



## **ANEXO B. DEMANDAS DEL SECTOR 2013-01**

### **Única: “Diseño, construcción y evaluación de un reactor a oxihidrógeno para optimizar el uso de diesel y biodiesel en la mecanización agrícola”**

En atención a la problemática nacional en la que la Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I) tiene especial relevancia, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) ha identificado un conjunto de demandas y necesidades del Sector para ser atendidas por la comunidad científica, tecnológica y empresarial con el apoyo del “Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuacultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos”.

Estas demandas se han clasificado en el área estratégica:

#### **I Temas Estratégicos Transversales**

La Demanda Específica debe ser debidamente dimensionada y acotada a través de la siguiente estructura:

Es importante aclarar que se espera apoyar un solo proyecto por demanda específica, ya que el Macro Proyecto (multidisciplinario e interinstitucional) propuesto, debe cumplir con todos los productos esperados.

## I. Demanda Única por Temas Estratégicos Transversales

### Bioenergéticos

#### I. Título o tema a demandar

**“Diseño, construcción y evaluación de un reactor a oxihidrógeno para optimizar el uso del diesel o biodiesel en la mecanización agrícola”**

#### II. Beneficiarios del proyecto

La agroindustria y productores rurales que puedan utilizar el gas oxihidrógeno como energético en procesos productivos.

#### III. Antecedentes:

La mayor parte de la energía que se utiliza es suministrada por combustibles fósiles. La quema de dichos combustibles genera residuos, principalmente emisiones a la atmósfera en forma de gases, polvos, cenizas y clinker (Akansuet *al.*, 2004), que en contaminación se clasifican como partículas.

Estos materiales tienen efectos peligrosos para el ambiente, algunos de ellos a nivel local y otros incluso de impacto global. El uso continuo de grandes cantidades de combustibles fósiles es una seria amenaza para el medio ambiente (Akansuet *al.*, 2004).

El hidrógeno es un combustible prometedor para el futuro, como sistema energético, y puede ser utilizado en forma de gas o líquido. El hidrógeno utilizado como portador de energía puede ofrecer una respuesta a la amenaza del cambio climático y evitar reacciones adversas asociadas al uso de combustibles fósiles. Aunque se estima que el hidrógeno es más caro que los combustibles fósiles, éste, a partir de energía renovable, es una fuente casi inagotable (Katoet *al.*, 2003).

Existen tecnologías diversas para la producción de hidrógeno, el cual puede ser generado a partir de agua, biomasa, gas natural o CO<sub>2</sub> (Turner, 2004). Actualmente cerca del 95 % del hidrógeno que se produce a nivel mundial proviene de la catalización (catálisis) de vapores de hidrocarburos como gas natural y el restante 5 % es producido por electrólisis (Jaén, 2004). Cuando el hidrógeno se produce a partir de gas natural a través de vapor de metano, sólo representa una modesta reducción de las emisiones en vehículos si se compara con las emisiones actuales de vehículos híbridos. Las importaciones de gas natural no son recomendables, ya que implican incrementos en el costo de la mezcla. Evidentemente, el gas natural como insumo para obtener hidrógeno no es recomendable (Turner, 2004).

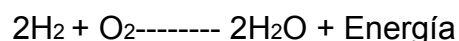
La gasificación del carbón produce considerables cantidades de hidrógeno y electricidad, debido simplemente al gran tamaño y disponibilidad de

yacimientos de carbón. Además, su relativo bajo costo lo hace ser el mejor recurso energético, ya que es económicamente viable para la producción de grandes cantidades de hidrógeno. Sin embargo, la energía necesaria para capturar CO<sub>2</sub>, aumenta la demanda de reservas de carbón; la conversión de la flota de vehículos de combustión normal a vehículos eléctricos y la generación de electricidad a partir de "carbón limpio", hacen al hidrógeno un vector energético que aceleraría el agotamiento de los yacimientos de carbón, dando como resultado que la generación de este insumo para producción de hidrógeno no es absolutamente sostenible. Eso deja a la energía solar, eólica, nuclear y geotérmica como importantes recursos para que la producción de hidrógeno que sea sustentable. Cabe mencionar que las vías de producción de hidrógeno incluye la electrólisis, ciclos térmicos-químicos y el procesamiento de la biomasa (Turner, 2004).

