperatura para obtener metano sustentable a partir del CO₂ producido durante el funcionamiento de un motor de combustión interna.

Design of a low temperature catalytic converter to obtain sustainable methane from the CO₂ produced during the operation of an internal combustion engine.

Sergio Alberto Gamboa Sánchez* (1).

Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelos, México.
sags@ier.unam.mx.

Luis Gerardo Pérez Juárez (2). Instituto de Energías Renovables. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelos, México, luis.g.perez.j@gmail.com.

Claudia Karina Zagal Padilla (3). Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelos, México, ckzagal@ier.unam.mx.

Carlos Díaz Gómez (4). Instituto de Energías Renovables. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelos, México. cadigo@ier.unam.mx.

Héctor Daniel Cortés González (5). Instituto de Energías Renovables. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelos, México. hdcg@ier.unam.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en marzo 25, 2019; aceptado en abril 11, 2019.

Resumen.

La contaminación del medio ambiente es causada principalmente por las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que ha generado un problema que afecta a la salud de los seres vivos que habitamos el planeta. Los automóviles son los principales generadores de CO₂ y otros gases de efecto invernadero. Por ello la ingeniería y las diversas variantes en el área automotriz han basado sus estudios en el área química con la finalidad de tener un control sobre las emisiones de gases tóxicos, siendo el CO₂, el principal gas de interés, producto del uso de combustibles fósiles para el funcionamiento de los motores de combustión interna. Es necesario plantear métodos para poder reducir las emisiones y de esta forma, mitigar el efecto de cambio climático en el medio ambiente. Ante esto el siguiente trabajo presenta una alternativa de diseño para el aprovechamiento de CO₂ que se produce en las emisiones de los motores, con ello es posible, favorecer a la reducción de contaminantes y aprovechar el CO₂ para su conversión a combustible sustentable, en este caso, la producción de metano sustentable. El diseño se basa en un proceso novedoso para la captura del CO₂ sobre la superficie de un material bidimensional basado en óxidos metálicos y la posterior reducción electroquímica mediante un proceso asistido por luz, para generar un combustible sustentable.

Palabras clave: convertidor catalítico, combustión interna, producción CO₂, reacción de reducción de CO₂, producción de metano sustentable.

Abstract.

The pollution of the environment is caused mainly by the emissions of CO₂ and other greenhouse gases into the atmosphere, which has generated a problem that affects the health of the living beings that inhabit the planet. Automobiles are the main generators of CO₂ and other greenhouse gases. Therefore engineering and various variants in the automotive area have based their studies in the chemical area in order to have control over the emissions of toxic gases, being CO₂, the main gas of interest, product of the use of fossil fuels for the operation of internal combustion engines. It is necessary to establish methods to reduce emissions and, in this way, mitigate the effect of climate change on the environment. Before this the following work presents a design alternative for the use of CO₂ that occurs in the emissions of the engines, with this it is possible to favor the reduction of pollutants and take advantage of the CO₂ for its conversion to sustainable fuel, in this case, the production of sustainable methane. The design is based on a novel process for the capture of CO₂ on the surface of a two-dimensional material based on metallic oxides and the subsequent electrochemical reduction by means of a light-assisted process, to generate a sustainable fuel.

Keywords: catalytic converter, internal combustion, CO₂ production, CO₂ reduction reaction, sustainable methane production.

1. Introducción.

Actualmente se sabe que los automotores contribuyen en gran medida a la contaminación del medio ambiente. En 2017 el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI), contabilizó un total de 45 millones 476 mil 133 medios de transporte entre automóviles, motocicletas, camionetas y otros, circulando en el país (INEGI, 2017).

Es importante resaltar que todos los medios de transporte son vehículos de combustión interna, de baja eficiencia, lo que ha provocado una gran demanda en el consumo hidrocarburos (Rolf y Ganesh, 2015). Sin embargo estos vehículos al ser propulsados por la combustión de hidrocarburos generan grandes cantidades de gases tóxicos que suelen contribuir al calentamiento global del planeta (Dickens, 2014).

