

**La utilización del Metanol  
como Biocombustible**

**Using Methanol as Biocombustible**

Claudia Cecilia Leiva Bautista

# REALIDAD Y REFLEXIÓN

## Reality and Reflection



Año 9, No. 31  
Year 9, Nr. 31

San Salvador, El Salvador, Centroamérica  
San Salvador, El Salvador, Central America

Revista Cuatrimestral  
Quarterly Journal

Enero-Abril 2011  
January-April 2011

### La Utilización del Metanol como Biocombustible

#### Using Methanol as Biocombustible

Claudia Cecilia Leiva Bautista<sup>1</sup>  
Investigadora  
Universidad Francisco Gavidia

Este artículo se refiere al metanol<sup>1</sup> y su utilización como biocombustible<sup>2</sup>. Se abordan diferentes aspectos, entre ellos, su origen, propiedades, aplicaciones, ventajas, desventajas, procesos de obtención, etc. El metanol es un combustible líquido de alto rendimiento que emite bajos niveles de compuestos contaminantes. Se puede utilizar puro o mezclado con gasolina. También es un reactivo imprescindible en la producción de biodiesel<sup>3</sup> a través del proceso de transesterificación<sup>4</sup>. El metanol se produce en forma sintética lo cual es una ventaja porque no se requiere del cultivo de especies vegetales idóneas para su producción como es el caso del etanol<sup>5</sup>. El metanol se puede producir a partir de desechos orgánicos, heces y/o aguas residuales, materiales disponibles y abundantes en El Salvador. METANOL – APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS – COMBUSTIBLES VEGETALES - BIODIESEL.

This article refers to methanol and its use as bio-combustible. Different items are discussed, among them, its origins, properties, applications, advantages, disadvantages, processes of extraction and so on. Methanol is a high performance liquid combustible with low emissions of contaminant compounds. It can be used pure or mixed with gasoline. It is an essential reactive also, to produce biodiesel through a transesterification process. Methanol is produced in synthetic way, representing an advantage, because it doesn't require culture of vegetable species to produce it, unlike ethanol. It is possible to obtain methanol from organics wastes, excrement or wastewater, available in abundance in El Salvador. METHANOL – WASTES PROCESSING – VEGETABLE OIL - BIODIESEL.

## Introducción

La época del petróleo barato finalizó hace varios años. Esta situación conlleva a considerar el uso de combustibles alternativos para cubrir nuestras, cada día crecientes, necesidades de energía. Los altos precios del petróleo han golpeado fuertemente a nuestra economía.

Esto obliga a países pobres como El Salvador a la búsqueda de alternativas para disminuir la factura de petróleo, que se prevé sobrepasará los \$1,100 millones de dólares anuales, según la Asociación Salvadoreña de Distribuidores de Productos de Petróleo (ASDPP)<sup>1</sup>.

Por tanto, tenemos que buscar, urgentemente, la manera de disminuir nuestra gran dependencia hacia los combustibles fósiles.

El Salvador debe, al más corto plazo, reducir su consumo de petróleo mediante la utilización de los biocombustibles. Este tipo de combustibles provienen de la biomasa (materia orgánica de origen animal o vegetal).

Entre estos se puede mencionar: el alcohol etílico o etanol, alcohol metílico o metanol, biodiesel y otros combustibles gaseosos tales como hidrógeno<sup>2</sup> y metano<sup>3</sup>. Los biocombustibles se utilizan principalmente como fuente de energía de vehículos a motor y para producir energía eléctrica.

El futuro del petróleo se vislumbra cada día más crítico. A medida que los pozos petroleros accesibles se vayan agotando, el precio del petróleo y sus derivados continuará elevándose de manera

imparable. Cuando dentro de algunas décadas el petróleo, que es un recurso no renovable, se haya agotado totalmente, sobrevendrá un caos energético a nivel mundial.

Por esta razón, desde ahora debemos comenzar a utilizar combustibles alternativos, específicamente biocombustibles, que no contaminen excesivamente el medio ambiente, que no impacten negativamente a nuestra economía y que permitan el desarrollo sostenible de nuestro país.

## Breve Reseña Histórica.

Atribuir el descubrimiento del metanol a una persona específica, resulta indudablemente un hecho de enorme complejidad, pues el compuesto orgánico definido como "Metanol" (igualmente conocido bajo el nombre de Alcohol de Madera, Alcohol de Quemar o Carbinol) es registrado activamente en cuanto a uso se refiere, desde épocas predecesoras al cristianismo, siendo empleado tanto antagónica como protagónicamente, pues bien es cierto que en no pocas ocasiones se utilizaba como un potente veneno, al igual que como un factible disolvente.

Se obtenía mediante la quema de madera (troncos y/o tallos de árboles) dentro de un espacio confinado donde se permitía la condensación y finalmente el paso a un estado líquido, el producto final lo representaba la obtención de una sustancia opaca que no era otra que el propio metanol; el proceso descrito anteriormente es el conocido actualmente como "Destilación Destructiva de la Madera".

El uso del metanol en épocas pasadas, giraba específicamente en torno a una escasa actividad de disolvente para la síntesis de ciertos pigmentos, era implementado por ciertas civilizaciones de la Asia occidental, como un aditivo al "Glucósido Indican" para incidir su disolución y obtener un intenso pigmento azul índigo.

No obstante, en ambos casos, los usos del metanol se limitaban a una reducida utilidad, incapaz de incidir en decisivos cambios dentro de modos de vida y/o de trabajos.

Ahora bien, previa a la exposición de las características esenciales del metanol, es menester acotar el hecho de que la síntesis de la primera porción de este compuesto, no surgió como consecuencia de intensas y prolongadas investigaciones por parte de incontables científicos, sino que por el contrario, se originó a raíz de la propia sencilla actividad de la naturaleza.

Siendo prudente considerar que el primer volumen de metanol fue creado en eras prebióticas, en el acontecer de un accidental incendio en el tronco de un árbol, bien haya sido por efecto de una centella o como resultado de actividad volcánica, ardor que en ambos casos creó un proceso de pirólisis (descomposición de un compuesto químico por acción del calor) en la lignina (compuesto orgánico presente en la madera y que brinda firmeza a la misma) produciendo una serie de grupos metilos que una vez fusionados espontáneamente a radicales hidroxilos generarían alcoholes del tipo metanol.

### Metanol y combustibles similares

El contenido de energía de algunos combustibles se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1. Contenido energético de algunos combustibles, en base a masa y volumen.**

Combustible	Estado	Calor de combustión Kjoule/g	Calor de combustión Kjoule/cm <sup>3</sup>
Hidrógeno	líquido	124.7	8.7
Metanol	líquido	20.1	15.9
Gasolina	líquido	44.3	30.9
Hidruros	sólido	4.7	28.4
Carbón	sólido	32.2	41.8
Madera	sólido	17.5	14.2
Hidrógeno	gas	124.7	0.0010
Metano	gas	61.1	0.0044

Fuente: Revista Science, volumen 182

El hidrógeno produce la mayor cantidad de energía en base a la masa, por tal razón, es utilizado en cohetes donde el volumen y el costo son secundarios. Los productos derivados del petróleo, tal como la gasolina, tiene la mayor cantidad de energía en base a volumen y está en segundo lugar en base a masa. Por tal motivo, la gasolina será preferida por largo tiempo para los aeroplanos donde el menor peso es una prioridad.

Sin embargo, de todos los combustibles líquidos, el metanol produce la segunda mayor cantidad de energía en base a volumen.

Aunque el metanol no es el combustible más barato, sus propiedades lo hacen competitivo con los otros combustibles.

El Etanol, el cual tiene muchas de las propiedades del metanol, y podría ser usado en muchas de las aplicaciones que se discuten actualmente, cuesta aproximadamente tres veces más que el metanol. En los países menos industrializados, sin embargo, el etanol puede ser un combustible atractivo porque puede ser producido a partir de la fermentación de productos agrícolas.

En la fabricación del metanol, el producto a la salida de la planta, puede ser incrementado en un 50% si pequeñas cantidades de otros alcoholes pueden ser tolerados en el producto. Tal mezcla es llamada combustible metílico, y contiene más energía que el metanol puro debido a la presencia de etanol, propanol e isobutanol. Puede ser producido en grandes cantidades a un menor costo que el metanol puro, y en general, tiene mejores propiedades como combustible.