Las cantidades de hidrógeno y oxígeno generado por electrólisis se pueden calcular estequiométricamente mediante la ley Faraday. Bajo condiciones estándar a 298 °K, y 1.013x10<sup>5</sup>Pa, se produce 0.116 cm<sup>3</sup> C<sup>-1</sup> de hidrógeno y 0.0581 cm<sup>3</sup> °C<sup>-1</sup> de oxígeno. Si la temperatura supera los 4,000 °C, puede ocasionar pirolisis y la cantidad de hidrógeno generado excederá a la cantidad calculada utilizando la ley de Faraday (Mizuno *et al.*, 2005).

El potencial del uso de hidrógeno en motores de combustión interna (H<sub>2</sub>MCI) cuando operan como plantas de energía limpia y eficiente en automóviles está bien establecida. En particular, H<sub>2</sub>MCI genera emisiones cercanas a cero y su eficiencia está por encima de los motores de combustión interna (CI) convencionales y a gasolina. La capacidad de H<sub>2</sub>MCI para operar con emisiones cercanas a cero se debe principalmente al efecto de acoplamiento de dos características únicas del hidrógeno: a) óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) en las emisiones del motor son indeseables y se forman por la disociación térmica y oxidación del N<sub>2</sub> atmosférico durante la combustión, por lo que con el uso de hidrógeno se reduce la formación NO<sub>x</sub> y b) el bajo límite de inflamabilidad del hidrógeno permite una combustión estable, en condiciones altamente diluidas (White *et al.*, 2006).

Los motores de combustión a hidrógeno, funcionan como sistemas mixtos: capaces de expresar rendimientos de potencia similares a motores a gasolina. A la atmósfera sólo se expulsa, como resultado de la combustión, vapor de agua, que es consecuencia de una reacción exotérmica (Catalán, 2004).



El inconveniente en cualquier caso es el almacenamiento del hidrógeno, el cual se debe almacenar a -252 °C, por lo que se requieren depósitos especiales de tipo criogénico. Su uso en estado gaseoso permite más opciones y entonces debe mantenerse a alta presión en un depósito diseñado y probado para este fin. El hidrógeno mejora la combustión de los hidrocarburos, se considera energía limpia, libre de emisiones y aumenta la vida útil del motor.

#### IV. Problemática

No sólo el uso continuo de grandes cantidades de combustibles fósiles representa una seria amenaza para el ambiente, sino también que los propios combustibles son finitos. Hay debates entre los expertos acerca de la cantidad extraíble de los combustibles fósiles. La opinión general es que a principios del siglo XXI, casi la mitad de los combustibles fósiles ya habían sido consumidos. Las reservas conocidas de petróleo en todo el mundo se prevé que se agoten en unos 40 años o al menos en gran cantidad. Otro problema con el petróleo son las emisiones de contaminantes, como el CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y CO. La cantidad de carbón se sabe que es grande, pero la tecnología convencional de combustión de carbón es mucho más contaminante que el de la mayoría de los otros combustibles; en particular, en términos de las emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de energía útil liberada. A fin de disminuir estas contaminaciones, otros combustibles alternativos están siendo considerados: el metano, el hidrógeno y las mezclas de hidrógeno y metano (Akansuet *al.*, 2004).

El fenómeno de ignición según norma UNE-EN ISO 13943 corresponde con el punto de ignición, siendo la temperatura mínima necesaria para que un material inflamable desprenda vapores que, mezclados con el aire, se inflamen en presencia de una fuente ígnea, y continúa ardiendo una vez retirada la fuente de activación.

