



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA

**OBTENCIÓN DE BIODIESEL PARA MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA TIPO OTTO A PARTIR DE LA
TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE MICROALGA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A:

JUAN ANTONIO RAMÍREZ MEDINA

DIRECTORA DE TESIS:

M. en C. MARINA CABALLERO DÍAZ

México D.F. a 31 de Octubre de 2014





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/ 503/14

ASUNTO: Asignación de Jurado

Alumno (a): Ramírez Medina Juan Antonio

PRESENTE

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	I.Q. EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA
VOCAL	M. en C. MARINA CABALLERO DÍAZ
SECRETARIO	I.Q. RAUL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ
SUPLENTE	DR. ROBERTO MENDOZÁ SERNA
SUPLENTE	I.Q. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
México D.F. a 29 de septiembre de 2014

JEFE DE CARRERA

DR. ROBERTO MENDOZA SERNA



Dedicatorias

Con todo mi cariño y mi amor para mi madre porque hiciste todo en la vida para que pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano a cada momento para darme la fuerza para seguir adelante.

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida.

Agradecimientos.

A mi madre:

Porque creíste en mí y porque me sacaste adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, en gran parte gracias a ti, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuviste impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sientes por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ti, por lo que vales, porque admiro tu fortaleza y por lo que has hecho de mí.

A mis seres queridos:

Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles, a todos ustedes, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

A mi directora de tesis:

M en C. Marina Caballero, profesora y amiga con quien eh podido contar a cada momento tanto personal como profesionalmente y que gracias a su experiencia eh podido terminar este trabajo el cual marca el inicio de un nuevo camino.

A mis sinodales:

Gracias por haber sido parte de esta experiencia y gracias a su apoyo poder ver concluida esta gran meta que no es la última, pero sí, una de las más importantes en mi vida.



Contenido

Resumen	3
Justificación.....	4
Hipótesis.....	6
Objetivos.....	6
Introducción.....	7
CAPÍTULO I Generalidades	9
1.1 Gases de Efecto invernadero	10
1.1.1 Cambio Climático	13
1.1.2 Protocolo de Kioto.....	15
1.1.3 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	17
1.2 Tipos de Motores.....	18
1.2.1 Motores de Combustión interna.....	19
1.3 Energías Alternas	28
1.3.1 Energía Solar	28
1.3.2 Energía Eólica	33
1.3.3 Energía Geotérmica.....	35
1.3.4 Energía Hidráulica.....	36
1.3.5 Bioenergía	37
1.4 Biocombustibles.....	38
1.4.1 Biocombustibles Sólidos	38
1.4.2 Biocombustibles Líquidos	38
1.4.2.1 Biodiesel.....	39
1.4.3 Biocombustibles Gaseosos	42
1.4.3.1 Biogás.....	42
1.4 Clasificación del Biocombustible	43
CAPÍTULO II Las Microalgas para la Producción de Biodiesel	44
2.1 Las microalgas.....	45
2.2 Tipos de microalgas	47





2.3 Cantidad lipídica de las microalgas.....	49
2.4 Biodiesel de microalgas.....	51
2.5 Materia Prima.....	55
2.6 Ventajas y Desventajas para el uso de biodiesel.....	57
CAPÍTULO III Etapas para la Obtención de Biodiesel.....	60
3.1 Obtención del biodiesel.....	61
3.2 Diagrama de Bloques para la obtención de Biodiesel.....	63
3.3 Etapas de producción.....	64
3.3.1 Reacción.....	64
3.3.2 Separación.....	65
3.3.3 Lavado.....	66
3.3.4 Secado.....	66
3.4 Método Experimental.....	67
CAPÍTULO IV Generalidades para la Producción y Costo del Biodiesel.....	73
4.1 Producción de biodiesel a nivel mundial.....	74
4.2 Situación en México.....	76
4.2.1 Costo Actual de los Combustibles Fósiles.....	78
4.3 Precio de producción de biodiesel.....	80
4.4 Costos de biodiesel de algas.....	80
4.5 Factibilidad económica del biodiesel.....	81
Resultados y Análisis.....	83
Conclusiones.....	85
Bibliografía.....	87
ANEXO A.....	91
BIODIESEL.....	92
Metanol.....	94
Etanol.....	99
Hidróxido de Sodio.....	103
Hidróxido de Potasio.....	108
Glicerina.....	111





Resumen

En este trabajo se realizó un análisis sobre la obtención de biodiesel utilizando aceite de microalgas como materia prima mediante un procedimiento experimental; se especificaron los tipos de microalgas más comunes y aquellos con mayor contenido de aceite que pueden ser utilizados para la producción de biodiesel.

Además se hace mención de los diferentes tipos de energías alternas que pueden emplearse para producción de energía renovable.

Se identificaron las principales ventajas y desventajas que se presentan con el uso del biodiesel y se muestran las diferentes etapas requeridas para la obtención de este biocombustible; estas etapas realizadas a nivel laboratorio podrían extrapolarse a nivel industrial para la producción del biodiesel a gran escala.

Este trabajo se realizó de manera experimental a nivel laboratorio en la facultad de estudios superiores Zaragoza y tras diferentes pruebas se logró obtener un biodiesel de buena calidad, y de esta manera se pudieron determinar cuáles son los reactivos que presentan mejores resultados para llevar a cabo la reacción.

Finalmente se llegó a la conclusión de que aquellas empresas productoras de biodiesel mediante el proceso de transesterificación a partir de cualquier semilla oleaginosa podrían incrementar su producción de biodiesel si utilizan las microalgas para dicho fin, tomando en cuenta que el proceso utilizado para la producción del biodiesel es el mismo que el que se utiliza en la producción de biodiesel utilizando microalgas como materia prima; sin embargo, para lograr mayores beneficios, sería conveniente que estas empresas hicieran una inversión adicional para implementar un sistema de cultivo de microalgas el cual permitirá producir su propia materia prima.



Justificación

Los biocombustibles son una serie de productos de origen biológico utilizados como combustibles en sustitución de los derivados del petróleo o como aditivos de éstos. Se pueden usar tanto en los motores de explosión de encendido por chispa (ciclo Otto), como en los de combustión interna por comprensión (ciclo Diesel), presentando gran cantidad de ventajas frente a los combustibles fósiles; entre ellas la emisión en menor cantidad del Dióxido de Carbono el cual es uno de los principales gases de efecto invernadero.

Los biocombustibles líquidos para el transporte como el biodiesel, se obtienen mediante la transformación de materias primas de origen vegetal o animal y presentan determinadas características físico-químicas similares a las de los combustibles convencionales derivados del petróleo.

El biodiesel se obtiene a partir de plantas y semillas oleaginosas (soja, girasol, colza, cacahuate o la palma), reciclando el aceite de cocción e incluso a partir de algas oleaginosas y grasas animales. No obstante, los aceites vegetales provenientes de semillas utilizados directamente en motores sin pre cámara de inyección no resultan adecuados; por lo tanto, la tendencia actual es a utilizar aceites modificados en forma de biodiesel que presentan unas propiedades físico-químicas muy similares a las del gasóleo.

Las algas contienen altos niveles (hasta un 70% en peso) de aceite vegetal, el cual por medio de la transesterificación podemos producir biodiesel, además de que el crecimiento de las algas es rápido en condiciones climáticas no tan demandantes. Además de que las algas componen un grupo de organismos que utilizan la luz para transformar el CO₂ en biomasa, aceites o azúcares y que se extienden por una amplia variedad de ecosistemas acuáticos y terrestres.



Hoy en día la implementación de motores de combustión interna con capacidad de hasta un 85% de biocombustibles ha ido aumentando con la finalidad de disminuir los gases producidos por la combustión de combustibles fósiles.

La producción mundial de biocombustibles aumentó en 2007 un 30% del total producido aproximadamente 47,4 millones de toneladas, 39,5 millones corresponden a la producción de bioetanol (Estados Unidos es el mayor productor con 19,5 millones de toneladas, seguido por Brasil con 14,9 millones, La Unión Europea con 1,8 millones y China con 1,27 millones) y 7,9 millones a la de biodiesel (Alemania es el principal productor con 2 millones de toneladas; detrás se encuentran Estados Unidos 1,2 millones y Francia 1,15 millones).¹

Las algas presentan una relación del orden de 20000 L de combustible por Hectárea de terreno frente a los 6000 de la palma aceitera o los 4000 de la caña de azúcar.