#### **Usos históricos del alcohol como combustible**

Durante los últimos 50 años en los Estados Unidos de América, el metanol y otros alcoholes no han competido exitosamente con los existentes suministros de petróleo. Antes de este tiempo, sin embargo, los alcoholes fueron utilizados extensamente

como combustibles. El alcohol, por ejemplo, se convirtió en un combustible popular para iluminación en 1830, cuando éste reemplazó los malolientes aceites de pescado y ballena.

Aproximadamente en 1880, el kerosen reemplazó al alcohol como combustible para iluminación debido a su llama que producía más luz pero también una gran cantidad de hollín. Una llama limpia, como la del alcohol, no produce gran iluminación si no se agrega aditivos especiales. Durante la mitad del siglo pasado, Francia estuvo parcialmente dependiendo su economía del combustible metanol. La madera fue destilada en las provincias para obtener alcohol, el cual fue quemado en París para calentar las casas, iluminar y cocinar. Esto fue más económico que transportar la madera hasta París, además facilitó la eliminación de las cenizas.

Durante la primera y segunda guerras mundiales, cuando ocurrió una escasez de gasolina en Alemania y Francia, vehículos de todos los tipos, incluyendo tanques y aviones, llevaban quemadores de madera en la parte de atrás o en remolques. Las astillas de madera fueron destiladas para producir alcohol gaseoso que incluía monóxido de carbono e hidrógeno; estos gases podían apenas mover el vehículo.

En 1938, 9000 vehículos con quemadores de madera fueron utilizados en Europa. "La energía del alcohol" (etanol) fue también utilizada por Francia y Alemania para complementar las provisiones de gasolina y estimular la producción de alcohol para anticipar su uso en la producción de municiones.

Aproximadamente en 1920, fabricantes en los Estados Unidos comenzaron a producir metanol para usarlo como solvente, para la fabricación de plástico, y para los inyectores de combustible en los pistones de aeronaves. En 1972,  $3.2 \times 10^9$  kg ( $10^9$  galones) de metanol fueron producidos, equivalente, aproximadamente, a 1% de la cantidad de gasolina producida.

### Propiedades y características del metanol

El metanol es el primero de los alcoholes. Su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{OH}$

La estructura química del metanol es muy similar a la del agua, con la diferencia de que el ángulo del enlace C-O-H en el metanol ( $108.9^\circ$ ) es un poco mayor que en el agua ( $104.5^\circ$ ), porque el grupo metilo es mucho mayor que un átomo de hidrógeno. Ver figura 1.

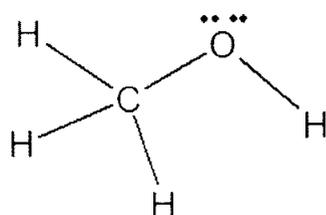


Figura 1. Estructura química del Metanol

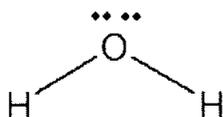


Figura 2. Estructura química del agua.

En condiciones normales el metanol es un líquido incoloro, de escasa viscosidad, de olor y sabor frutal penetrante, miscible en agua y con la mayoría de los solventes orgánicos, muy tóxico e inflamable. El olor es detectable a partir de los 2 ppm (partes por millón).

Es considerado como un producto petroquímico básico, a partir del cual se obtienen varios productos secundarios.

Las propiedades físicas más relevantes del metanol, en condiciones normales de presión y temperatura, se listan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Propiedades físicas del metanol

Peso Molecular	32 g/mol
Densidad	0.79 kg/L
Punto de fusión	$-97^\circ\text{C}$
Punto de ebullición	$65^\circ\text{C}$

Fuente: Revista Science, volumen 182

El metanol se quema con una limpia llama azul y es familiar para la mayoría de personas como el alcohol usado para calentar la comida en la mesa. Las mezclas con 6.7% a 36% de aire son inflamables. La temperatura de auto ignición del metanol es  $467^\circ\text{C}$ , la cual es alta comparada con  $222^\circ\text{C}$  para la gasolina. Esto es debido al alto octanaje, 106, del metanol. La gasolina tiene un octanaje entre 90 y  $100^4$ .

En la tabla 2, de los puntos de ebullición y de fusión se deduce que el metanol es un líquido volátil a temperatura y presión atmosféricas. Esto es destacable ya que tiene un peso molecular similar al del etano (30 g/mol), y éste es un gas en condiciones normales.

La causa de la diferencia entre los puntos de ebullición entre los alcoholes y los hidrocarburos de similares pesos moleculares es que las moléculas de los primeros se atraen entre sí con mayor fuerza. En el caso del metanol estas fuerzas son de puente de hidrógeno<sup>5</sup>, por lo tanto esta diferencia es más remarcada.

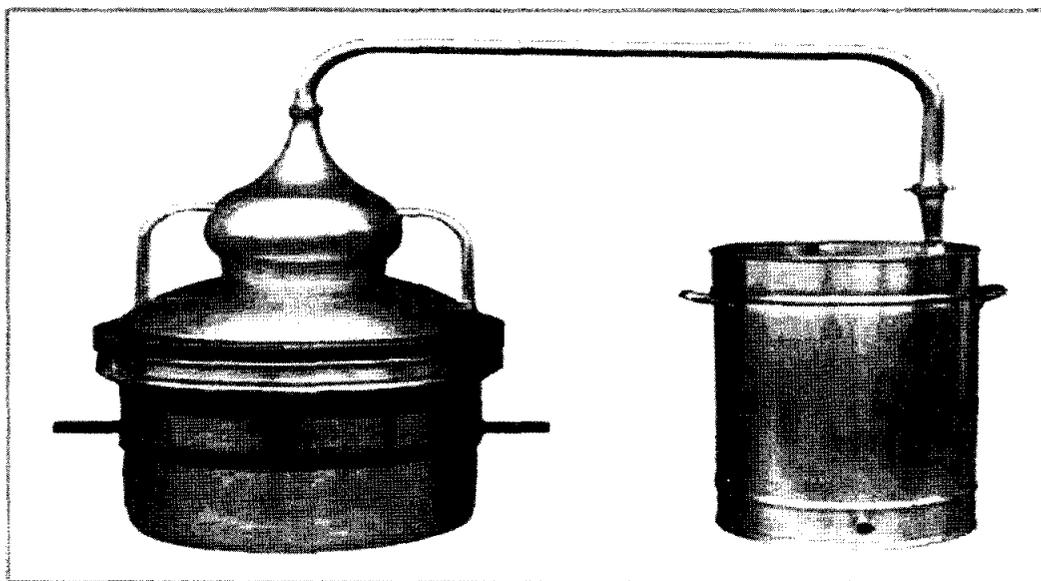
El metanol y el agua tienen propiedades semejantes debido a que ambos tienen grupos hidroxilo (OH) que pueden formar puente de hidrógeno. El metanol forma puente de hidrógeno con el agua y por lo tanto es miscible (soluble en todas las proporciones) en este solvente. Igualmente el metanol es muy buen solvente de

sustancias polares<sup>6</sup>, pudiéndose disolver sustancias iónicas<sup>7</sup> como el cloruro de sodio en cantidades apreciables.

De igual manera que el protón del hidroxilo del agua ( $H^+$ ), el protón del hidroxilo del metanol es débilmente ácido. Se puede afirmar que la acidez del metanol es equivalente a la del agua. Una reacción característica del alcohol metílico es la formación de metóxido de sodio cuando se lo combina con hidróxido de sodio.

El metanol es considerado como un producto o material inflamable de primera categoría; ya que puede emitir vapores que mezclados en proporciones adecuadas con el aire, originan mezclas combustibles. El metanol es un combustible con un gran poder calorífico, que arde con llama incolora o transparente y cuyo punto de inflamación es de 12,2 °C.

Al ser considerado como inflamable de primera categoría, las condiciones de



almacenamiento y transporte deberán ser extremas. Está prohibido el transporte de alcohol metílico sin contar con los recipientes especialmente diseñados para ello. La cantidad máxima de almacenamiento de metanol en el lugar de trabajo es de 200 litros.

Las áreas donde se produce manipulación y almacenamiento de metanol deberán estar correctamente ventiladas para evitar la acumulación de vapores. Además los pisos serán impermeables, con la pendiente adecuada y con canales de escurrimiento.