Actualmente, los vehículos de combustión interna cuentan con un convertidor catalítico cuya función es controlar y reducir los gases nocivos generados por la combustión del hidrocarburo empleado como combustible. El convertidor catalítico está formado por un catalizador de oxidación de dos o tres vías (Heck, Hu, Deeba y Brunswick, 2004) cuya función es la de acelerar y transformar los gases tóxicos a productos de menor impacto ambiental negativo. Se considera que los gases de emisión deben estar compuestos por bajos niveles de agua, óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) (Wallington, Kaiser y Farrell, 2006).

El CO₂ que es una alarma para el entorno social por su relación con el cambio climático, ha sido de los gases que últimamente se han estudiado para reducir y mitigar los daños que ocasiona su emisión al medio ambiente. Dentro de los estudios que se ha realizado al CO₂, se encuentran los relacionados con la captura del mismo para tratarlo de convertir a materiales sólidos para diversas aplicaciones (Amat, Wan, Roslam y Isahak, 2019). Sin embargo, actualmente se ha considerado el potencial que tiene el CO₂ para poderlo convertir a metano sustentable, es decir, metano que se genera a partir de un gas producido como resultado de la combustión del mismo metano.

De los procesos estudiados para la conversión del CO₂ a metano, se encuentra la fotocatalisis, que es un proceso natural el cual se encarga de eliminar el CO₂ del ambiente para convertirlo a materia orgánica (Huang y Jiang, 2019). Del mismo modo se encuentra la fotosíntesis artificial este proceso ocurre cuando la clorofila transforma la energía lumínica solar a energía química. La fotosíntesis artificial es un proceso que se basa en el aprovechamiento del H₂O y CO₂ para la obtención de O₂ y subproductos carbonosos como la glucosa, metanol, etanol y metano (Yu, Ba, Qiu, Li, Shuai, Zhang y Ren, 2019).

La foto-reducción es un proceso similar a la fotosíntesis artificial, sólo que este caso, la reacción es asistida por un semiconductor orgánico que facilita la adsorción de energía solar y mediante procesos químicos poder reducir el CO₂ a subproductos a base de carbono (Ali A. y Tahir M, 2018). La reducción electroquímica es otra alternativa para la conversión de CO₂ a compuestos de carbono, mediante reacciones redox (Ali A. y Tahir M, 2018). Sin embargo el tipo de reacciones no suelen ser selectivas, por lo que se pueden obtener variedad de productos como son etileno, etanol, n-propanol, acetaldehído, propionaldehído, etilo, metanol, etilenglicol, glicolaldehído, hidroxiacetona, acetona, glioxal y metano (Yu Chen y Tiancheng Mu, 2019). Además de que en este tipo de procesos se tiene como desventaja competir con otras reacciones como son la evolución de hidrogeno y oxígeno lo que complican a la fácil formación de metano.

En el presente trabajo se propone el diseño de un dispositivo que permita de forma selectiva convertir el CO₂ y CO generado de la combustión de un vehículo de combustión interna a metano sustentable. El proceso electroquímico se basa en la realización de una reacción selectiva, usando un material semiconductor que en presencia de la luz visible, es capaz de producir metano a partir de la electro-oxidación selectiva de monóxido o dióxido de carbono, que son parte de los gases de escape de un motor de combustión interna.

2. Métodos.

Diseño conceptual del sistema catalítico de conversión de dióxido de carbono a metano sustentable.

El diseño del convertidor catalítico de baja temperatura, se basa en el proceso de poder capturar a temperatura ambiente, el CO₂ provenientes del tubo de escape del motor de combustión interna, que previamente ha pasado por el convertidor catalítico convencional de alta temperatura (aproximadamente 500 °C). La captura del CO₂ y CO pasa a un sistema diseñado internamente por aluminio, que contiene el material catalítico que permite el proceso de conversión de CO₂ a metano sustentable. Dicho dispositivo debe ser iluminado para potencializar la reacción de conversión de CO₂ y CO a metano.