En los últimos 70 años se han realizado numerosos estudios y experimentos para entender y resolver el problema de la ignición incompleta; recientemente, la Universidad de California, Riverside y Ford Motor Company han demostrado que el funcionamiento de un motor impulsado por hidrógeno es capaz de desarrollar alta eficiencia, con emisiones bajas de óxido nítrico (NO<sub>x</sub>) y sin preignición con un sistema de inyección electrónica de combustible llamado "Leanburn" -consumo reducido- (Heffel, 2003). No obstante, aun falta mejorar este sistema, por lo que se requiere seguir estudiando otras alternativas de mejora y obtener un combustible de mayor calidad. Es cuestionable la eficacia en la producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno, debido a la cantidad de energía requerida para extraer hidrógeno de agua o de la biomasa para utilizarse como combustible, si se opta por un futuro basado en el hidrógeno se tiene que pensar cuidadosamente en dicha energía para su producción (Turner, 2004).

Las ventajas del uso de hidrógeno y su mezcla con hidrocarburos se sustenta en que no produce contaminación ni consume recursos naturales, pues el hidrógeno se obtiene del agua y en esta reacción no se forman productos secundarios, ni tóxicos.

El hidrógeno bajo este esquema de mezclas presenta un manejo altamente seguro, además de disiparse rápidamente en la atmósfera, por lo que no presenta riesgos, además de no ser tóxico. El proceso de producción de hidrógeno es silencioso, las celdas que lo generan no requieren mantenimiento, permite un crecimiento modular de acuerdo al tamaño requerido en función de la demanda energética. Aumenta la vida útil del motor al disminuir la

carbonización de la cámara de combustión, válvulas y bujías, para el caso de motores a gasolina, e incrementa la vida de los inyectores en los motores a diesel.

El oxihidrógeno incrementa la potencia del motor, aumenta el porcentaje de mezcla con hidrocarburos por encima del 5%, eleva el octanaje a 140 en gasolinas, lo que da como resultado un incremento considerable en la potencia del motor, además de no presentar residuos de combustión ya que el hidrocarburo mezclado se quema en su totalidad. Debido a que se autogenera en celdas no se necesita infraestructura para su suministro como en el caso de los combustibles fósiles. La inversión inicial se recupera en los primeros seis meses, debido al ahorro en combustibles y a la eficiencia en la combustión de los mismos, dichos ahorros pueden llegar a ser hasta de un 40%, lo cual dependerá del estado mecánico del motor y de su manejo. Otro factor a investigar son las impurezas en el agua, las que de manera significativa pueden reducir la vida útil de la celda electrolítica. El agua empleada en el proceso de obtención de hidrógeno debe ser purificada y deionizada, lo cual puede aumentar el costo de este combustible (Turner, 2004).

## **V. Logros y avances**

En 2003, el presidente George Bush de EE.UU. propuso que se deberían utilizar US\$12, 000, 000,000 para financiar investigación que pudiera conducir al mundo a un desarrollo limpio, impulsando automóviles con motores a hidrógeno; desde entonces, los artículos tanto a favor como en contra han sacudido el concepto. El uso del hidrógeno no es una idea nueva. En 1874, Jules Verne, mencionaba la existencia de una oferta limitada de carbón y las posibilidades de que el hidrógeno derivado de la electrólisis del agua: "el agua será el carbón del futuro". Por otra parte, Rudolf Erren (1930) sugirió el uso de hidrógeno producido a partir de la electrólisis del agua como el combustible para el transporte. Sus objetivos eran reducir las emisiones de la automoción y las importaciones de petróleo en Inglaterra. Del mismo modo, Francis Bacon creador de la pila de hidrógeno, sugirió el uso de hidrógeno como un sistema de almacenamiento de energía. La visión de utilizar la energía de la electricidad y electrólisis para generar hidrógeno del agua para el transporte, con el propósito de reducir emisiones al medio ambiente y proporcionar la seguridad energética, es convincente pero sigue siendo aún no realizada o ejecutada esta idea (Turner, 2004).

Uno de los métodos más prometedores para la producción de hidrógeno es la electrólisis utilizando una variedad de fuentes de energía como la solar, geotérmica, hidroeléctrica, nuclear y la energía de fusión, de tal manera que la electrólisis sea eficiente y económica. (Hu, 2000).