Si la iluminación es artificial deberá ser antiexplosiva, prefiriéndose la iluminación natural. Así mismo, los materiales que componen las estanterías y artefactos similares deberán ser anti chispa. Las distancias entre el almacén y la vía pública serán de tres metros para 1000 litros de metanol, aumentando un metro por cada 1000 litros más de metanol. La distancia

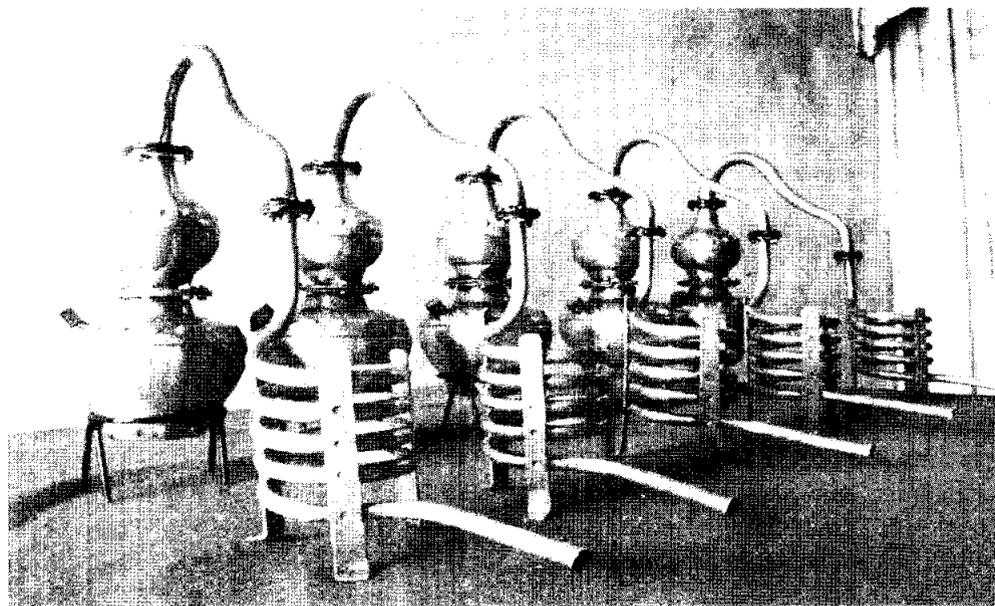
entre dos almacenes similares deberá ser el doble de la anterior.

Para finalizar con las propiedades y características podemos decir que el metanol es un compuesto orgánico muy importante ya que el grupo hidroxilo se convierte con facilidad en cualquier otro grupo funcional.

Así el metanol se oxida para obtener formaldehído (formol) y ácido fórmico<sup>8</sup>; mientras que por su reducción obtenemos metano. Igualmente importantes son las reacciones de éster y esterificación<sup>9</sup>.

### Aplicaciones actuales

Existe un hecho curioso al referirse a la propia evolución en términos de utilidad del metanol, y es que de observarse con detalle, es apreciable que para épocas anteriores a 1828 o mejor aún, al surgimiento oficial de la química orgánica



con la síntesis artificial del primer compuesto orgánico por el científico alemán Friedrich Wöhler, las aplicaciones de dicha clase de alcohol, tal y como se expuso anteriormente, se presentaron como escasas.

No obstante, años posteriores a 1828 y luego de los experimentos de síntesis de ácidos acéticos por parte de Herman Kolbe, la química orgánica y su efecto en la sociedad se incrementaron de manera prodigiosa, al mismo tiempo que ello incidió en la ampliación del campo de usos del metanol, siendo impulsado básicamente a causa de los factores descritos seguidamente:

El primero de ellos se debe precisamente al hecho de que con el auge de la química orgánica, cientos de productos que parecían como únicamente obtenibles a través de la “fuerza vital”, es decir, la actividad orgánica, resultaron ser sintetizables de manera artificial, sencilla y rápida, era posible un impresionante ahorro de tiempo y energía al sustituir la síntesis natural de un compuesto orgánico, es decir, empleando elementos orgánicos, para una producción netamente artificial.

Al observar la producción de metanol a lo largo del siglo XIX, es fácilmente apreciable que la obtención del mismo se realiza de manera natural, es decir, empleando elementos orgánicos para tal fin, debiéndose de someter a enormes cantidades de madera a un proceso de destilación destructiva (de ahí precisamente que se le denominara “Alcohol de Madera”), hecho que constituía un gran limitante a la difusión del

uso de tal alcohol a nivel industrial e inclusive doméstico, pues era necesario contar con enormes extensiones de terrenos en donde se plantaran sucesivamente bosques ocupantes de hectáreas enteras para el único fin de ser procesados y obtener alcohol metílico.

El elemento anterior hacia poco versátil la producción a gran escala de metanol, principalmente por presentar elevados costos en la misma, tan es así, que 1 tonelada de madera solo permitía la producción de unos escasos 20 litros de sustancia; por lo anterior es que el interés humano sobre el metanol permanecería imperceptible a lo largo del siglo XIX.

No obstante, luego del año de 1920 sería finalmente creado un procedimiento completamente artificial para la obtención del mismo, basándose en la combinación de hidrógeno y monóxido de carbono, reduciéndose así los costes de elaboración y retornándole el interés del hombre para una producción a gran escala.

Por otra parte, con la inclusión de la química orgánica como una ciencia plena, su estudio fue transformado en disciplina, surgiendo incontables investigaciones dentro del campo de la misma, básicamente en relación a compuestos orgánicos.

Por tal razón, es perceptible como se inicia un exhaustivo estudio dentro de esta masa de compuestos, extrañamente se inicia un sistemático análisis de su estructura, composición química, propiedades, y se comienza con ello a descubrir múltiples y novedosos usos en la vida tecnológica y cotidiana.

Es entonces, cuando compuestos como el petróleo utilizado únicamente como materia para la fabricación de querosén, se ven profundamente impulsados en utilidad, descubriéndose que es posible a partir del mismo la obtención de gasolina, plástico, asfalto, entre otra infinidad de compuestos.

Por otra parte, nuevas y antiguas sustancias son elaboradas con novedosos procesos, razón por la cual se necesitan de nuevos reactivos, estabilizadores, disolventes, que sustenten los nuevos procedimientos químicos.

En base a lo anteriormente descrito, es que es posible la comprensión del fenómeno de difusión del uso del metanol, requiriéndose entonces, a fin de percibir su actual importancia, la descripción de sus principales utilidades.

El metanol es el principal componente del destilado en seco de la madera. Es uno de los disolventes más universales y encuentra aplicación, tanto en el campo industrial como en diversos productos de uso doméstico.

Dentro de los productos que lo pueden contener se encuentra el denominado "alcohol de quemar" constituido por alcoholes metílico y etílico, solvente en barnices, tintura de zapatos, limpiavidrios, líquido anticongelante, solvente para lacas etc. Además, los combustibles sólidos envasados también contienen metanol.

Este alcohol se utiliza también para degradar soluciones de alcohol etílico, lo que ha dado lugar a numerosas

intoxicaciones de carácter masivo dado el uso fraudulento de estas mezclas en bebidas alcohólicas.

La fermentación de jugos azucarados implementada para la obtención de bebidas alcohólicas, además de etanol, produce también cantidades variables de metanol y otros compuestos volátiles.

El contenido de metanol en vino tinto es de 43.122 mg metanol/L, en vino blanco 38.118 mg/L, en brandy 1500 mg/L, en whisky 1000 mg/L y en ron 800 mg/L.

Uno de los primeros usos dados al alcohol metílico, fue el de sustancia venenosa, que además del obvio fin macabro, tendía a resultar una buena solución en contra de ciertas plagas, roedores, insectos, pues por poseer propiedades altamente tóxicas su simple olor penetrante causaba estragos dentro de organismos.

No obstante, en muchas ocasiones quien terminaba siendo la víctima era el propio hombre. De no manipularse con precaución, indudablemente ya en la actualidad a causa de ese grado de peligrosidad su empleo como raticida o plaguicida ha sido completamente restringido, sustituyéndose simultáneamente por compuestos menos nocivos para el hombre como el fósforo blanco.

Aunque el metanol es un excelente disolvente prácticamente ante cualquier sustancia, su empleo dentro de la pintura comercial fue prohibido; a pesar de que permite una homogénea dispersión de la pintura en las superficies, al evaporarse con el objeto de solidificar la pintura, el gas

tiende a ser realmente contaminante para el ser humano, al punto que en cantidades considerables es capaz de destruir el nervio óptico y producir una ceguera permanente.