¹ Debilidades y Desafíos Tecnológicos del Sector Productivo. Disponible en: http://www.cofecyt.mincyt.gov.ar/pcias_pdfs/salta/UIA_biocomb_08.pdf



Hipótesis

El biocombustible de microalgas podrá llegar a sustituir a los combustibles obtenidos a partir del petróleo provocando grandes cambios a favor del medio ambiente.

El uso del biodiesel de microalga disminuirá radicalmente las emisiones de gases de efecto invernadero, además, ayudara a aumentar los niveles de oxígenos en la atmósfera.

Objetivos

- Determinar un método de producción de biodiesel mediante el uso del aceite de microalgas.
- Identificar las principales ventajas y desventajas que se presentan en la producción de biodiesel de microalgas.
- Identificar las mejores cepas de microalgas, que contribuyan a generar mayores cantidades de biomasa y su transformación en aceite, en sistemas cerrados.



Introducción

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y del bienestar de una sociedad, sin embargo, estamos llegando a un punto en donde nos encontramos con el concepto de crisis energética el cual aparece cuando las fuentes de energía de las cuales se abastece la sociedad se agotan; un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Tomando en cuenta que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable, que en determinado momento la demanda de energía no pueda ser abastecida de acuerdo a las necesidades requeridas por la sociedad, salvo que se desarrollen nuevos métodos para obtener dicha energía; éstos serían las energías alternativas.

Las energías alternativas son aquellas que pueden suplantar total o parcialmente a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto en cuanto a contaminación se refiere o por su capacidad de renovación.

Entre las energías alternas se encuentra la elaboración de biocombustibles los cuales hoy en día han incrementado debido a que la producción de los combustibles provenientes del petróleo han escaseado en los últimos años debido a la alta demanda del mismo y al alto costo que estos tienen, además de los altos niveles de gases contaminantes que se producen en su combustión como Bióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Metano, Hidrofluorocarbonos entre otros, los cuales han aumentado considerablemente en los últimos años.

Los biocombustibles son una fuente de energía alterna y renovable que buscan que el consumo de combustibles fósiles disminuya, con esto se lograría a su vez que los niveles de gases contaminantes o de efecto



invernadero se mantengan en un margen aceptable y posiblemente disminuyan en el futuro.

Entre los biocombustibles se encuentran el bioetanol y el biodiesel; estos dos tipos de biocombustibles son los más utilizados hoy en día, debidos a su fácil producción; sin embargo es el biodiesel uno de los más prometedores considerando el gran potencial que presentan; además de que puede producirse de cualquier tipo de plantas o semillas oleaginosas como el maíz, la palma, la colza, etc.

Las tecnologías verdes han tomado un papel muy importante en los últimos años debido a que presentan soluciones basados en el diseño de dispositivos o equipos que garantizan la eco-eficiencia, es decir, que son capaces de satisfacer las necesidades humanas reduciendo a su vez progresivamente los impactos medioambientales; de igual manera con el uso de las energías alternas las cuales hacen uso de los principales recursos naturales renovables se han logrado controlar las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

CAPÍTULO I



Generalidades





1.1 Gases de Efecto invernadero

Se llama efecto invernadero al fenómeno que se registra en la atmósfera terrestre y por el cual inicialmente se propicia la vida en el planeta. La atmósfera de la tierra contiene una serie de gases que al recibir radiación solar son capaces de calentar la superficie de la tierra permitiendo una temperatura constante y de esta manera dar origen a muchos procesos biológicos.

Se considera que los principales Gases de Efecto Invernadero (GEI) son:

- Dióxido de Carbono (CO_2)
- Metano (CH_4)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de Azufre (SF_6)

Los primeros tres gases son resultado de los procesos naturales y las actividades habituales de las sociedades, los tres siguientes son resultado de procesos industriales. A estos GEI se han sumado otras sustancias que no son gases, como el carbono negro, y en conjunto con los GEI reciben el nombre de Compuestos de Efecto Invernadero (CEI)

De los seis GEI el que se encuentra en mayor cantidad en la atmosfera es el dióxido de carbono y aunque se trata de un GEI de tipo natural el hombre al quemar combustibles fósiles para generar energía, así como para poder transportar bienes y servicios, entre otras actividades, ha ido incrementando sus concentraciones en la atmosfera.

Conforme se incrementan los niveles de emisiones de GEI se incrementa en la atmósfera su capacidad de retener calor.

Al existir una mayor cantidad de calor en la atmosfera puede considerarse como una mayor cantidad de energía, la cual se suma a la fuerza propia de



los fenómenos naturales y por ello estos cada vez se desarrollan con mayor fuerza e intensidad; además de que las barreras naturales que podrían asimilar esta intensidad están siendo devastados por las actividades humanas.

Esto está constituyendo un gran problema para la especie humana, no solo se debe controlar el uso de los recursos naturales para un número cada vez mayor de individuos que además debe de enfrentar las consecuencias asociadas a fenómenos atmosféricos cada vez más intensos y al mismo tiempo identificar la forma de evitar que se continúe incrementando el nivel de dióxido de carbono en la atmósfera.

Al mismo tiempo que existe una mayor cantidad de energía en la atmosfera terrestre, el calor retenido por los GEI está afectando todos los sistemas naturales y esto se evidencia en el derretimiento de masas polares, en un incremento del nivel del mar y esto a su vez se expresa en inundaciones de zonas costeras, lo cual obliga al desplazamiento de poblaciones tierra adentro, situación que incide sobre la disponibilidad de los recursos, entre otros problemas.

Los seres humanos habiendo identificado este fenómeno del calentamiento global y el cambio climático asociado al mismo, y las modificaciones de los patrones de los fenómenos meteorológicos, cada vez más graves; se encuentra trabajando para evitar que los niveles de emisores de CEI constituyan un problema mayor, no solo para la presente generación sino para las venideras. Pues si consideramos que el incremento de emisiones de CEI inició con la revolución industrial y hoy día padecemos más consecuencias de esto; es importante considerar una vez que a cada salto tecnológico los niveles de emisiones de GEI continúan agravando la situación poniendo en riesgo los sistemas naturales de las próximas generaciones.



Para ello en muchas partes del mundo los gobiernos de las ciudades han ido identificando la forma como el cambio climático les afecta, no solo en la infraestructura urbana sino también en la población; pero más importante es el trabajo que se desarrolla para enfrentar y mitigar sus efectos.

De esta manera y considerando que en las ciudades se requieren de cantidades enormes de energía para la vida diaria y que esta se obtiene principalmente por medio de la quema de combustibles fósiles, se están desarrollando programas y proyectos que procuren un uso eficiente de la energía a través de la modernización de los sistemas de transporte para mover la población, los servicios y productos que requerimos diariamente; y a través de la incorporación de dispositivos y tecnologías que utilicen eficientemente esa energía y que al mismo tiempo sean lo menos dañinos para el medio ambiente.

Emisión de Compuestos de Efecto Invernadero en la ZMVM y DF

En la Zona Metropolitana del Valle de México se emiten al año un total de 54.7 millones de toneladas de Dióxido de Carbono equivalente (Mton CO₂ eq), y 2,021 toneladas de carbón negro.

En el Distrito Federal se emiten al año 36 Mton CO₂eq. Las principales fuentes son el transporte (46%), los desechos (19%), la industria (17%), la vivienda (10%), área Comercial (5%), servicios (2%), y otros (1%).²

² Información publicada por la Secretaría del Medio Ambiente (SEDAM)



1.1.1 Cambio Climático

El cambio climático es uno de los problemas ambientales más graves al que nos enfrentamos hoy en día debido a que este problema es una gran amenaza para todo tipo de ecosistemas en el mundo.

La temperatura del aire en la superficie terrestre es resultante del balance de energía, entre la energía que llega del sol y la energía que se pierde por enfriamiento, principalmente mediante radiación infrarroja.