El diseño está pensado para su colocación en el tubo de escape (Figura 1). La estructura de este convertidor catalítico de baja temperatura está compuesto por guías tubulares recubiertas de óxido metálico sensible a la luz visible, como puede ser el óxido de titanio u óxido de zinc, ambos semiconductores se encuentran sintetizados como materiales bi-dimensionales.

En el interior de los reactores se encuentran colocadas guías de luz, utilizando para ello, fibra óptica por donde se le hace llegar la iluminación de un diodo LED RGB de alto brillo. Las reacciones de electro-reducción de CO o CO₂ a metano son asistidas por luz visible sobre la superficie del material semiconductor.

La conversión de CO₂ a metano involucra un proceso adicional relacionado con la generación de plasmones superficiales que logran completar la reacción de electro-reducción, se requiere adicionalmente un medio alcalino de pH superior a 8 para que se garantice la suficiente cantidad de iones hidroxilos, que son necesarios para la obtención de metano sustentable.

Las terminales de las guías tubulares están conectadas a un potencial eléctrico de 1.5 Volts, permitiendo asegurar con ello, que se lleve a cabo la reacción de reducción anteriormente mencionada.

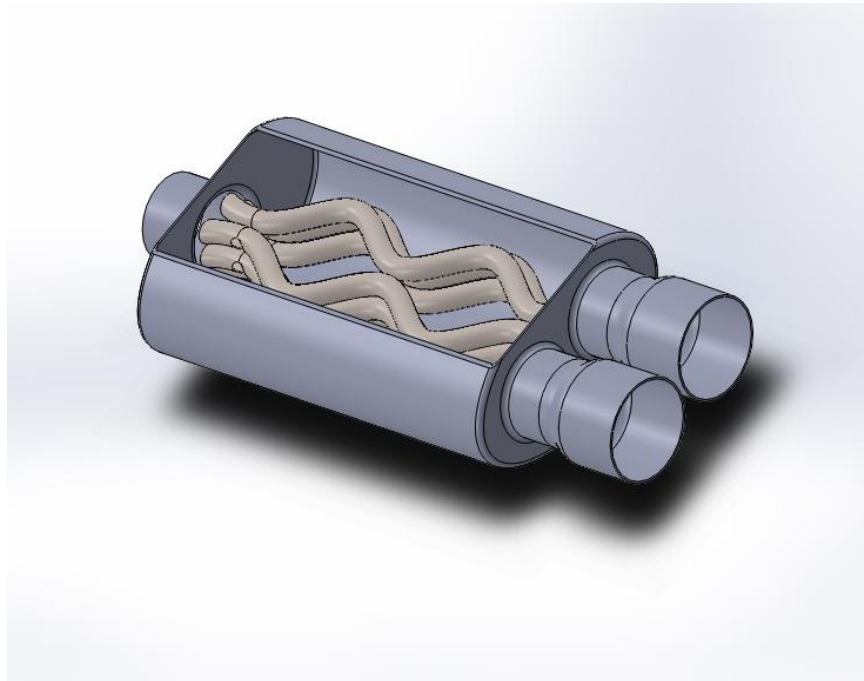


Figura 1. Diseño conceptual del convertidor catalítico de CO₂ y CO a metano.

El convertidor catalítico cuenta con un sensor MQ-4 colocado a la salida del dispositivo, con el que es posible monitorear la cantidad de metano que se produce de las diversas reacciones de reducción que se establecen dentro del dispositivo.

El sensor está diseñado para detectar concentraciones de gas metano en el aire y está compuesto por cuatro conectores asociados al voltaje de alimentación, a la salida de señal digital, salida de señal analógica y tierra. El sensor cuenta con un sistema electrónico basado en arduino con el que se controlan las funciones de monitoreo, así como de calibración de la señal esperada.