No obstante, y debido a las innegables propiedades disolventes del metanol, que superan por mucho a las de cualquier otro alcohol, se ha iniciado su implementación dentro de los barnices, mostrando un comportamiento excepcional, pues al anexar una pequeña porción de alcohol metílico (con una pureza poco mayor al 45 %), éste es capaz de diluir rápida y limpiamente los aceites secantes de mayor viscosidad haciendo su manipulación más simple, al mismo tiempo que una vez aplicados sobre determinada superficie (actividad regida por estrictas normas) inicia un proceso de evaporación de una velocidad ideal (de haberse mezclado en proporciones adecuadas) que permite una adecuada fijación del barniz a un tiempo de secado excepcional.

Adicionalmente, es indudable el enorme papel que juega el metanol como el elemento de mayor utilidad dentro de sustancias anticongelantes, su empleo como materia prima para tales fines abarca desde simples sistemas de refrigeración de automóviles durante el invierno, hasta su inclusión dentro de complejas instalaciones termo e hidroeléctricas.

Es materia anticongelante por excelencia, pues de observarse detalladamente, posee en estado natural un punto de congelación increíblemente bajo, propiedad que le es transmitida al líquido refrigerante descendiendo su punto de congelación, evitando así, su solidificación durante la brusca liberación de calor que experimenta.

Por otra parte, destaca el hecho de que por ser alcohol es fácilmente soluble en el medio fluido de mayor utilización, es decir, el agua, facilitando por tanto la mezcla homogénea entre refrigerante y



anticongelante. Todo lo anterior se intensifica si se considera el hecho de que el metanol es una sustancia de bajo costo y obtención fácil, permite por tanto un ahorro de recursos económicos en materiales de operación con todos los adicionales beneficios que ello implica.

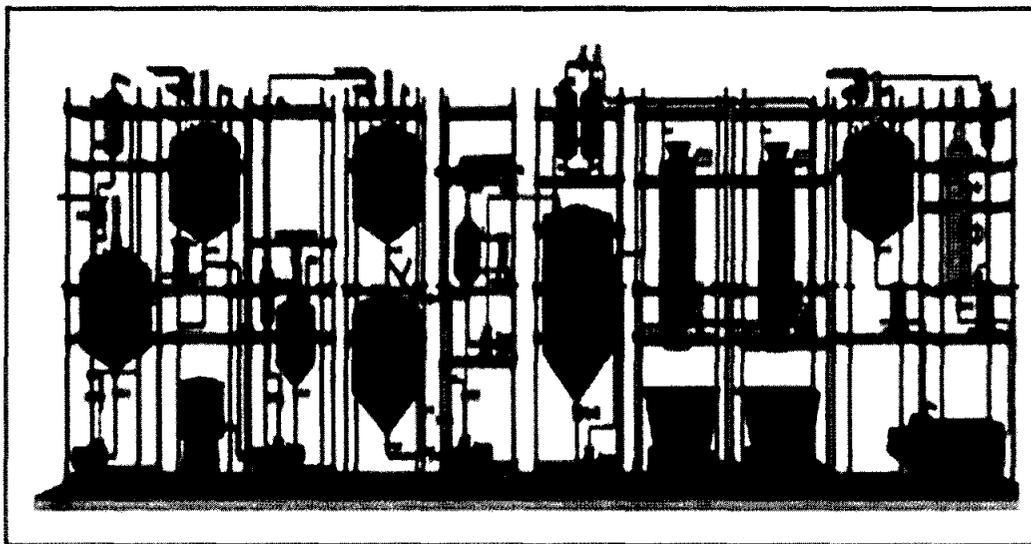
Existen implementaciones adicionales como su uso de medio disolvente en plásticos, siendo relevante el hecho de que al reducir la viscosidad de la mezcla prima del mismo, facilita en enorme grado su manipulación en industrias para adaptarlo así a múltiples formas.

Igualmente, ya en menores proporciones, el metanol es empleado dentro del grupo de las gomas a fin de proporcionarle su capacidad maleable, esto sucede pues al anexar una pequeña medida de alcohol metílico, se disminuye la densidad de la goma, permitiéndole una vez solidificada, adaptarse a múltiples formas sin resquebrajarse. Recientemente se ha utilizado en la fabricación de las sustan-

cias explosivas conocidas bajo el nombre de nitrocelulosas.

No obstante, quizá una de las implementaciones más importantes del "Alcohol de Madera", la constituya su capacidad para producir el compuesto orgánico conocido como formaldehído, una de las sustancias de mayor utilidad dentro de la industria química, bien es conocido que su preparación industrial requiere únicamente de calentar aire seco y vapor de alcohol metílico en presencia de un catalizador, como el cobre o la plata, siendo bastante difundido su uso: se utiliza como desinfectante, insecticida, fungicida y desodorante, así como también para sintetizar compuestos orgánicos, especialmente en la fabricación de resinas sintéticas, ácido acético y succínico<sup>10</sup>.

A pesar de las múltiples usanzas anteriormente descritas en relación con el metanol, existe una en particular que merece la mayor de las atenciones y es



indudablemente la inspiradora del desarrollo del presente artículo, tal usanza, por así decirlo, responde a la posible realidad del empleo del metanol como una fuente energética o de combustible, sustituta definitiva de la contaminante fuerza motriz obtenida por medio de la combustión de los derivados de hidrocarburos (diesel, benzina, gasolina en toda sus manifestaciones).

El metanol es utilizado como combustible, principalmente al mezclarlo con la gasolina. Sin embargo, ha recibido menos atención que el etanol (combustible) porque tiene algunos inconvenientes.

Su principal ventaja es que puede ser fabricado fácilmente a partir del metano (el principal componente del gas natural) así como por la pirólisis de muchos materiales orgánicos. El problema de la pirólisis es que solamente es económicamente factible a escala industrial, así que no es recomendable producir el metanol a partir de recursos renovables como la madera a pequeña escala (uso personal).

En cualquier caso, el proceso alcanza temperaturas muy elevadas, con cierto riesgo de incendio; además, el metanol es altamente tóxico, así que se debe tener siempre especial cuidado de no ingerirlo, derramarlo sobre piel desnuda o inhalar los humos.

Recientemente se han creado compuestos de hidrocarburos de mayor pureza como la gasolina sin plomo, adicionando ciertas mezclas de alcoholes como el MTBE (metil terbutil éter), que ya actualmente han desplazado por completo al antiguo

antidetonante de "Tetraetilo de plomo" (causante principal de la contaminación atmosférica por los residuos de su combustión).

No obstante, los residuos tóxicos como el monóxido y el dióxido de carbono a pesar de reducirse con la inclusión de estos aditivos de base alcohólica, aún persisten, realidad que se agrava al considerar las fiables estadísticas del incremento de la tasa de automóviles existentes a 900 millones de unidades para el 2010.

Por otra parte, existe ese típico conflicto tan ampliamente discutido acerca de una futura probable extinción del petróleo, base de todo combustible hidrocarburo, lo cual devengaría en una indudable crisis energética por la inexistencia de un combustible capaz de cubrir tal demanda motriz.

Anexado a todo lo anterior se encuentra el factor anti-económico de la energía eléctrica como medio energético en el funcionamiento de automóviles, y el deseo de independencia energética de los países industrializados de la compra de crudo a naciones sub-desarrolladas.

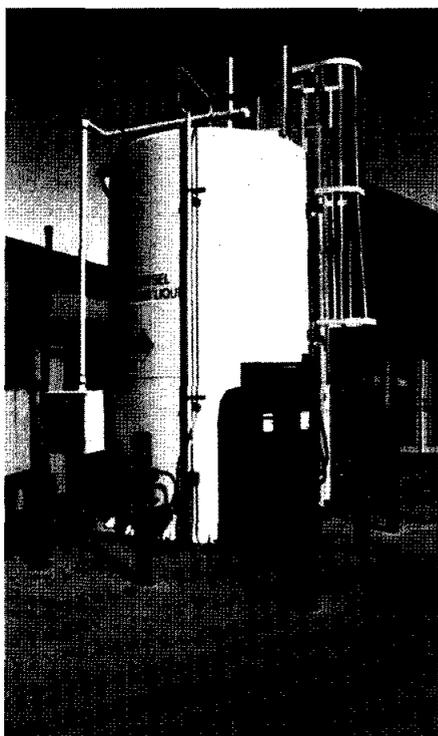
A modo de respuesta iluminada se plantea el uso puro de alcoholes como el etanol y el metanol como carburantes en automóviles, propuesta que ha mostrado resultados ciertamente favorables en Brasil desde hace 20 años, al reducir la cantidad de gasolina consumida dentro de dicho país.