Se ha encontrado que los electrodos con catalizador níquel tipo Raney (El níquel Raney es un catalizador sólido compuesto por granos muy finos de una aleación de níquel-aluminio) tienen baja tensión al oxígeno y su actividad se mantiene sin cambios al menos por 13,000 horas. Así mismo, electrodos con

recubrimiento de níquel Raney y aleaciones de níquel-molibdeno han mostrado una baja sobretensión y una buena estabilidad en condiciones de electrolisis. Sin embargo, el principal inconveniente de los dos tipos de electrocatalizadores es que las reacciones para generar hidrógeno se pierden con facilidad después de un funcionamiento intermitente, especialmente después de un largo período. La razón de la degradación es la oxidación de la disolución de los catalizadores tales como Al y Zn por aleaciones de níquel Raney y Mo o bien en aleaciones de níquel-molibdeno (Hu, 2000).

Lo que se busca hoy en día son nuevos electrocatalizadores que muestren una excelente estabilidad en tiempos intermitentes de operación, así como la electrolisis continua. Se requiere también comparar el desarrollo y propiedades electroquímicas de catalizadores manufacturados con diferentes aleaciones. Entre los fabricantes de automóviles, que llevan tiempo investigando la sustitución de combustibles tradicionales, existen dos marcas que van a la vanguardia en este rubro (BMW y Mazda). Otros fabricantes han adaptado sus motores convencionales al uso de hidrógeno: GM, Toyota y Ford (Catalán, 2009).

En el mundo agrícola, New Holland desarrolló su tractor prototipo NH2™. Este ha sido el primer intento, ofrecido por un fabricante agrícola ensayando con hidrógeno. El prototipo de tractor de hidrógeno NH2™, es el primer tractor del mundo alimentado por hidrógeno, tiene una potencia de 79 kW-h<sup>-1</sup> y está basado en el modelo NH-T6000, reemplazando su motor de combustión a diesel por células de combustible. El H<sub>2</sub> comprimido desde un tanque reacciona en las pilas con O<sub>2</sub> tomado del aire, produciendo H<sub>2</sub>O y electricidad (Catalán, 2009).

## **VI. Propósito de la demanda:**

Diseñar, construir y evaluar un reactor a oxihidrógeno para optimizar el uso de diesel y biodiesel en la mecanización agrícola.

## **VII. Objetivos**

### **Objetivo General:**

Generar un reactor de oxihidrógeno con una eficiencia electrolítica superior al 70%, susceptible de ser aplicable como fuente de energía en actividades agropecuarias, y desarrollar un paquete tecnológico que permita la aplicación de reactores electrolíticos de producción de gas oxihidrógeno, como aditivo de la combustión de diesel o biodiesel en motores de combustión interna.