Los gases de efecto invernadero representan aproximadamente el 1% de la atmósfera y actúan reteniendo parte del calor que libera la tierra., sin este efecto, la temperatura en el planeta sería en promedio 30°C más baja, con lo cual la vida en el planeta no sería posible como la conocemos hoy en día.

La actividad diaria ha provocado que la cantidad de gases de efecto invernadero que se encuentran en la atmósfera aumenten considerablemente, provocando que una mayor cantidad de energía que libera el planeta sea retenida en la atmósfera; propiciando de esta manera el cambio climático debido al aumento de la temperatura que esto provoca. La temperatura media de la superficie terrestre ha aumentado más de 0.6°C desde finales del siglo XIX y se prevé un aumento de entre 1.4°C y 5.8°C para el año 2100, el resultado de este cambio es la alteración de los diferentes ecosistemas que hacen posible la vida en el planeta.

De acuerdo con la Comisión Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), la razón principal del aumento en la temperatura son los procesos industrializados, pero en particular la combustión en cantidades cada vez mayores de petróleo, gasolina y carbón, la tala de bosques y algunos métodos de explotación agrícola.



Para lidiar con este problema, la CMNUCC ha generado una serie de medidas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero entre las cuales se encuentran:

- Hacer más rentable la eficiencia energética: por ejemplo, mediante el uso de focos ahorradores de energía, autos híbridos y el aprovechamiento del calor y la energía generada en las grandes industrias.
- Hacer mayor uso de las tecnologías de energías renovables disponibles
 - Paneles solares
 - Generadores eólicos
 - Generadores Hidráulicos
 - Etc.
- Disminuir el uso de combustibles fósiles, y aprovecharlos de forma eficiente.

Entre las soluciones que se han propuesto para dar una solución al problema en el área de los transportes, las que han logrado mayor éxito han sido el bioetanol y el biodiesel, los cuales son combustibles obtenidos a través de la transformación de materias primas agrícolas.



1.1.2 Protocolo de Kioto

El protocolo de Kioto es un mecanismo internacional que surgió el 11 de Diciembre de 1997 de la Comisión Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el cual tiene como objetivo reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global, entre los cuales destacan: Dióxido de Carbono (CO_2), Gas Metano (CH_4) y Óxido Nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de Azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de al menos 5.2% dentro de un periodo de cuatro años comprendido del 2008 al 2012, tomando como referencia las emisiones de estos gases reportadas en el año de 1990.

El objetivo principal de este protocolo es disminuir el cambio climático antropogénico cuya base es el efecto invernadero. Según las cifras de la ONU, se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumentara entre 1.4 y 5.8 °C de 2005 a 2100.

Al inicio de esta iniciativa se logró reunir a 55 países industrializados los cuales representaban en ese momento el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero; para el año 2012 eran ya 125 países miembros de la CMNUCC, hasta hoy en día ha aumentado a 193 el número de países que apoyan este proyecto.

Datos importantes sobre los Principales Países que integran el Protocolo de Kioto:

- Estados Unidos. Se mantuvo como miembro activo dentro del protocolo de Kioto hasta el año 2001.
- Canadá. Abandonó el Protocolo el 11 de Diciembre de 2011 para evitar pagar las multas que se generaban para el país por el incumplimiento de la reducción de emisiones; anunciando su baja



horas después de haber terminado la cumbre sobre el cambio climático en la ciudad de Durban, Sudáfrica.

- La Unión Europea. Se comprometió a disminuir un 8% su cantidad de emisiones totales con respecto a las emisiones totales en el año de 1990. Para lograr esto a cada país de la Unión Europea se le asignó un margen distinto de emisiones de acuerdo a sus condiciones económicas y medioambientales.
- México. En agosto del 2009 se aprobó el Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012, en el que México se compromete a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en 20% para el año 2020 y en 50% para el año 2050. En el año 2010 Cancún fue sede de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

México se convirtió en el primer país de América Latina en contar con los primeros organismos para verificar y validar las emisiones y /o mitigación de gases de efecto invernadero.



1.1.3 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Variación entre 1990 y 2012

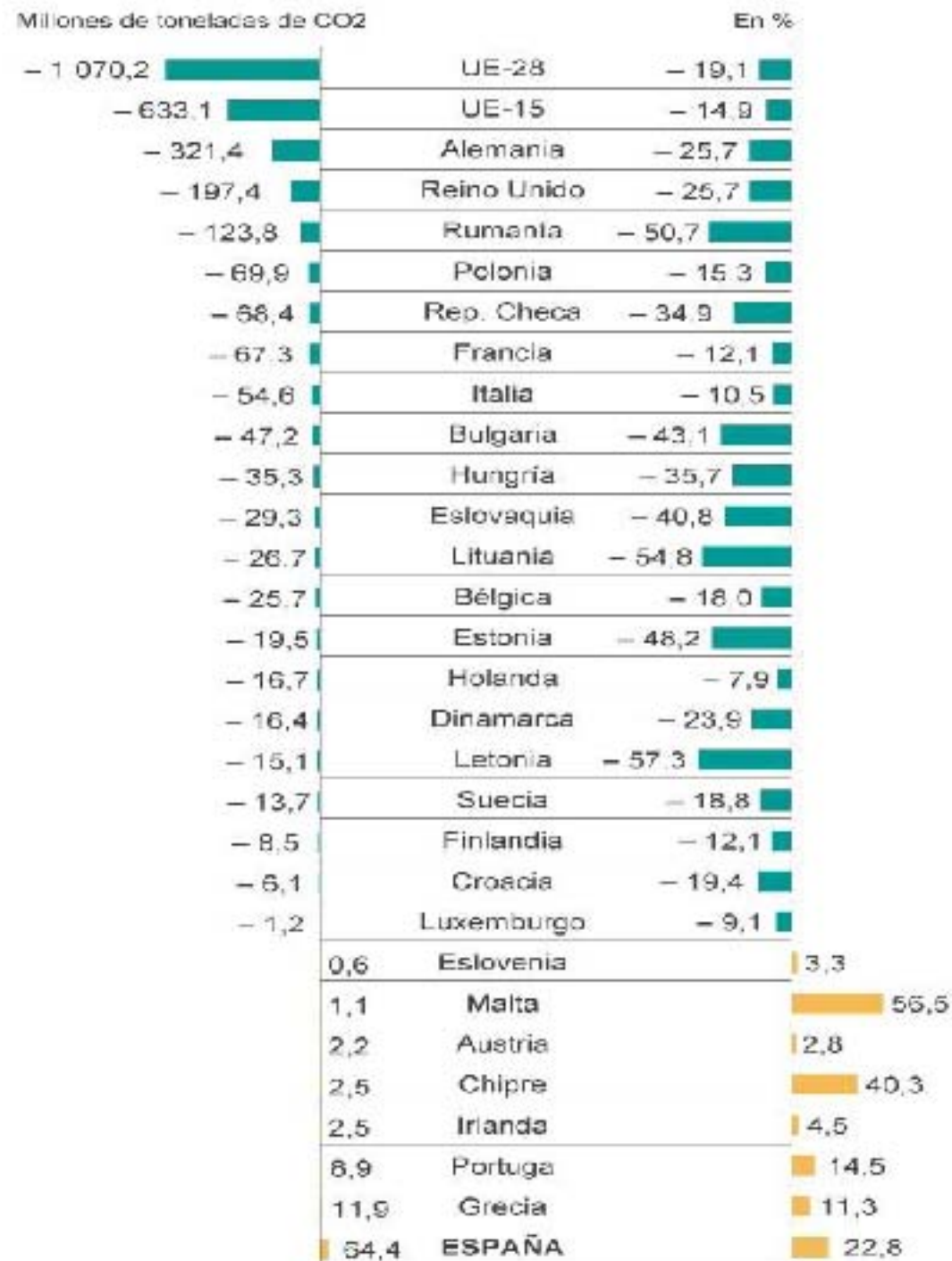


Figura 1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Fuente: Agencia Europea del Medio Ambiente. <http://www.eea.europa.eu/es>





1.2 Tipos de Motores

Un motor es la parte sistemática de una máquina capaz de hacer funcionar un sistema, mediante la transformación de algún tipo de energía ya sea de combustión, eléctrica, etc. en energía mecánica para ejercer un trabajo dinámico.