Sin embargo, este proyecto se inclina sólidamente hacia un uso globalizado del metanol, puesto que su producción (en mayor parte sintética) resulta más

accesible en comparación a la del etanol, pues para éste último es necesaria la disposición de enormes territorios destinados únicamente al cultivo de caña de azúcar, rábanos, remolachas, entre otros, a fin de someter cada especie a un complejo proceso de fermentación cuyo resultado será etanol a bajas concentraciones, que de desearse emplear como combustible debe ser sometido a una destilación especial.

El tratamiento del etanol es por tanto delicado y costoso, aspectos que lo hacen poco atractivo al compararlo con el metanol.

El empleo del metanol como carburante no es del todo algo utópico e inverosímil,



puesto que de observarse el funcionamiento de automóviles a principios del siglo XX (luego del descubrimiento del proceso sintético del metanol) se apreciará que esta clase de alcohol se utilizaba como combustible único, hasta que finalmente fue desplazado por la llegada de la gasolina que tendía hacia un precio más reducido.

Sin embargo, para aquel tiempo poco interesaba el impacto ambiental de la misma. Para años posteriores ya en la segunda guerra mundial, las fuerzas aéreas nazis desarrollaron su empleo como combustible de aviones, demostrando un comportamiento excepcional.

Bien es sabida la superioridad aérea alemana para aquella época en cuanto a velocidad y resistencia se refiere, siendo la razón simple: el metanol constituye un combustible de alto octanaje por lo cual se permite una mayor compresión aire-combustible sin los problemas de una auto-ignición y con ella del llamado "Casca-beleo", que reduce la vida de los motores.

Claro está que al ser mayor la compresión se adquiere una potencia más elevada. No obstante, una vez finalizada la guerra el interés decayó nuevamente

Para años posteriores y con la crisis petrolera de 1970, se inició una comprensión acerca de cuán importante era el desarrollo de carburantes adicionales ante una posible desaparición del petróleo, es entonces cuando comienza una toma de conciencia al respecto y una intensa actividad científica-investigativa al respecto, culminando en una sentencia firme:

"El Metanol, combustible del mañana"

Las ventajas son evidentes:

- Al contener escasez de carbono crea combustiones más limpias, eliminando prácticamente la totalidad de las emisiones de dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de carbono, ozono, entre otros. Es una forma por tanto, de proteger el medio ambiente.
- Por poseer alto octanaje aumenta el rendimiento y maniobrabilidad de automóviles.
- El metanol se quema a una temperatura menor de flama, así, se pierde menos calor por conducción o radiación hacia el sistema de enfriamiento del auto.
- El metanol se quema más rápidamente que la gasolina y genera un mayor volumen de productos de combustión por lo que aumenta la presión en los cilindros. Es evidente que el hombre realizará y estará dispuesto únicamente al cambio, al producirse terminantemente la eliminación existencial del petróleo como agente energético, antes de tal realidad se continuará indudablemente con la contaminación y degradación ambiental producto de tóxicas combustiones.

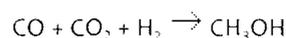
#### Procesos de obtención de metanol

Originariamente se producía metanol por destilación destructiva de astillas de madera. Esta materia prima condujo a su nombre de alcohol de madera.

Este proceso consiste en destilar la madera en ausencia de aire a unos 400 °C formándose gases combustibles (CO, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>), empleados en el calentamiento de las retortas; un destilado acuoso que se

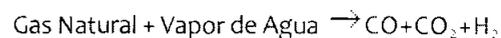
conoce como ácido piroleñoso y que contiene un 7-9% de ácido acético, 2-3% de metanol y un 0.5% de acetona; un alquitrán de madera, base para la preparación de antisépticos y desinfectantes; y carbón vegetal que queda como residuo en las retortas.

Actualmente, todo el metanol producido mundialmente se sintetiza mediante un proceso catalítico a partir de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrógeno. Esta reacción emplea altas temperaturas y presiones, y necesita reactores industriales grandes y complicados.

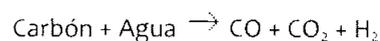
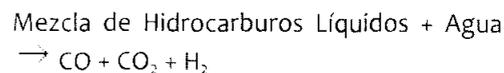


La reacción se produce a una temperatura de 300-400 °C y a una presión de 200-300 atm. Los catalizadores usados son ZnO o Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

El gas de síntesis (CO + H<sub>2</sub>) se puede obtener de distintas formas. Los distintos procesos productivos se diferencian entre sí precisamente por este hecho. Actualmente el proceso más ampliamente usado para la obtención del gas de síntesis es a partir de la combustión parcial del gas natural en presencia de vapor de agua.



Sin embargo el gas de síntesis también se puede obtener a partir de la combustión parcial de mezclas de hidrocarburos líquidos o carbón, en presencia de agua



En el caso de que la materia prima sea el carbón, el gas de síntesis se puede obtener directamente bajo tierra. Se fracturan los pozos de carbón mediante explosivos, se encienden y se fuerzan aire comprimido y agua. El carbón encendido genera calor y el carbono necesarios, y se produce gas de síntesis. Este proceso se conoce como proceso in situ. Este método no tiene una aplicación industrial difundida.

Los procesos industriales más ampliamente usados, utilizando cualquiera de las tres alimentaciones (gas natural, mezcla de hidrocarburos líquidos o carbón) son los desarrollados por las firmas Lurgi Corp. e Imperial Chemical Industries Ltd. (ICI).

También se abordará el proceso antiguo de obtención de metanol llamado Destilación Destructiva de la Madera.

## Proceso Lurgi

Se denomina proceso de baja presión para obtener metanol a partir de hidrocarburos gaseosos, líquidos o carbón. El proceso consta de tres etapas bien diferenciadas:

### 1. Reforming

Es en esta etapa donde se produce la diferencia en el proceso en función del tipo de alimentación. En el caso de que la alimentación sea de gas natural, este se desulfuriza antes de alimentar el reactor. Aproximadamente la mitad de la alimentación entra al primer reactor, el cual está alimentado con vapor de agua a media presión. Dentro del reactor se produce la oxidación parcial del gas natural. De esta manera se obtiene  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  y un 20% de  $CH_4$  residual.

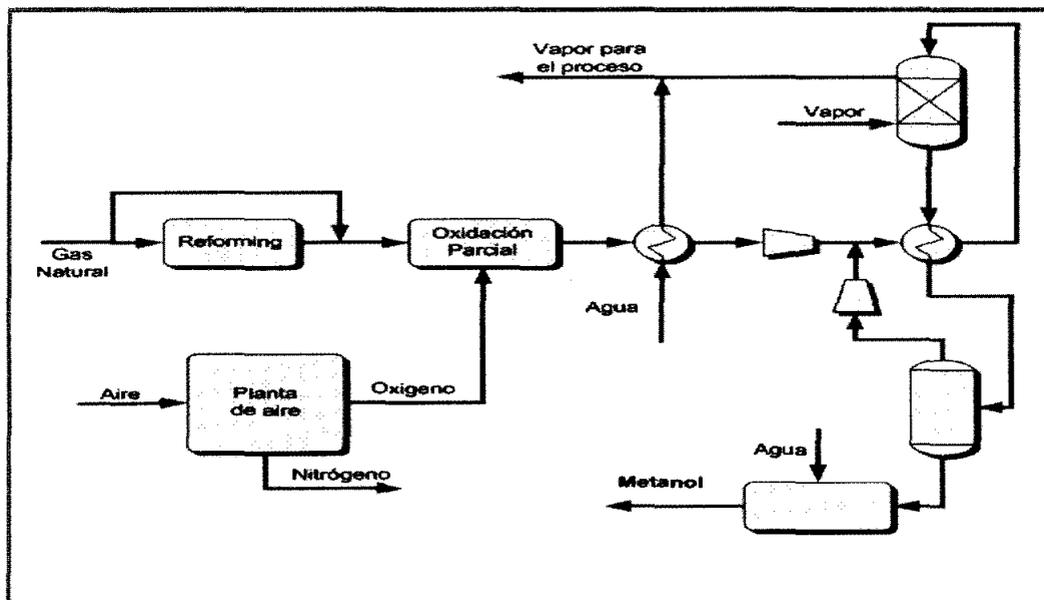


Figura 3. Proceso Lurgi para producir metanol.