### **Objetivos particulares:**

1. Desarrollar un reactor para la producción de gas oxihidrógeno a partir de agua potable, con diseño, materiales y componentes innovadores especial para hacer más eficiente su uso en tractores adiesel y biodiesel.
2. Evaluar químicos electrolíticos que sean eficientes en conductividad eléctrica.
3. Establecer balances eléctricos y energéticos para evaluar la rentabilidad de los reactores en estudio.
4. Desarrollar un sistema de control electrónico para reactores generadores de oxihidrógeno, con el propósito de garantizar su óptimo funcionamiento y el control de las variables: consumo eléctrico, temperatura de operación, y nivel de electrolito; parámetros que son fundamentales en el proceso electroquímico. Además, se deberán monitorear sus niveles de voltaje y tiempos de funcionamiento. Esta información se deberá almacenar de manera continua para su análisis y caracterización del comportamiento del reactor durante su operación. Lo anterior permitirá hacer ajustes y calibrar estos parámetros, de acuerdo a las observaciones de campo y características específicas de las diversas unidades de los usuarios finales en nuestro territorio nacional, siendo siempre deseable una interfaz de usuario amigable y fácil de comprender.
5. Llevar a cabo pruebas para evaluar la confiabilidad de los materiales del reactor y control electrónico.
6. Determinar el punto óptimo de ingreso de oxihidrógeno al motor CI, rangos de ingreso de oxihidrógeno a motores CI y evaluar los resultados de la optimización en la combustión.
7. Experimentar y evaluar el rendimiento y optimización de motores CI, llevando a cabo modificaciones de configuración con respecto a sus parámetros originales de funcionamiento, con la finalidad de hacer más eficiente el uso del oxihidrógeno.
8. Incrementar el rendimiento de motores CI por encima de un 33 % respecto a su habitual eficiencia, equivalente a 25% de ahorro en el uso de diesel o biodiesel.
9. Cuantificar las emisiones de compuestos contaminantes y gases de efecto invernadero como monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).
10. Evaluar el desgaste del motor y sus condiciones mecánicas después de un periodo determinado de funcionamiento, utilizando oxihidrógeno con diesel o biodiesel de manera híbrida, en relación a la operación normal con solamente hidrocarburos.
11. Determinar la cantidad de carbón producida dentro de los motores CI con y sin el uso de oxihidrógeno.
12. Evaluar en equipos móviles (tractores y camiones de carga) el rendimiento del motor CI, utilizando un alternador extra dedicado a la alimentación eléctrica del reactor de oxihidrógeno.
13. Evaluar riesgo ambiental y las medidas de seguridad requeridas durante la fabricación, almacenamiento, distribución y operación seguras del reactor.
14. Evaluar ciclo de vida del prototipo.

## **VIII. Justificación**

Actualmente hay un fuerte interés en la producción de hidrógeno como portador de energía secundaria para el mercado no eléctrico. El hidrógeno es de especial interés como portador de energía secundaria, ya que tiene el potencial de ser almacenado y transportado, y se considera una fuente de energía limpia y respetuosa con el medio ambiente. El hidrógeno se produce hasta ahora principalmente a través de un reformado con vapor de metano. Desde una perspectiva a largo plazo, el reformado de metano no es un proceso viable a gran escala para la producción de hidrógeno como vector energético importante, ya que estos procesos de conversión de combustibles fósiles consumen recursos no renovables y emiten gases de efecto invernadero para el medio ambiente. En consecuencia, existe un alto grado de interés en la producción de hidrógeno a partir de la hidrólisis del agua a través de procesos termoquímicos o electrolíticos (Stootset *al.*, 2005).

La disociación directa de agua es una forma obvia de producir hidrógeno. El agua es abundante y el hidrógeno del producto es puro y no contiene carbono. La reacción es endotérmica y es la forma más sencilla de proporcionar la energía necesaria es mediante una reacción de tipo electroquímico. Si la energía eléctrica se obtiene de una manera sostenible, utilizando energía eólica, hidráulica o solar, el hidrógeno producido es limpio y no contaminante, por lo que es energía libre de CO<sub>2</sub> que puede ser utilizada en relación con las celdas de combustible para producir energía y para una amplia gama de aplicaciones en las que se usa electrólisis. Sin embargo, este proceso se asocia a importantes pérdidas de energía, donde la mayor parte de éstas están relacionadas con los procesos electroquímicos.

El hidrógeno es considerado como un combustible prometedor para el transporte, ya que es energía limpia y renovable. Asimismo, por la vía electroquímica en pilas de combustible se considera más limpio y eficiente. En la actualidad, la tecnología de las pilas de combustible es cara. En el corto plazo, el uso del hidrógeno en motores CI, de encendido a chispa, puede ser factible como tecnología de bajo costo para reducir las emisiones y el calentamiento global. La investigación en el desarrollo del hidrógeno como combustible en motores CI, ha sido constante y se ha incrementó en el siglo XX (Heffel, 2003).

## **IX. Productos a entregar**

1. Construir al menos un reactor para generar oxihidrógeno a partir de agua potable para motores a diesel y biodiesel en tractores agrícolas, instalado y funcionando, con diseño y manufactura profesional hecha en México, para aplicación en operaciones agrícolas.
2. Reporte de resultados, análisis y conclusiones sobre la experimentación con electrolíticos de mayor eficiencia en conductividad eléctrica.
3. Reporte del balance energético y eléctrico de los reactores desarrollados y su respectivo análisis de rentabilidad.