Existen diversos tipos de motores con características propias y creados para diferentes necesidades, como es el caso de los motores eléctricos, motores de combustión interna, motores de combustión externa, etc.

A continuación se presenta una breve descripción de los motores más relevantes.

- **Motor Térmico**

Es una máquina con la cual es posible la transformación del calor en trabajo mecánico mediante el aprovechamiento del gradiente de temperatura entre una fuente y un receptor de calor.

- **Motor de Combustión Externa**

Es una máquina derivada de los motores térmicos, que realizan la conversión de energía calorífica a energía mecánica mediante un proceso de combustión el cual se lleva a cabo fuera del motor, generando vapor el cual será el encargado de general el trabajo, Los motores de combustión externa también pueden utilizar diferentes gases como fluido de trabajo; siendo el aire, el Hidrogeno y el Helio algunos de los más utilizados.



- **Motor de Combustión Interna**

Es una máquina derivada de los motores térmicos, que realizan la conversión de la energía calorífica a energía mecánica mediante un proceso de combustión, el cual se lleva a cabo en la cámara de combustión del motor la cual es la parte principal de este tipo de máquinas.

- **Motores Eléctricos.**

Es una máquina eléctrica la cual tiene la capacidad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles con lo cual son capaces de transformar la energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores; estos se dividen en 3 clasificaciones fundamentales: Asíncronos, Síncronos y de colector. Los dos primeros funcionan únicamente con corriente alterna, monofásica, trifásica o polifásica, mientras que el tercero se puede utilizar tanto con corriente alterna como continua.

- **Stirling**

Obtiene potencia mecánica de la expansión de un gas contenido a altas temperaturas.

1.2.1 Motores de Combustión interna

Los motores de combustión interna han tenido gran viabilidad en México, debido a que su manufactura es económica, sin embargo, en los últimos años se han tenido que hacer cambios en su funcionamiento, principalmente para el cuidado del medio ambiente ya que los productos de la combustión que se genera en estos motores suelen ser muy dañinos para el ecosistema; por otra parte la futura carencia de los combustibles ahora utilizados son otro



factor por el cual se han tenido que hacer cambios en el funcionamiento de estos motores.

Los motores de combustión interna también conocidos como motores de pistón, son capaces de producir energía mecánica mediante la energía química de un combustible con el cual se lleva a cabo la combustión dentro del motor en lo que se le conoce como cámara de combustión.

Existen diferentes tipos de motores de combustión interna entre los cuales tenemos:

Motores de Combustión Interna		
Rotativo	Turbomáquina	Turbina de gas de ciclo abierto
	Volumétrico	Motor Wankel, Quasiturbina
Alternativo	Encendido por compresión	Motor Diésel
	Encendido provocado	Motor de explosión (Otto, Miller, de mezcla pobre, de ciclo Atkinson)
Reacción	Aerorreactor sin compresión	Estatorreactor, Pulsorreactor
	Aerorreactor con compresión	Turborreactor, Turbofán, Turbohélice

Tabla 1 Tipos de Motores de Combustión Interna.

➤ Turbina de gas de ciclo abierto

Las turbinas de gas son máquinas térmicas rotativas de combustión interna de flujo continuo; tienen la función de convertir energía calórica de un combustible en energía mecánica se representa bajo el siguiente esquema.

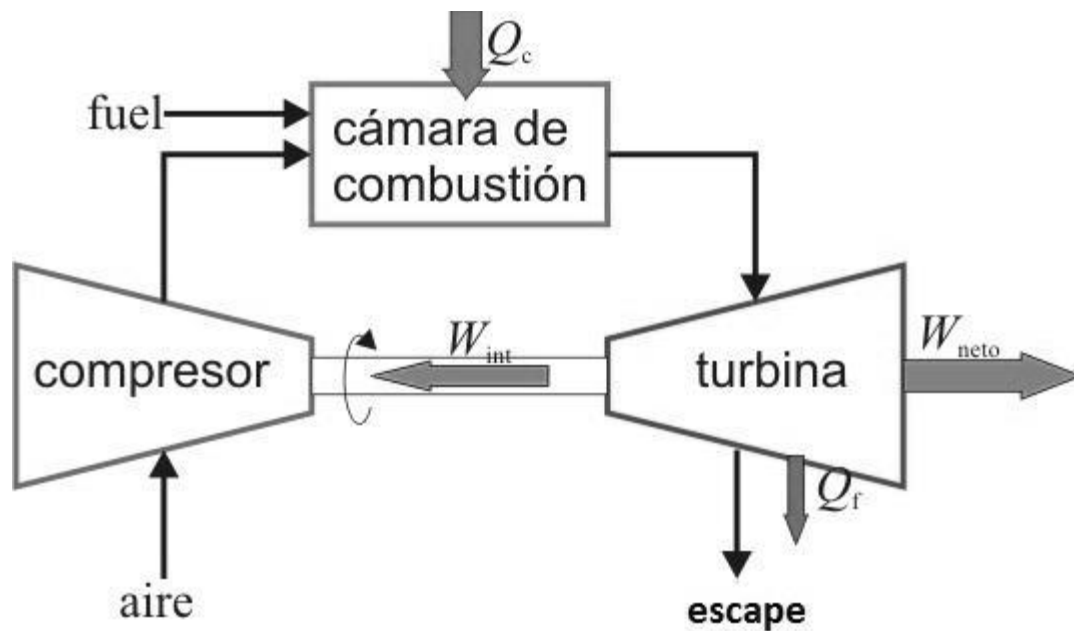


Ilustración 1 Representación de una turbina de gas de Ciclo Abierto

Fuente: http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Brayton

Funcionamiento

Admisión

El aire entra por la boca de la turbina a temperatura ambiente y a presión atmosférica.

Compresor

El aire es comprimido y dirigido hacia la cámara de combustión mediante un compresor. Esta fase se modela mediante una compresión adiabática $A \rightarrow B$

Cámara de Combustión

En la cámara de combustión el aire es calentado por la quema del combustible, dado que la cámara es abierta el aire puede expandirse, por lo que el calentamiento se modela como un proceso isobaro $B \rightarrow C$

Turbina

El aire pasa por la turbina provocando su expansión y este se enfría rápidamente, lo que se describe mediante una expansión adiabática $C \rightarrow D$

Escape

El aire enfriado sale a una temperatura mayor que la inicial, ya que este es un ciclo abierto el aire que escapa no es el mismo que entra por la boca de la turbina, pero considerando que si entra en la misma cantidad y a la misma presión se puede considerar hacer una recirculación de este. En este modelo el aire de salida cede calor al ambiente y vuelve a entrar por la boca ya frío. En un diagrama PV esto corresponde a un enfriamiento a presión constante $D \rightarrow A$

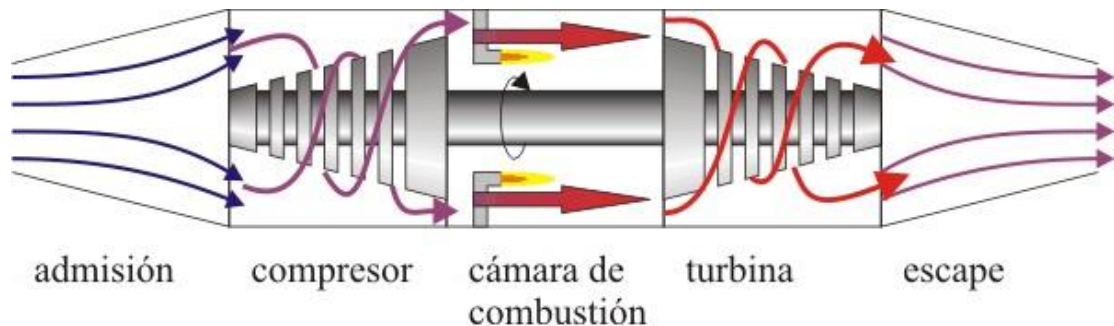


Ilustración 2. Turbina de Gas.