Gas Natural + Vapor de Agua  $\rightarrow$  CO+CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>

Esta reacción se produce a 780 °C y a 40 atm.

El gas de síntesis más el metano residual que sale del primer reactor se mezcla con la otra mitad de la alimentación (previamente desulfurizada). Esta mezcla de gases entra en el segundo reactor, el cual está alimentado por O<sub>2</sub>. Este se obtiene de una planta de obtención de oxígeno a partir de aire.

CH<sub>4</sub> + CO + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>  $\rightarrow$  CO + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>

Esta reacción se produce a 950 °C.

En caso de que la alimentación sea líquida o carbón, ésta es parcialmente oxidada por O<sub>2</sub> y vapor de agua a 1400-1500 °C y 55-60 atm. El gas así formado consiste en H<sub>2</sub>, CO con algunas impurezas formadas por pequeñas cantidades de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S y carbón libre. Esta mezcla pasa luego a otro reactor donde se acondiciona el gas de síntesis eliminándose el carbón libre, el H<sub>2</sub>S y parte del CO<sub>2</sub>, quedando el gas listo para alimentar el reactor de metanol.

## 2. Síntesis

El gas de síntesis se comprime a 70-100 atm. y se precalienta. Luego alimenta al reactor de síntesis de metanol junto con el gas de recirculación. El reactor Lurgi es un reactor tubular, cuyos tubos están llenos de catalizador y enfriados exteriormente por agua en ebullición. La temperatura de reacción se mantiene así entre 240-270 °C.

CO + H<sub>2</sub>  $\rightarrow$  CH<sub>3</sub>OH

CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>  $\rightarrow$  CH<sub>3</sub>OH

Una buena cantidad de calor de reacción se transmite al agua en ebullición obteniéndose de 1 a 1.4 Kg. De vapor por Kg. de metanol. Además se protege a los catalizadores.

## 3. Destilación

El metanol en estado gaseoso que abandona el reactor debe ser purificado. Para ello primeramente pasa por un intercambiador de calor que reduce su temperatura, condensándose el metanol. Este se separa luego por medio de un separador, del cual salen gases que se condicionan (temperatura y presión adecuadas) y se recirculan. El metanol en estado líquido que sale del separador alimenta una columna de destilación alimentada con vapor de agua a baja presión. De la torre de destilación sale el metanol en condiciones normalizadas.

### Proceso ICI (Imperial Chemical Industries)

La diferencia entre los distintos procesos se basa en el reactor de metanol, ya que los procesos de obtención de gas de síntesis y purificación de metanol son similares para todos los procesos.

En este caso la síntesis catalítica se produce en un reactor de lecho fluidizado, en el cual el gas de síntesis ingresa por la base y el metanol sale por el tope. El catalizador se mantiene así fluidizado dentro del reactor, el cual es enfriado por agua en estado de ebullición, obteniéndose vapor que se utiliza en otros sectores del proceso.

La destilación se realiza en dos etapas en lugar de realizarse en una sola. Todas las demás características son similares al proceso Lurgi antes descrito.

### Proceso de Destilación Destructiva de la Madera

Cuando se calienta una sustancia a una temperatura elevada descomponiéndola en varios productos que se separan por fraccionamiento en la misma operación, el proceso se llama destilación destructiva. Sus aplicaciones más importantes son la destilación destructiva del carbón para el coque, el alquitrán, el gas y el amoníaco, y la destilación destructiva de la madera para el carbón de leña, el ácido etanoico, la propanona y el metanol.

Este último proceso ha sido ampliamente desplazado por procedimientos sintéticos para fabricar distintos subproductos. El craqueo del petróleo es similar a la destilación destructiva. En la siguiente figura se muestra el proceso de destilación destructiva en general

El metanol obtenido a partir de la destilación destructiva de la madera representó la única fuente comercial hasta los años veinte del siglo pasado.

La destilación destructiva de la madera, es el antiguo proceso de producción del metanol. Desde hace varias décadas no se utiliza industrialmente este proceso debido a su bajísimo rendimiento en la producción de metanol o alcohol metílico.

El rendimiento de metanol a partir de este proceso es aproximadamente entre 1 y 2%, o 20 litros de metanol por tonelada métrica de madera (6 galones por tonelada métrica), para maderas duras, y aproximadamente, la mitad de este valor para maderas suaves.

Con la introducción de la tecnología del gas natural, la industria gradualmente cambió a

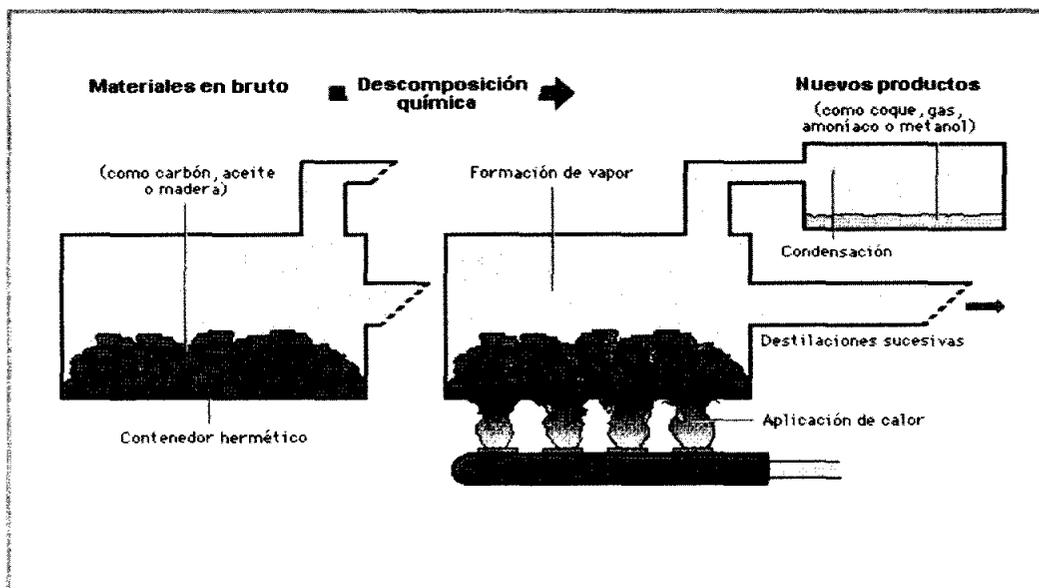


Figura 4. Destilación destructiva de materiales carbonáceos.

gas de síntesis (syngas) producido a partir de gas natural reformado.

El problema con la destilación destructiva de la madera, es que sólo es económicamente factible a escala industrial, así que no es aconsejable producir metanol a partir de recursos renovables como la madera.

Se requiere una cantidad enorme de leña para producir metanol por el método de destilación destructiva de la madera, por lo que países extremadamente deforestados como El Salvador, no podrían emplear este proceso de producción del metanol.

### **Metanol en el motor de combustión interna**

El metanol usado como un aditivo o sustituto de la gasolina podría inmediatamente ayudar a resolver los problemas de energía y contaminación atmosférica.

Si se mezclara metanol con gasolina en una proporción entre 5 y 15%, se tendría mejorías en la economía de combustible, niveles de contaminación y en el funcionamiento de los motores de combustión interna.

Varios estudios han sido realizados en los últimos 50 años para evaluar la aptitud del metanol como sustituto de la gasolina en los motores de combustión interna. Los motores existentes pueden ser transformados para usar metanol puro.

Comparado con gasolina, el uso de metanol, en un examen estándar de motor (sin tratamiento catalítico de los gases de escape), produce un vigésimo de la

cantidad de combustible no quemado, un décimo de la cantidad de dióxido de carbono, y aproximadamente la misma cantidad de óxidos de nitrógeno que produce la gasolina.

De mayor importancia es el hecho que arriba del 15% de metanol puede ser añadido a la gasolina comercial en automotores ahora en uso sin necesidad de modificar los motores.

Esta mezcla de metanol-gasolina resulta en un incremento en el ahorro de combustible, temperaturas más bajas de los gases de combustión, menores emisiones de gases, y rendimiento mejorado, en comparación al uso de la gasolina sola. El Metanol también puede ser quemado limpiamente para la mayoría de nuestras otras necesidades de combustible, y este es especialmente apropiado para ser usado en celdas de combustible para generar electricidad.

El principal inconveniente para el uso inmediato de metanol puro como sustituto de la gasolina es que no hay suficiente disponibilidad. Se ha investigado recientemente la posibilidad de añadir entre 5 y 30% de metanol a la gasolina.