Por principio de cuentas, el funcionamiento del sensor MQ-4 fue calibrado en el laboratorio, y la curva de calibración fue programada dentro del microcontrolador utilizado, para obtener las medidas exactas del metano formado. El sensor detecta concentraciones de 300 ppm hasta 10000 ppm. Las concentraciones de metano detectadas se trasladan a una base de datos mediante un lenguaje de programación compatible con el Arduino. La información queda almacenada en una unidad externa de memoria para su posterior análisis.

La idea de desarrollar este sistema está soportada en la generación de un sistema de producción de metano sustentable de bajo costo, por lo que los materiales utilizados son óxidos metálicos de fácil producción, el diseño del convertidor catalítico y el sensor de gases también siguen una segmentación de bajo costo.

Caracterización del dispositivo sensor de metano sustentable.

La funcionalidad del sensor MQ-4 se caracterizó electroquímicamente mediante burbujeo de gas a una concentración de 10/90 de metano/argón. Se utilizó un vaso de precipitado de 200 ml, conteniendo agua tri-distilada para poder tener control sobre la secuencia del burbujeo y la contribución de los gases a la curva de calibración (Figura 2).

El sensor MQ-4 fue colocado en la parte superior del vaso de precipitado, utilizando un elemento tubular para forzar a que el volumen de gas liberado en el agua, fuera dirigido hacia el sensor de forma completa. En la práctica, la

formación de metano se llevará a cabo en medio acuoso, debido a la presencia de agua emanada de la misma reacción catalítica a alta temperatura. Es por ello que en este caso, las mediciones de la cantidad de metano se realiza en un medio similar al que estará operando en la realidad.

El flujo de gas utilizado en este estudio fue controlado manualmente utilizando un doble sistema de manómetros de alta precisión, de forma que el error de medición y de reproducción fuera mínimo. Los estudios de medición fueron realizados por triplicado para garantizar la reproducibilidad de las mediciones. Las mediciones fueron realizadas cada 90 segundos a temperatura ambiente.



Figura 2. Sistemas para monitorear la cantidad de metano presente en una burbuja de metano desplazada por argón.

Determinación de la curva de calibración para la medición de metano.

Con los resultados obtenidos del sensor de metano, realizando medidas cada 90 segundos, fue posible construir la curva de calibración que se muestra en la Figura 3.

El estudio de calibración consistió de 82 burbujas de flujo controlado manualmente. Las burbujas fueron aereadas en la solución acuosa para garantizar uniformidad en las mediciones. Se logró observar una respuesta lineal en proporción a la cantidad de gas metano almacenado en el sistema cilíndrico que soportaba el sensor.

La respuesta del sensor permite calcular la curva de calibración que resulta adecuada para las mediciones de la generación de metano en el convertidor catalítico. La curva de calibración se obtuvo a través de la regresión lineal durante todo el experimento, indicado en la ecuación (1). De esta forma es posible utilizar el sensor a la salida del convertidor catalítico para cuantificar la cantidad de metano generado, aún cuando dicho gas esté en contacto con agua líquida, debido a la operación del sensor a temperatura ambiente.

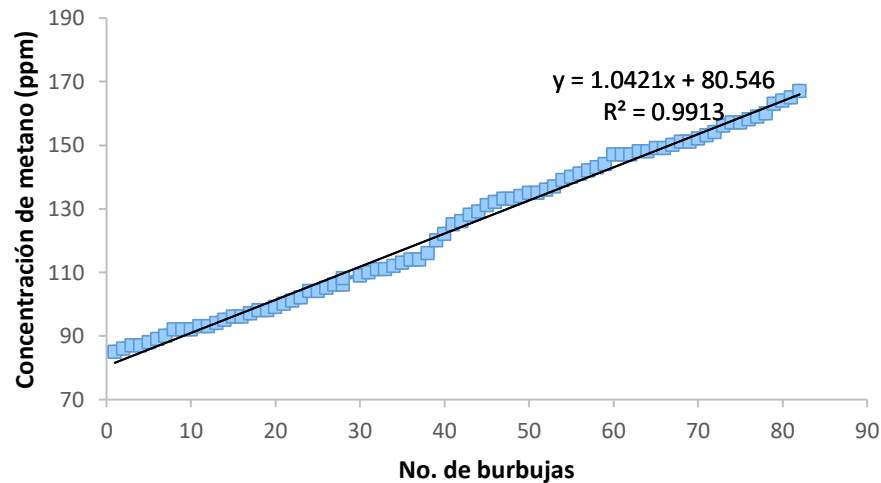


Figura 3. Concentración de metano por cada burbuja aereada de metano desplazado por argón (10%-90%).