Fuente: http://laplace.us.es/wiki/index.php?title=Ciclo_Brayton&redirect=no

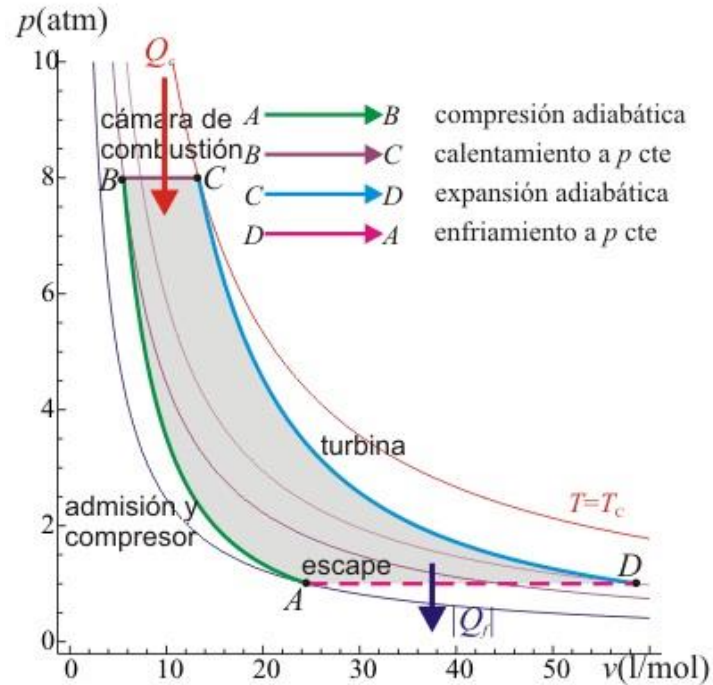


Figura 2. Diagrama PV de una turbina de gas

Fuente: http://laplace.us.es/wiki/index.php?title=Ciclo_Brayton&redirect=no

➤ Motor Wankel

El motor Wankel es considerado como un motor de combustión interna de tipo rotativo, tiene la característica de ser compacto y ligero en comparación con los motores de pistones; funciona con un bajo nivel de vibraciones y su sencillez mecánica permite que su fabricación sea de bajo costo.

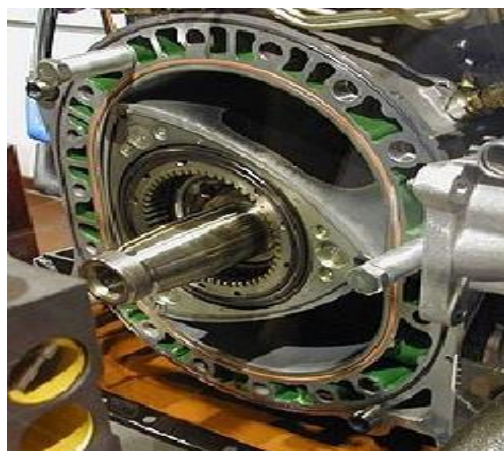


Ilustración 3. Motor Wankel

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_Wankel



Funcionamiento

Un motor Wankel realiza 4 diferentes trabajos (admisión, compresión, combustión y escape) desarrollados en distintos lugares de la carcasa.

Admisión.

La mezcla de aire-combustible entra en la cámara siguiente cuyo volumen aumenta debido a la órbita excéntrica del rotor.

Compresión

El rotor continúa girando y la cámara que contiene la mezcla disminuye de volumen al tiempo que la comprime.

Explosión

El encendido hace que la mezcla se queme y se expanda, impulsando al rotor en ese tiempo de explosión, a la vez aumenta el volumen de la cámara.

Escape

El otro vértice del rotor pasa a la lumbrera de escape y la descubre para que salgan los gases.

➤ Motor Diésel

El motor diésel es un motor térmico de combustión interna de tipo alternativo que se produce por el autoencendido del combustible debido a altas temperaturas derivadas de la compresión del aire en el interior del cilindro.

Los motores diésel trabajan con un ciclo de cuatro tiempos a excepción de los motores grandes, ferroviarios o marinos que constan de dos ciclos.

La eficiencia de los motores diésel depende de las presiones y las temperaturas iniciales y finales de la fase de compresión



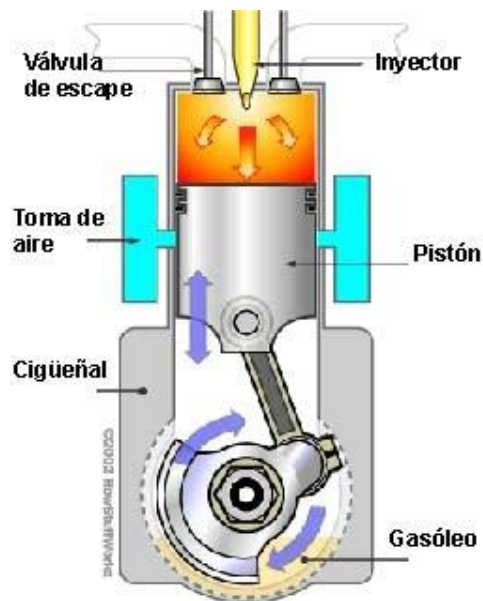


Ilustración 4. Representación de un motor tipo Diesel.

Fuente: <http://tma01.files.wordpress.com/2008/03/diesel-two-stroke.gif>

Funcionamiento

En la etapa de Admisión, el pistón sale y se absorbe aire hacia la cámara de combustión. En la fase de compresión, en que el pistón se acerca, el aire se comprime a una parte de su volumen original lo cual provoca que aumente la temperatura hasta unos 850 °C. Al final de la fase de compresión se inyecta el combustible a gran presión con lo que se atomiza dentro de la cámara de combustión produciéndose la inflamación a causa de la alta temperatura del aire, en la tercera fase “fase de trabajo”, los gases producto de la combustión empujan el pistón hacia afuera, transmitiendo la fuerza longitudinal al cigüeñal a través de la biela transformándose en fuerza de giro par motor, la fase de escape es cuando vuelve el pistón hacia adentro.



➤ Motor Otto

El motor de ciclo de Otto se caracteriza por aspirar una mezcla de aire-combustible normalmente gasolina- aire), es un motor alternativo el cual trabaja con un sistema pistón-cilindro con válvulas de admisión y de escape para controlar el flujo de mezcla que entra y sale del cilindro en el caso de motores de cuatro tiempos.

Funcionamiento

El proceso inicia con la mezcla de gasolina aire fuera de la cámara de combustión en un elemento llamado carburador. La mezcla obtenida se hace llegar a dicha cámara, donde es comprimida. La combustión se inicia por un sistema de encendido externo al motor (bujía) de control temporizado. En el interior del cilindro se inflama y quema la mezcla el calor generado por la combustión provoca un incremento en la presión de los gases previamente comprimidos originando un trabajo mecánico a través del pistón la biela y el cigüeñal. Los gases quemados son expulsados por el tubo de escape y son sustituidos por una nueva porción de mezcla tras cada carrera de combustión.

Ciclo Otto

Admisión. El pistón desciende con la válvula de admisión abierta, aumentando la cantidad de mezcla de aire y combustible en la cámara. (Expansión a presión constante puesto que al estar la válvula abierta la presión es igual a la exterior. E-A

Compresión. El pistón asciende comprimiendo la mezcla, ambas válvulas permanecen cerradas. Representado como una compresión adiabática del punto A al punto B



Combustión. Con el pistón en el punto muerto superior, salta la chispa de la bujía, que inicia la combustión de la mezcla a volumen constante. B-C

Expansión. Debido a la combustión se produce un incremento en la temperatura que empuja el pistón hacia abajo, realizando trabajo sobre él, las válvulas continúan cerradas. Se representa como una expansión adiabática de C a D

Escape. Se abre la válvula de escape y el gas sale al exterior, empujado por el pistón a una temperatura mayor que la inicial, siendo sustituido por la misma cantidad de mezcla fría en la siguiente admisión. El sistema es abierto ya que intercambia masa con el exterior. No obstante dado que la cantidad de aire que sale y la que entra es la misma se puede suponer desde el punto de vista del balance energético que es el mismo aire que se ha enfriado. Este enfriamiento ocurre en dos fases. Cuando el pistón se encuentra en el punto muerto inferior, el volumen permanece aproximadamente constante D-A y cuando el pistón empuja el aire hacia el exterior, con la válvula abierta A - E