Una cantidad de automóviles privados no modificados fueron examinados y operados sobre un curso fijado con variación de concentraciones de metanol. Se encontró que: a) el ahorro de combustible incrementó de 5 a 13%, b) las emisiones de monóxido de carbono disminuyeron de 72% a 14%, c) la temperatura de los gases de combustión disminuyó de 9% a 1%, y d) la aceleración incrementó arriba del 7%.

### Otros usos del metanol como combustible

Aunque el metanol es sugerido aquí principalmente como un combustible para automóviles, éste también podría ser usado ventajosamente en muchas otras aplicaciones, si éste se vuelve suficientemente abundante. Este es un combustible seguro y limpio para la calefacción de las casas y también puede ser quemado en plantas de energía para generar electricidad sin contaminar la atmósfera.

En una serie de pruebas recientes, utilizando una caldera para generar energía, el metanol fue evaluado comparándolo con el gasóleo No. 5<sup>11</sup> y gas natural<sup>12</sup>.

En las pruebas con metanol se observó que: a) ninguna partícula fue liberada por la chimenea, b) la cantidad de óxidos de nitrógeno en el flujo de gases fue menor que la cantidad emitida por el gas natural y mucho menor que la emitida por el gasóleo No. 5, c) la concentración de monóxido de carbono fue menor que la del gasóleo y el gas natural, d) ningún compuesto de azufre fue emitido, e) las cantidades producidas de aldehídos, ácidos, e hidrocarburos no quemados fueron despreciables, y f) depósitos de hollín en la caldera producidos por el gasóleo fueron disipados con el metanol, de ese modo permitiendo una mayor transferencia de calor y una mayor eficiencia.

El metanol es uno de los pocos combustibles conocidos apropiado para la generación de energía mediante células combustibles. En principio, las células combustibles pueden convertir energía química a electricidad con mucha mayor

eficiencia que las máquinas de calor tales como turbinas.

Aunque el metanol no es tan simple de usar en una célula combustible como el hidrógeno, éste puede ser almacenado y transportado más fácilmente.

Recientemente, una célula combustible ha sido desarrollada la cual proporciona más de 30,000 horas de operación continua con metanol y aire. Esta usa carburo de tungsteno y carbón como electrodos y ácido sulfúrico como electrolito.

### Conclusión

El Salvador tiene que reducir su gran dependencia hacia los combustibles fósiles. Esta dependencia está impactando negativamente y en gran medida a nuestra economía.

La alternativa más adecuada es la utilización de biocombustibles, los cuales tienen muchas ventajas sobre el petróleo, entre ellas, menor precio, no contaminan el medio ambiente, se pueden producir en el país y utilizan recursos renovables.

Una alternativa viable es producir metanol para utilizarlo como biocombustible mezclado con la gasolina.

La materia prima para la producción de metanol debe ser un recurso abundante y disponible como los desechos orgánicos, heces y/o aguas residuales.

La descomposición natural y/o controlada de la mencionada biomasa y las aguas de desecho, produce gas natural o metano, a partir del cual se produce el metanol.

## Notas y Referencias

<sup>1</sup> La autora del artículo es máster en gestión ambiental industrial e ingeniera química. Es experta en biocombustibles, especialmente en la producción de biodiesel a partir de aceites de tempate, higuerillo, palma africana y frituras.

<sup>2</sup> El compuesto químico metanol, también conocido como alcohol metílico o alcohol de madera, es el alcohol más sencillo. A temperatura ambiente se presenta como un líquido ligero (de baja densidad), incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible. Su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{OH}$ .

<sup>3</sup> Los biocombustibles se producen orgánicamente y a diferencia de los combustibles fósiles son una fuente de energía renovable. Los biocombustibles provienen de la biomasa: materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Para la obtención de los biocombustibles se pueden utilizar especies de uso agrícola tales como el maíz o la mandioca, ricas en carbohidratos, o plantas oleaginosas como la soja, girasol y palmas. También se pueden emplear especies forestales como el eucalipto y los pinos. Al utilizar estos materiales se reduce el  $\text{CO}_2$  que es enviado a la atmósfera terrestre ya que estos materiales van absorbiendo el  $\text{CO}_2$  a medida que se van desarrollando, mientras que emiten una cantidad similar que los combustibles convencionales en el momento de la combustión.

<sup>4</sup> El biodiesel es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, nuevos o usados, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del petróleo.

<sup>5</sup> El proceso de transesterificación consiste en combinar un aceite vegetal con un alcohol ligero, normalmente metanol, y un catalizador alcalino, comúnmente el hidróxido de sodio, para producir biodiesel y un subproducto de valor añadido propanotriol (glicerina) que puede ser aprovechada por la industria cosmética, entre otras.

<sup>6</sup> El compuesto químico etanol, conocido como alcohol etílico, es un alcohol que se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de  $78^\circ\text{C}$ . Mezclable con agua en cualquier proporción; a la concentración de 95% en peso se

forma una mezcla azeotrópica. Su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ , principal producto de las bebidas alcohólicas como el vino (alrededor de un 13%), la cerveza (5%) o licores (hasta un 50%). El etanol es un compuesto químico que puede utilizarse como combustible, bien solo, o bien mezclado en cantidades variadas con gasolina, y su uso se ha extendido principalmente para reemplazar el consumo de derivados del petróleo. El combustible resultante de la mezcla de etanol y gasolina se conoce como gasohol o alconafita. Dos mezclas comunes son E10 y E85, con contenidos de etanol del 10% y 85%, respectivamente. Para la producción de etanol en el mundo se utiliza mayormente como fuente la biomasa. El etanol puede producirse a partir de un gran número de plantas, con una variación, según el producto agrícola, del rendimiento entre el combustible consumido y el generado en dicho proceso. Este etanol, conocido como bioetanol, está sujeto a una fuerte polémica: para unos se perfila como un recurso energético potencialmente sostenible que puede ofrecer ventajas medioambientales y económicas a largo plazo en contraposición a los combustibles fósiles, mientras que para otros es el responsable de grandes deforestaciones y del aumento del precio de los alimentos, al suplantarse selvas por terrenos agrícolas para su producción, dudando además de su rentabilidad energética. El etanol se obtiene fácilmente del azúcar o del almidón en cosechas de maíz y caña de azúcar, entre otros. Sin embargo, los actuales métodos de producción de bio-etanol utilizan una cantidad significativa de energía en comparación con la energía obtenida del combustible producido. Por esta razón, no es posible sustituir enteramente el consumo actual de combustibles fósiles por bio-etanol.

<sup>7</sup> La Prensa Gráfica, Sección Economía, 14-06-06, página 47.

<sup>8</sup> El hidrógeno es un elemento químico representado por el símbolo H y con un número atómico de 1. En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas diatómico ( $\text{H}_2$ ) incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable. Con una masa atómica de 1,00794(7) u, el hidrógeno es el elemento químico más ligero y es, también, el elemento más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia visible del universo.

<sup>9</sup> El metano (del griego methy vino, y el sufijo -ano) es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es  $\text{CH}_4$ . Cada uno de los átomos de hidrógeno está unido al carbono por medio de un enlace

covalente. Es una sustancia no polar que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es incoloro e inodoro y apenas soluble en agua en su fase líquida. En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás. Muchos microorganismos anaeróbicos lo generan utilizando el  $\text{CO}_2$  como aceptor final de electrones. Constituye hasta el 97% del gas natural. En las minas de carbón se le llama grisú y es muy peligroso ya que es fácilmente inflamable y explosivo. El metano es un gas de efecto invernadero relativamente potente que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra ya que tiene un potencial de calentamiento global de 23. Esto significa que en una media de tiempo de 100 años cada kg de  $\text{CH}_4$  calienta la Tierra 23 veces más que la misma masa de  $\text{CO}_2$ , sin embargo hay aproximadamente 220 veces más dióxido de carbono en la atmósfera de la Tierra que metano por lo que el metano contribuye de manera menos importante al efecto invernadero