4. Un dispositivo de control electrónico para reactores generadores de oxihidrógeno que garantice su óptimo funcionamiento, controlando: el consumo eléctrico, la temperatura de operación y el nivel de electrolito. El sistema debe monitorear los niveles de voltaje y tiempos de funcionamiento, almacenando el estatus de estas variables para el análisis y caracterización del reactor durante su operación. Lo anterior permitirá llevar a cabo ajustes y calibración de estos parámetros del sistema de acuerdo a las observaciones de desempeño del tractor en campo y sus características específicas, con una interfaz de usuario amigable y fácil de comprender.
5. Presentar estudios de validación de la operatividad y durabilidad de los diferentes componentes y dispositivos que integran el reactor y su control electrónico.
6. Reporte de resultados de los ensayos en los puntos de ingreso del gas a motores CI.
7. Reporte comparativo de la eficiencia un motor de combustión interna contra un motor híbrido (utilizando oxihidrógeno) considerando el porcentaje de incremento en el rendimiento del motor CI con relación al tamaño, tipo de motor e hidrocarburo consumido.
8. Reporte del incremento en rendimiento por encima del 33% del motor en términos de potencia y el ahorro en el consumo de combustible con el uso de biodiesel más oxihidrógeno.
9. Cuadro comparativo con el tipo y cantidad de emisiones emanadas por un motor CI funcionando con y sin oxihidrógeno.
10. Reporte comparativo de la condición general del desgaste de un motor CI utilizando oxihidrógeno después de un periodo determinado de funcionamiento, en relación a la operación con el uso de diesel, biodiesel, diesel más oxihidrógeno y biodiesel más oxihidrógeno; además comparativa de emisiones de compuestos contaminantes y gases de efecto invernadero para diesel, biodiesel, diesel más oxihidrógeno y biodiesel más oxihidrógeno.
11. Reporte comparativo con la evaluación de la carbonización producida dentro de los motores CI con y sin el uso del oxihidrógeno.
12. Reporte de la evaluación del rendimiento de un motor CI utilizando un alternador extra dedicado exclusivamente a la alimentación eléctrica del reactor.
13. Folletos digitales e impresos con información de uso, mantenimiento y especificaciones del reactor.
14. Reporte sobre el riesgo ambiental y las medidas de seguridad requeridas durante la fabricación, almacenamiento, distribución y operación seguras del reactor.
15. Informe del análisis de Ciclo de Vida del prototipo.
16. Folleto digital e impreso para productores con lenguaje apto para este sector de los resultados obtenidos.
17. Un curso para la entrega de los resultados al término del proyecto, en el cual debe estar presente personal del Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT.

## **X. Impactos a lograr con los productos a obtener**

### **Económico**

El impacto económico que traería el uso de esta tecnología en el sector primario sería relevante para incrementar la rentabilidad, ya que los combustibles y su permanente desplazamiento al alza, afectan los costos operativos de los procesos de producción del sector agropecuario. Entre los más importantes se pueden destacar: transporte y aplicación de insumos, operaciones agrícolas, así como cosecha y comercialización de productos. El aplicar esta tecnología revolucionará el concepto tradicional de quemar hidrocarburos al menos en nuestro país, ya que en otros países es utilizada de manera híbrida. Esto obligaría a otros sectores productivos, comerciales e industriales, a usar los beneficios y alcances que propone esta tecnología, cuyo objetivo es conseguir ahorros importantes en el consumo de hidrocarburos, sin contar con los beneficios complementarios, como son el aumento de la vida útil del motor, el aumento en la potencia que experimentan las unidades (traducido esto en más productividad).