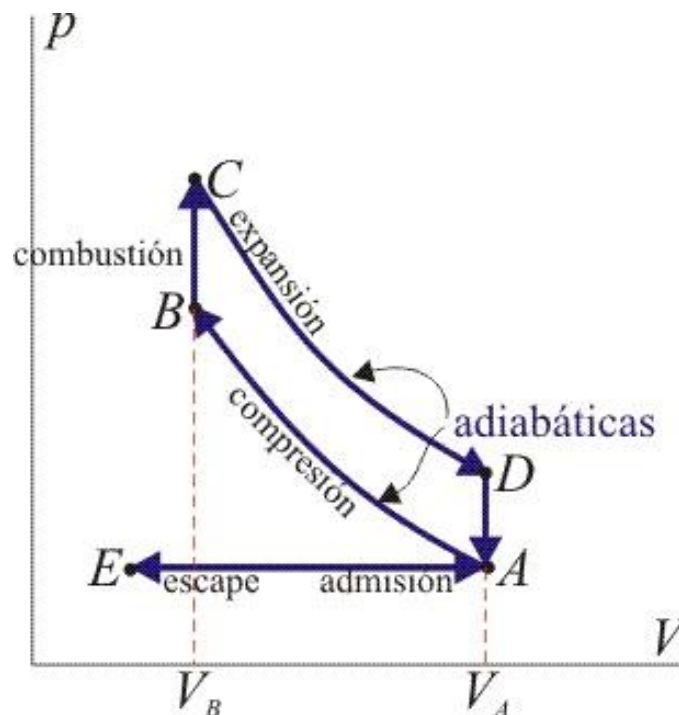


Figura 3. Diagrama PV de un Motor de ciclo Otto.

Fuente: http://ca.wikipedia.org/wiki/Ciclo_d'Otto



1.3 Energías Alternas

Las energías alternas son aquellas que por su capacidad de regeneración natural y cantidad en relación a los consumos que el ser humano puede hacer uso de ellas, son inagotables y su explotación con responsabilidad

- Solar: Obtiene su energía del Sol.
- Eólica: Obtiene su energía del viento.
- Geotérmica: Obtiene su energía del calor de la tierra.
- Mareomotriz: Obtiene su energía de mares y océanos.
- Hidráulica: Obtiene su energía de Ríos y corrientes de agua dulce.
- Biomasa: Obtiene su energía de la materia orgánica.

Cabe mencionar que la Biomasa a pesar de ser considerada como una energía renovable, emite dióxido de carbono y otros contaminantes en cantidades relativamente pequeñas, aunque, si se obtiene esta energía de manera irracional, puede llegar a ser más contaminante que el uso de los combustibles fósiles.

1.3.1 Energía Solar

Es una fuente de energía de origen renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol.

A finales de los años 70's se empezó a considerar la idea de aprovechar los rayos solares para producir energía, ya que en ese momento se contaba con la tecnología para lograr dicho propósito, en la actualidad este tipo de tecnologías han ido evolucionando logrando que el calor y la luz del sol puedan ser utilizadas mediante el uso de capadores tales como celdas fotovoltaicas, heliostatos o colectores térmicos los cuales son capaces de transformar la energía del sol en energía eléctrica o térmica.



Las tecnologías para aprovechar la luz solar se clasifican en activas o pasivas según la forma en que capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Dentro de las tecnologías activas se encuentran las celdas fotovoltaicas y los colectores térmicos; en las tecnologías pasivas destacan, la orientación de los edificios al sol, la selección de los materiales de construcción los cuales deben ser favorables a lograr una mayor dispersión de la luz, etc.

En la actualidad la fuente de energía solar más desarrollada es la energía solar fotovoltaica, la cual podría llegar a suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en el año 2030 según estudios realizados por la organización ecologista Greenpeace.

1.3.1.1 Energía Solar Fotovoltaica

A la transformación directa de la luz solar en electricidad se le llama Efecto Fotovoltaico, este tipo de energía se genera mediante paneles solares, y se le conoce como energía solar fotovoltaica; estos paneles pueden estar formados por sólidos, líquidos o gases, pero es en los sólidos en donde se presenta una mayor eficiencia de conversión de la potencia luminoso a energía eléctrica.

El Parámetro estandarizado para clasificar la potencia de un panel fotovoltaico se denomina potencia pico, y corresponde con la potencia máxima que el panel genera bajo las condiciones estandarizadas las cuales son:

- Radiación de 1000 W/m^2
- Temperatura del panes



Las celdas comúnmente usadas en los paneles fotovoltaicos son de silicio, y se dividen en tres tipos:

Silicio Monocristalino

Silicio Policristalino

Silicio Amorfo

- **Celdas de Silicio monocristalino.** Están formadas por un solo cristal de silicio, normalmente manufacturado bajo en proceso Czochralskj. Este tipo de celdas son de un color azul oscuro.



Ilustración 5. Celda Fotovoltaica de Silicio Monocristalino.

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

- **Celdas de Silicio Policristalino.** Están Formadas por un conjunto de cristales de silicio, lo cual provoca que si rendimiento sea inferior comparado con las celdas monocristalinas, visiblemente son de un color azul intenso.



Ilustración 6. Celda Fotovoltaica de Silicio Policristalino

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico

- **Celdas de Silicio Amorfo.** Son menos eficientes que las celdas cristalinas y su precio es más bajo; este tipo de celdas las podemos encontrar en relojes o calculadoras.

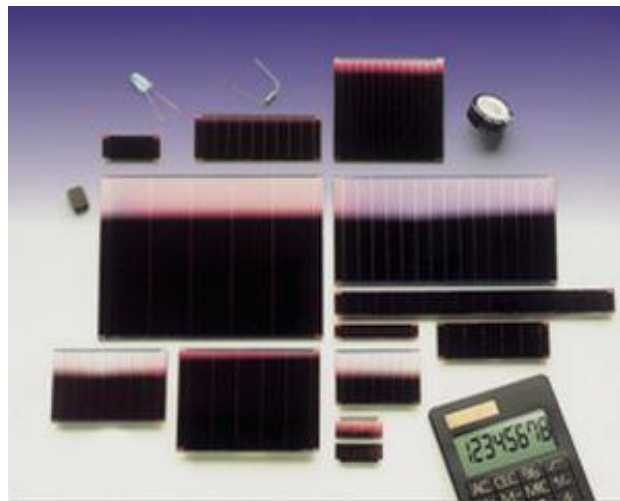


Ilustración 7. Celda Fotovoltaica de Silicio Amorfo

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/solems/celdas-solares-fotovoltaicas-fotovoltaicas-silicio-amorfo-8067-739623.html>



1.3.1.2 Energía Solar Térmica

También conocida como energía termosolar, consiste en aprovechar la energía solar para producir calor el cual puede ser usado para calentadores de agua, calefactores, o para producir energía mecánica.

Los colectores de energía termo solar se clasifican en:

- **Colectores de Baja Temperatura.** Proveen el calor necesario para alcanzar temperaturas de 65°C mediante absorbedores metálicos los cuales se pueden encontrar en calentadores de baño, piscinas y en general en actividades industriales en las que el calor requerido para su proceso no supera los 60°C , como ejemplo se tiene la pasteurización y el lavado textil.
- **Colectores de Media Temperatura.** Transforman la radiación solar en calor, el cual puede alcanzar temperaturas entre 100 y 300°C . útil para diferentes procesos industriales.
- **Colectores de Alta temperatura.** Este tipo de colectores permiten alcanzar temperaturas superiores a 400°C , son usados para generar electricidad termosolar y trasmitirla por medio de una red eléctrica.

1.3.2 Energía Eólica

Es el resultado del aprovechar las grandes corrientes de viento que son generados por el calentamiento de la superficie terrestre producido por la radiación solar.

En la década de 1980 se desarrolló la industria eoloelectrica cuando se instalaron los primeros aerogeneradores en Estados Unidos en los cuales se presentaban potencias no mayores a 25 KW en la actualidad pueden llegar a alcanzar potencias de 750 a 3000 KW.