$$y = 1.0421x + 80.546 \quad (1)$$

La ecuación (1) va a ser utilizado en el sistema del convertidor catalítico de baja temperatura y será posible calcular la producción de metano. Se cuenta con una versión prototipo, en un sistema de tres dimensiones, con el que se están realizando las pruebas de validación de resultados.

Los materiales semiconductores utilizados en el reactor para la reducción electroquímica de dióxido de carbono, son el óxido de zinc y el óxido de titanio bi-dimensionales o nanoestructurados. Los electrodos de las guías tubulares además del recubrimiento del semiconductor, se encuentran soportados sobre una placa de plata esterlina con la que se logra obtener el efecto plasmónico superficial, mediante la presencia de luz visible.

Las reacciones, procesos electroquímicos y resultados puntuales del proceso electroquímico de producción de metano sustentable están condensados en un artículo y una propuesta de patente que están siendo preparados para su difusión. Sin embargo, es posible plantear un prototipo práctico de ingeniería, que conceptualiza el uso de los materiales bajo investigación, en una aplicación útil de gran interés y beneficios para producir combustibles sustentables, además de evitar que nuevos contaminantes se escapen a la atmósfera.

Conclusiones.

El diseño de un convertidor catalítico diseñado para su uso en el escape de vehículos de combustión interna ha sido propuesto en este trabajo. Los materiales empleados son de bajo costo y de alta funcionalidad electroquímica mediante el uso de la luz visible. Los materiales empleados para la conversión de CO_2 y CO a metano. Son de base óxido metálica teniendo como característica principal una selectividad en el momento de reacción. La reacción de conversión ocurre a temperatura ambiente. La reacción de conversión de CO_2 y CO a metano, se potencializa mediante la incidencia de luz. El sensor presente en el convertidor catalítico permite detectar bajas concentraciones de metano. Lo cual favorece para indicarnos si el proceso de conversión de CO_2 y CO se está llevando a cabo.

Agradecimientos.

Los autores desean agradecer al Proyecto DGAPA-PAPIIT IN112217 por el apoyo económico para el desarrollo del presente trabajo tanto en la adquisición del software para el análisis de datos, como para la implementación de

modelos 3D. Además, también se desea agradecer al CONACYT-México por el apoyo económico recibido en forma de beca a la estudiante de doctorado Claudia Karina Zagal Padilla con número de becario 576210.

Referencias Bibliográficas.

- Ali A. y Tahir M. (2018).** Recent advancements in engineering approach towards design of photo-reactors for selective photocatalytic CO₂ reduction to renewable fuels, *J. CO₂ Util.* 29 (2019) 205–239. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2018.12.008>.
- Amat N., Wan B., Roslam N. y Isahak W. (2019).** Clean hydrogen generation and storage strategies via CO₂ utilization into chemicals and fuels. A review, *Energy Res.* (2019) 1–23. <https://doi.org/10.1002/er.4498>.
- Dickens, G (2014).** Global change: Hydrocarbon-driven warming, *Nature.* 429 (2014). <https://doi.org/10.1038/429513a>
- Huang J. y Jiang Y. (2019).** Tailoring Resource-Efficient Catalysts for Sustainable Energy and Chemical Processes, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 7 (2019) 6423. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b01472>.
- Heck R. M., Hu Z., Deeba N. y Brunswick N. (2004),** US 2004/0166036A1.
- INEGI (2017).** Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros. <https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/>.
- Rolf D. Reitz y Ganesh Duraisamy (2015).** Review of high efficiency and clean reactivity controlled compression ignition (RCCI) combustion in internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, volumen 46, February 2015, Pages 12-71, <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2014.05.003>
- Wallington T.J., Kaiser E.W. y Farrell, J.T. (2006).** Automotive fuels and internal combustion engines: a chemical perspective. *Chem. Soc. Rev.* 4 (2006) 335–347. <https://doi.org/10.1039/b410469m>.
- Yu Chen y Tiancheng Mu (2019).** Conversion of CO₂ to value-added products mediated by ionic liquids, 2019. <https://doi.org/10.1039/C9GC00827F>.
- Yu L., Ba X., Qiu M., Li Y., Shuai L., Zhang W. y Ren Z. (2019).** Nano Energy Visible-light driven CO₂ reduction coupled with water oxidation on Cl-doped Cu₂O nanorods, *Nano Energy.* 60, (2019), 576–582. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.03.083>.