### **Social**

Esta tecnología se podría cuantificar y traducir en una cultura social responsable y amigable con el ambiente. Al respecto, con esta nueva tecnología la sociedad obtendría una alternativa para la reducción en el uso y la quema de hidrocarburos, rompiendo los esquemas tradicionales a los que siempre ha estado condicionada.

### **Tecnológico**

Desarrollar una tecnología de vanguardia que implique la suma de esfuerzos y conocimientos multidisciplinarios, que bien amalgamados se pueden traducir en la integración de un paquete tecnológico con una amplia posibilidad de uso, no solo para disminuir el consumo de hidrocarburos de manera importante para el sector primario, sino también para ofrecer una tecnología amigable con el ambiente, pues su uso disminuirá de manera contundente las emisiones de gases de efecto invernadero que favorecen el calentamiento global.

### **Ecológico**

Deben considerarse fenómenos que sucederán en el corto, mediano y largo plazos, a causa del cambio climático: las sequías, ciclones, heladas fuera de las estaciones comunes, inundaciones, etc.; no solo en nuestro país sino en otras partes del mundo. Entre otras causas, el cambio climático se debe a la emisión excesiva de gases de efectos de invernadero, provenientes de la combustión de hidrocarburos. Sin duda, lo que le da más valor e importancia a

esta tecnología, es la reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente, beneficiando con esto el entorno ecológico.

## **XI. Literatura citada**

- Akansu S.O., A. Dulger, N. Kahraman. 2004. Int. Internal combustion engines fueled by natural gas—hydrogen mixtures J. Hydrogen Energy 29(14):1527–1539.
- Catalán H. 2004. Alternativas al motor de combustión convencional en los vehículos automóviles. Agro técnica. 72:80
- Catalán, H. 2009. Es viable el hidrógeno como combustible de maquinaria agrícola. Mundo del agrónomo. 9:1-31
- Heffel JW. 2003. NOx emission and performance data for a hydrogen fueled internal combustion engine at 1500 rpm using exhaust gas recirculation. Int J Hydrogen Energy. 28:901–908.
- Jaén, María. 2004. "Tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible." Jornadas técnicas de ciencias ambientales. ARIEMA Energía y medio ambiente, SL. Madrid, Madrid. 10 Nov. 2004. Reading.
- Kato T, Kubota M, Kobayashi N, Suzuoki Y. 2003. Effective utilization of byproduct oxygen from electrolysis hydrogen production. In: International energy workshop. Laxenburg, AUSTRIA: Pergamon-Elsevier Science Ltd.
- Stoots, C. M., O'Brien, J. E., McKellar, M. G., Hawkes, G. L., and Herring, J. S. 2005.—Engineering Process Model for High-Temperature Steam Electrolysis System Performance Evaluation, □AIChE. Annual Meeting, Cincinnati, Oct. 30 – Nov. 4, 2005.
- T. Mizuno, T. Akimoto, K. Azumi, T. Ohmori, Y. Aoki, A. Takahashi. 2005.—Hydrogen Evolution by Plasma Electrolysis in Aqueous Solution, □Japanese Journal of Applied Physics, 44: 396-401.
- Turner, J. A. 2004. Sustainable hydrogen production. Science. 305: 972-974.
- White CM, Steeper RR, Lutz AE. 2006. The hydrogen-fueled internal combustion engine: a technical review. Int. J. Hydrogen Energy, 31:1292–1305.
- W. Hu. 2004. Electrocatalytic properties of new electro catalysts for hydrogen evolution in alkaline water electrolysis, Int. J. Hydrogen Energy 25: 111–118.

### **Contacto para consultas técnicas sobre la demanda:**

**Ing. Jaime Paz Arrezola**

**Secretario Ejecutivo SNITT**

Teléfono (55) 56398981

Correo Electrónico [jpaz@snitt.org.mx](mailto:jpaz@snitt.org.mx)

**Ing. Guillermo del Bosque Macías**

**Director General de Fibras Naturales y Biocombustibles**

Teléfono (55) 38711000 ext 40182

Correo Electrónico [guillermo.delbosque@sagarpa.gob.mx](mailto:guillermo.delbosque@sagarpa.gob.mx)