Ilustración 8. Aerogenerador de 1984 capaz de producir 24 KW

Fuente: <http://www.eoliccat.net/parques-eolicos-de-catalunya/historia-de-la-eolica.html?L=1>



Ilustración 9. Aerogenerador Moderno capaz de abastecer 2500 hogares
Fuente: <http://evolution.skf.com/es/sistema-de-lubricacion-centralizada-mas-eficiente-para-aerogeneradores/>

El uso de aerogeneradores presenta múltiples ventajas entre las cuales se encuentran:

- Producen energía sin utilizar combustibles
- Bajo impacto ambiental
- Estabilidad en los costos de producción de energía
- Producen grandes cantidades de energía.

A finales de 2008 la capacidad mundial instalada era de 121,188 MW, dentro de los países que más destacan en el uso de energía eoloelectrica Estados Unidos con una capacidad Instalada del 21 % (25,170 MW), Alemania con el 20% (23,903 MW), España con el 14% (16,740 MW) y China con el 10% (12 210 MW)³

³ Fuente: Claudio A. Estrada Gasca y Jorge Islas Samperio; Energías alternativas: propuesta de investigación y desarrollo tecnológico para México, Primera edición 2010, Academia Mexicana de Ciencias

1.3.3 Energía Geotérmica

Es el tipo de Energía que puede obtenerse del aprovechamiento del calor interno de la tierra, tales como aguas termales y fugas de vapor que salen a la superficie, las cuales pueden ser utilizadas para generar electricidad. La primera planta generadora de energía geotérmica por vapor se inauguró en Larderello, Italia en 1904; en 2005 se generaron alrededor de 16,000 MW provenientes de fuentes geotérmicas en aproximadamente 72 países.

Puede considerarse que existen dos tipos de yacimientos geotérmicos a los cuales se les conoce como, yacimientos de agua caliente y yacimientos secos. Los yacimientos de agua caliente pueden ser acuíferos externos o subterráneos; en el caso de los externos han sido utilizados desde la antigüedad como pozos termales, en cuanto a los subterráneos, sirven para aprovechar el calor interno de la tierra para producir electricidad.

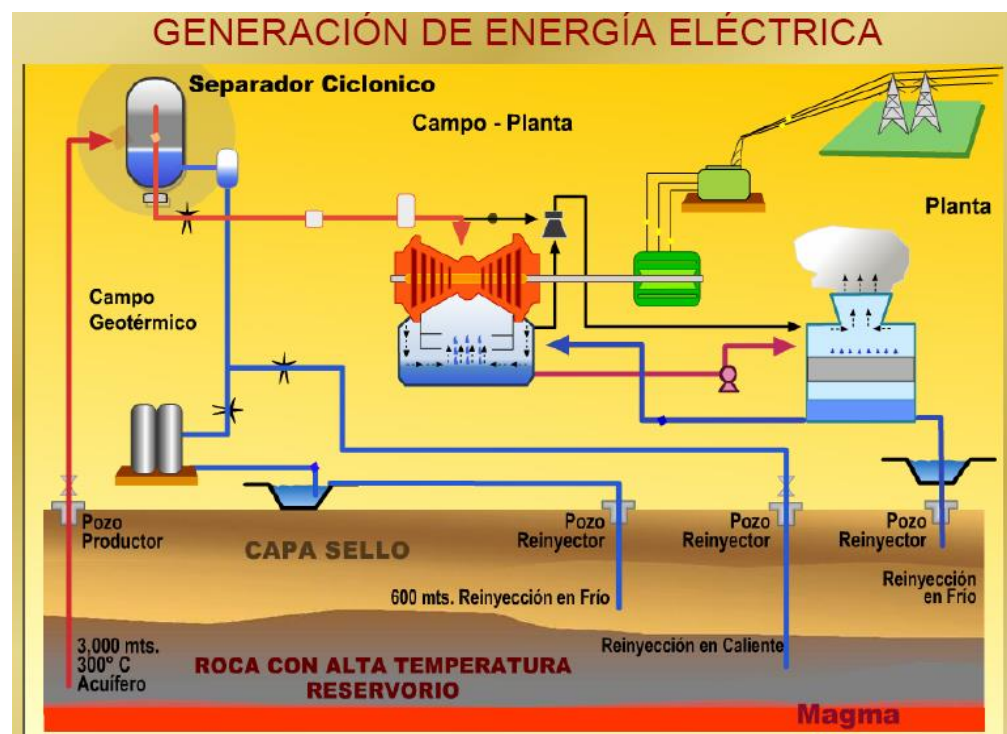


Ilustración 10. Proceso de Generación de Energía en una Central Geotérmica
Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos93/generacion-energia-geotermica/generacion-energia-geotermica2.shtml>

1.3.4 Energía Hidráulica

Es una fuente de energía renovable que aprovecha la caída de agua desde una cierta altura para generar energía eléctrica. La energía potencial, durante la caída se convierte en energía cinética. El agua pasa por grandes turbinas a gran velocidad logrando un movimiento de rotación con lo cual se logra finalmente la generación de electricidad.

El aprovechamiento de este tipo de energía se lleva a cabo en centrales hidroeléctricas las cuales usan tecnología adecuada para aprovechar los recursos naturales como el flujo de un río, la caída de agua en cascadas o en cataratas etc.

La larga vida útil de las centrales hidroeléctricas las convierten en uno de los recursos renovables más utilizados hoy en día, además de que ofrecen la ventaja de reducir el uso de energía externa (energía proveniente de otros países), ya que puede producirse y utilizarse para satisfacer las necesidades eléctricas del mismo país.

Otra ventaja importante que presenta el aprovechamiento de esta energía es que ayuda a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, al servir como sustituto de otras fuentes más contaminantes para producir electricidad.

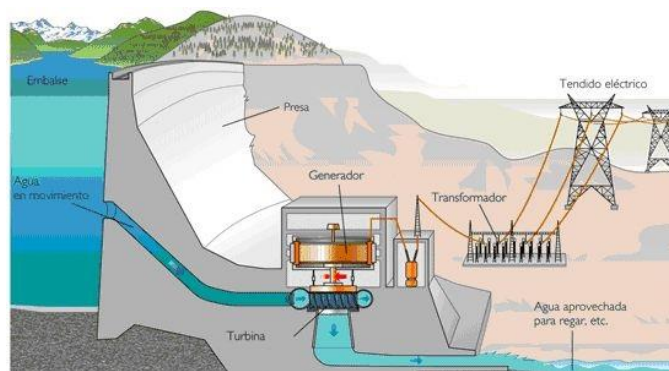


Ilustración 11. Energía Hidráulica

Fuente: <http://energia-sustentable.org/energias-sustentables/energia-hidraulica/energia-hidraulica-atmosfera-sana-mundo-feliz/>



1.3.5 Bioenergía

Es la energía que se obtiene de materiales orgánicos de origen biológico, y ha sido utilizado como combustible a lo largo de la historia de la humanidad. La biomasa es el material orgánico de origen biológico más importante y es producida por las plantas al sintetizar la luz, agua y CO_2 mediante el proceso de fotosíntesis, en el que la energía solar queda almacenada en enlaces químicos, que a su vez puede ser liberada en forma de biocombustibles mediante procesos como la combustión, la digestión, la descomposición o bien mediante la Hidrolisis y fermentación. Otras fuentes de materiales orgánicos de origen biológico han sido los residuos de animales particularmente el estiércol y los desechos de las sociedades principalmente los desechos orgánicos.

Los materiales orgánicos proporcionan según su origen y procesamiento, energía técnicamente útil y factible de aprovechar desde el punto de vista económico en los tres estados físicos de la materia, sólido, líquido y gaseoso; lo cual logra que la bioenergía sea considerada como un recurso energético universal, limpio y de gran alcance; se aprovecha su capacidad de regeneración y se plantea su producción con criterios de sustentabilidad ambiental, energética, social, rural y económica.

La bioenergía da lugar a diferentes tipos de energéticos, los cuales son obtenidos mediante diversos procesos de transformación del material biológico; dentro de estas se encuentran los biocombustibles líquidos, sólidos y gaseosos.



1.4 Biocombustibles

Son combustibles de origen biológico y son considerados como una fuente de energía renovable obtenida a partir de restos orgánicos procedentes del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas y se pueden obtener en estado sólido, líquido y gaseoso.