Información de los autores.

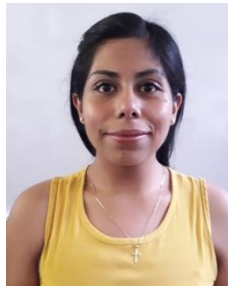


Sergio Alberto Gamboa Sánchez, graduado como Ingeniero en Electrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas. Realizó estudios de maestría y doctorado en la UNAM en el área de Energía Solar y Ciencias Químicas. Es Investigador Nacional Nivel II del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y Evaluador Nacional de proyectos de investigación del CONACYT en materia de fuentes renovables de energía. Actualmente es Investigador Titular B, de Tiempo Completo, en el

Instituto de Energías Renovables (IER) de la Universidad Nacional Autónoma de México, en Temixco, Morelos. Su principal línea de investigación es el desarrollo de nuevos materiales para el aprovechamiento de las fuentes renovables en la generación y almacenamiento de energía. Ha publicado 62 artículos técnicos en revistas internacionales indizadas. Cuenta con 1650 citas a sus artículos publicados. Ha participado ponencias en congresos nacionales e internacionales. Ha impartido conferencias igualmente en México y el extranjero. Ha impartido 52 cursos formales a nivel licenciatura, maestría y doctorado. Ha dirigido 38 tesis entre licenciatura, maestría y doctorado. Ha participado en proyectos de investigación de ciencia básica y aplicada. Es coautor de tres libros, uno de divulgación y dos técnicos de difusión internacional en el área de celdas de combustible y de biocombustibles.



Luis Gerardo Pérez Juárez, estudiante del Instituto Tecnológico de Zacatepec ubicado en el estado de Morelos de la carrera de Ingeniería Electromecánica. Realizando su residencia profesional en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en Temixco, Morelos. En el proyecto “Diseño de un dispositivo para convertir los gases de escape de un vehículo en metano” a cargo del Dr. Sergio Alberto Gamboa Sánchez.



Claudia Karina Zagal Padilla, graduada como Ingeniera en Energía en 2013 en la Universidad Politécnica del Estado de Guerrero (UPEG), graduada como Maestra en Ingeniería en Energía en 2017 por el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. Actualmente estudiante de doctorado en el Instituto de Energía Renovables de la UNAM (IER-UNAM).



Carlos Díaz Gómez, Ingeniero Químico de la Facultad de Zaragoza UNAM. Maestro en Biotecnología en la Universidad Politécnica del estado de Morelos. Catedrático de Energías Alternativas para la Universidad Politécnica del estado de Morelos. Doctorando en Ingeniería en Energías en el IER de la UNAM.



Héctor Daniel Cortés González. Ingeniero en Sistemas Computacionales egresado del Instituto Tecnológico de Mérida (1985-1989). Técnico Académico de la Unidad de Cómputo del Instituto de Energías Renovables (antes Centro de Investigación en Energía) desde 1998. Cuenta con diez registros de programas de cómputo ante el IMPI, así como dos en el depósito de archivos CPAN. Sus principales líneas de interés son: Software Libre, Hardware.