<sup>10</sup> El octanaje o índice de octano de un combustible es una medida de su capacidad antidetonante. Los combustibles que tienen un alto índice de octano producen una combustión más suave y efectiva. El índice de octano de una gasolina se obtiene por comparación del poder detonante de la misma con el de una mezcla de isooctano y heptano. Al isooctano se le asigna un poder antidetonante de 100 y al heptano de 0. Una gasolina de 97 octanos se comporta, en cuanto a su capacidad antidetonante, como una mezcla que contiene el 97% de isooctano y el 3% de heptano. Muchos conductores aún creen que cuanto mayor sea el número de octano de la gasolina que cargan en su vehículo, mayor será la potencia y mejor el funcionamiento. Simplemente falso. El valor de octano del combustible no tiene ninguna relación con la potencia. El número de octano de un combustible es simplemente una descripción numérica de su capacidad para resistir el "golpeteo" de la máquina. Cuando los vapores de la gasolina sin combustionar explotan espontáneamente en el cilindro, antes de que los alcance la flama en expansión dentro del cilindro de combustión, se provocan dos explosiones simultáneas (la otra es de la bujía de encendido). Este fenómeno produce el golpeteo. Cuanto mayor sea el número de octano (o índice antidetonante, para ser más exactos) mayor será la resistencia del combustible al golpeo de la máquina. El motor de un vehículo está diseñado para usar un combustible con un número de octano en particular (en el manual del vehículo debería decirlo). Al comprar un combustible

con un octanaje mayor sólo se estará tirando el dinero. La única y muy importante excepción es cuando el vehículo envejece porque los depósitos creados por la gasolina y los relativos al lubricante pueden incrementar el número de octano que el motor necesita para prevenir el golpeteo. Por esta razón, si un vehículo con más de dos años de vida muestra problemas de golpeteo, el problema se puede resolver simplemente usando una gasolina con un índice antidetonante superior.

<sup>11</sup> El puente de hidrógeno es un enlace que se establece entre moléculas capaces de generar cargas parciales. El agua, es la sustancia en donde los puentes de hidrógeno son más efectivos, en su molécula, los electrones que intervienen en sus enlaces, están más cerca del oxígeno que de los hidrógenos y por esto se generan dos cargas parciales negativas en el extremo donde está el oxígeno y dos cargas parciales positivas en el extremo donde se encuentran los hidrógenos. La presencia de cargas parciales positivas y negativas hace que las moléculas de agua se comporten como imanes en los que las partes con carga parcial positiva atraen a las partes con cargas parciales negativas. De tal suerte que una sola molécula de agua puede unirse a otras 4 moléculas de agua a través de 4 puentes de hidrógeno. Esta característica es la que hace al agua un líquido muy especial.

<sup>12</sup> Las sustancias polares son aquellas que están formadas por enlaces covalentes polares. En este tipo de enlace los átomos comparten los electrones, los cuales, pasan más tiempo alrededor del átomo que tiene mayor electronegatividad.

<sup>13</sup> Las sustancias iónicas son aquellas que están formadas por enlaces iónicos. El enlace iónico consiste en la atracción electrostática entre átomos con cargas eléctricas de signo contrario. Este tipo de enlace se establece entre átomos de elementos poco electronegativos con los de elementos muy electronegativos. Es necesario que uno de los elementos pueda ganar electrones y el otro perderlos, este tipo de enlace se suele producir entre un no metal (electronegativo) y un metal (electropositivo).

<sup>14</sup> El formaldehído o metanal es un compuesto químico, más específicamente un aldehído (el más simple de ellos), de fórmula  $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$ . Fue descubierto en 1867 por el químico alemán August Wilhelm von Hofmann. Se obtiene por oxidación catalítica del alcohol metílico. A temperatura normal es un gas incoloro de un olor penetrante, muy soluble en agua. Las disoluciones acuosas al  $\pm$  40% se conocen con el

nombre de formol, que es un líquido incoloro de olor penetrante y sofocante; estas disoluciones pueden contener alcohol metílico como estabilizante. Puede ser comprimido hasta el estado líquido; su punto de ebullición es  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El ácido metanoico, también llamado ácido fórmico, es un ácido orgánico de un solo átomo de carbono, y por lo tanto el más simple de los ácidos orgánicos. Su fórmula es  $\text{H-COOH}$ , el grupo carboxilo es el que le confiere las propiedades ácidas a la molécula.

<sup>15</sup> Se denomina esterificación al proceso por el cual se sintetiza un éster. Un éster es un compuesto derivado formalmente de la reacción química entre un oxoácido y un alcohol. En química, los ésteres son compuestos orgánicos en los cuales un grupo orgánico reemplaza a un átomo de hidrógeno (o más de uno) en un ácido oxigenado. Un ácido oxigenado es un ácido cuyas moléculas poseen un grupo  $-\text{OH}$  desde el cual el hidrógeno (H) puede disociarse como un ión  $\text{H}^+$ . Los ésteres más comunes son los ésteres carboxilados, donde el ácido en cuestión es un ácido carboxílico. Por ejemplo, si el ácido es el ácido acético, el éster es denominado como acetato. Los ésteres pueden también ser formados por ácidos inorgánicos; por ejemplo, el dimetil sulfato, es un éster, a veces también llamado "ácido sulfúrico, dimetil éster".

<sup>16</sup> El ácido succínico es un butanodióico, sólido, incoloro o blanco, que se funde a  $185\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Es soluble en el agua, éter y alcohol, interviene en el conjunto de reacciones que constituyen el ciclo de . En su estado natural se encuentra en los músculos, hongos, ámbar y otras resinas de donde se extrae por destilación y por hidrogenación del ácido málico. El ácido succínico y el glicerol se obtienen también como productos secundarios durante las fermentaciones alcohólicas junto con los ácidos láctico, cítrico, málico, tartárico, etc. Se puede obtener a través de síntesis química a partir del acetileno y del formaldehído que arroja un rendimiento aproximado del 30%; pero por procesos bioquímicos que son más baratos, puede dar un rendimiento aproximado del 95%. El succinato ha sido considerado como el propulsor básico de la química del futuro. En el mercado internacional su demanda alcanza ya los 6.7 millones de toneladas, con un valor de 4,000 millones de dólares. Se utiliza en la industria de alimentos y bebidas, en la fabricación de adhesivos epóxidos, biopolímeros, lacas, colorantes y en perfumería; en medicina humana como reconstituyente nervioso, antidepresivo, anti neurótico, etc.

<sup>17</sup> El gasóleo, también denominado gasoil o diésel, es un líquido de color blancuzco o verdoso y de densidad sobre  $850\text{ kg/m}^3$  ( $0,850\text{ g/cm}^3$ ), compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en motores diésel y en calefacción. Su poder calorífico es de  $8.800\text{ kcal/kg}$ . Cuando es obtenido de la destilación del petróleo se denomina petrodiesel y cuando es obtenido a partir de aceites vegetales se denomina biodiesel.

<sup>18</sup> El gas natural es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra frecuentemente en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo o en depósitos de carbón. Aunque su composición varía en función del yacimiento del que se saca, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 ó 95%. La Prensa Gráfica, Sección Economía, 14-06-06, Pág. 47.

## BIBLIOGRAFÍA

La Prensa Gráfica, 13-06-06, pág. 29.

Reed T.B., Lerner R.M. "Methanol: a versatile fuel for immediate use". Revista Science, Vol. 182, 28-12-73.

<http://www.woodgas.com/methanol.htm>

<http://www.iags.org/no52404t3.htm>

[http://www.cfr.washington.edu/research.Forest\\_Energy/fact\\_sheets/pdf/FactSheetbiomass\\_Final.pdf](http://www.cfr.washington.edu/research.Forest_Energy/fact_sheets/pdf/FactSheetbiomass_Final.pdf)

[http://www.fepafem.org.ve/Guias\\_de\\_Urgencias/Intoxicaciones/Intoxicacion\\_por\\_metanol.pdf](http://www.fepafem.org.ve/Guias_de_Urgencias/Intoxicaciones/Intoxicacion_por_metanol.pdf)

<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr12.pdf>

<http://www.nykomb.se/pdf/BlackLiquorMeOH.pdf>

<http://www.woodgas.com/Science1.pdf>

<http://www.aibarra.org/guias/10-14.htm>

<http://www.iags.org/methanolsources.htm>

<http://www.ecosur.net/Biodiesel/biodiesel.html>

<http://biodiesel.8k.com/>

<http://www.librys.com/bioqcombustibles/>

[http://www.transporte.cu/ignicion/cd2002/eta\\_meta.htm](http://www.transporte.cu/ignicion/cd2002/eta_meta.htm)

[http://www.epa.gov/air/espanol/transporte/cleanfuels\\_p.pdf](http://www.epa.gov/air/espanol/transporte/cleanfuels_p.pdf)