1.4.1 Biocombustibles Sólidos

Se consideran Biocombustibles sólidos a aquellos combustibles no fósiles, compuestos por materia orgánica de origen vegetal o animal o producidos a partir de la misma mediante procesos físicos, susceptibles de ser utilizados en aplicaciones energéticas.

Las características de los Biocombustibles Sólidos varían según su composición y humedad, de manera que la energía que puede generarse por unidad de masa o de volumen dependiendo de estos parámetros.

1.4.2 Biocombustibles Líquidos

Son aquellos combustibles de origen orgánico a partir de aceites vegetales, grasas animales o cultivos con alto contenido de azúcares. Se conocen también con el nombre de Biocarburantes y se obtienen a través de procesos químicos, siendo capaces de sustituir a los combustibles provenientes del petróleo.

Los principales Biocarburantes son el Biodiesel y el Bioetanol, siendo utilizados en motores de gasoil y en motores de combustión de gasolina respectivamente.



Los biocombustibles líquidos son menos contaminantes que sus equivalentes fósiles, su transporte y almacenamiento son más seguros, debido al mayor punto de ignición del biodiesel y al menor punto de inflamación del bioetanol con respecto a los combustibles convencionales.

1.4.2.1 Biodiesel

El biodiesel es un Biocarburante líquido producido a partir de aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas en la actualidad para la producción de este biocombustible. Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetanos, además presentan un punto de inflamación mayor lo cual hace más seguro su uso y la trasportación de este biocombustible comparado con los combustibles convencionales, considerando esto el biodiesel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en motores de combustión interna e incluso puede llegar a sustituirlo completamente.

De acuerdo con la definición de la ASTM (American Society for Testing and Materials) el biodiesel es considerado como un éster monoalquílico de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables como aceites vegetales o grasas de origen animal.

La ASTM ha especificado distintas pruebas que se deben realizar a los combustibles para realizar su correcto funcionamiento.

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones establecidas para el biodiesel y el método de ensayo correspondiente de acuerdo con la ASTM.



Límites				
Propiedad	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de Ensayo
Contenido en éster	% (m/m)	96,5	-	EN 14103
Densidad a 15 °C	kg/m³	860	900	EN ISO 3675
				EN ISO 12185
Viscosidad	mm²/g	3,5	5	EN ISO 3104
Punto de Inflamación	°C	120	-	prEN ISO 3679
Contenido de Azufre	mg/kg	-	10	prEN ISO 20846
				prEN ISO 20884
Residuo de carbón (en 10% de residuo destilado)	% (m/m)	-	0,3	EN ISO 10370
Índice de Cetanos		51		EN ISO 5165
Contenido de Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Contenido de Agua	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación Total	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosión de la Tira de Cobre 3h a 50 °C	Clasificación	Clase 1	-	EN ISO 2160
Estabilidad a la Oxidación 110 °C	Horas	6	-	EN 14112
Índice de Ácido	mg KOH/g	-	0,5	EN 14104



Índice de Yodo	g de yodo/100 g	-	120	EN 14111
Éster de metilo de ácido linoléico	% (m/m)	-	12	EN 14103
Ésteres de metilo poli-insaturados (>= a 4 dobles enlaces)	% (m/m)	-	1	-
Contenido de metanol	% (m/m)	-	0,2	EN 14110
Contenido en monoglicéridos	% (m/m)	-	0,8	EN 14105
Contenido en diglicéridos	% (m/m)	-	0,2	EN 14105
Contenido en triglicéridos	% (m/m)	-	0,2	EN 14105
Glicerol libre	% (m/m)	-	0,02	EN 14105
				EN 14106
Glicerol total	% (m/m)	-	0,25	EN 14105
Metales del grupo I (Na + K)	mg/kg	-	5	EN 14108
				EN 14109
Metales del grupo II (Ca + Mg)	mg/kg	-	5	prEN 14538
Contenido de fósforo	mg/kg	-	10	EN 14107

Tabla 2. Especificaciones establecidas para lo obtención de biodiesel de acuerdo con la ASTM. Fuente: <http://www.astm.org/>



1.4.3 Biocombustibles Gaseosos

Los biocombustibles gaseosos son aquellos combustibles de origen no fósil obtenido a partir de la descomposición de materia orgánica bajo ciertas condiciones, principalmente bajo la ausencia de oxígeno.

El biogás es el más conocido, este puede generarse en biodigestores o en medios naturales a partir de las diferentes reacciones de biodegradación que sufre la materia orgánica; el gas resultante de estas reacciones está formado por una mezcla de diferentes gases entre los cuales se encuentra el dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), entre otros que se encuentran en menor proporción. El contenido de gas metano aprovechable para su combustión varía del 50 al 75%.

1.4.3.1 Biogás

Es el producto gaseoso de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos, debido a su alto contenido en metano (CH_4), tiene un poder calorífico mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural este depende del porcentaje de CH_4 que se encuentre presente en el biogás. Este bioenergético es una mezcla de metano y dióxido de carbono, es utilizado como combustible y puede sustituir a los combustibles fósiles; puede utilizarse para diversas actividades cotidianas e incluso para generar electricidad a partir de motores de combustión interna conectados a un generador.

La producción de biogás por descomposición anaerobia es un método factible para tratar residuos biodegradables, dado que se produce un combustible útil, además genera un efluente que puede utilizarse como abono o como un buen acondicionador de suelo.

De acuerdo a la literatura con un metro cúbico de biogás se pueden hacer diversas actividades como: Generar 6 h de luz equivalentes a un foco de 60



Watts, mantener funcionando un Refrigerador de 1 m³ durante 1 h, logra hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 h, etc.

1.4 Clasificación del Biocombustible

Biocombustibles			
Primarios	Secundarios		
	1ª GENERACIÓN	2ª GENERACIÓN	3ª GENERACIÓN
Leña	Sustrato: Semillas, cereales o azúcares	Sustrato: Biomasa Lignocelulósica	Sustrato: Algas y Microbios
Serrín	Etanol y butanol por fermentación del almidón (trigo, cebada, maíz, patata) o azúcares (caña de azúcar, remolacha)	Etanol y butanol por hidrólisis enzimática	Biodiesel y Etanol a partir de algas
Pellets			
Residuos animales	Biodiesel por transesterificación de aceite vegetales (colza, soja, girasol, palma, coco, jatropha), aceite de fritura y grasas animales	Metanol, gasolina y diesel Fischer-Tropsch, dimetileter y diesel verde por procesos termoquímicos	Hidrogeno a partir de algas verdes y microbios
Residuos forestales y de cultivos			
Gas de vertedero		Biometano por digestión anaeróbica	

Tabla 3.- Clasificación de Biocombustibles Fuente: Instituto Tecnológico de Canarias, Raimundo Arvelo Álvarez, Adelina de la Jara Valido. "Proyecto TRES - Transición hacia un modelo Energético Sostenible" Noviembre 2011



CAPÍTULO II



Las microalgas para la Producción de Biodiesel





2.1 Las microalgas

Las algas son organismos fotosintéticos que al igual que las plantas terrestres utilizan la energía solar para crear materia orgánica a partir del CO₂ de la atmósfera y de los nutrientes del agua; al igual que las algas comunes las microalgas son organismos fotosintéticos de fácil reproducción debido a su estructura unicelular; son fáciles de cultivar y pueden llegar a crecer en aguas que no son aptas para el consumo humano (aguas residuales).

Existen alrededor de 100,000 especies de algas entre las cuales se encuentran desde las microespecies también conocidas como microalgas, hasta las gigantes o macroalgas que pueden llegar a medir hasta 100 m de longitud. Las microalgas son consideradas como la forma más primitiva de las plantas terrestres fotosintéticas, si bien el mecanismo de la fotosíntesis en las microalgas es similar a la de las plantas terrestres; las microalgas por su estructura molecular sencilla son generalmente más eficientes para convertir la energía solar en lípidos.

Las microalgas se clasifican en diferentes grupos los cuales se distinguen principalmente por su pigmentación, ciclo de vida y su estructura celular; de acuerdo con esta clasificación se ha podido determinar que las mejores cepas de microalgas para la producción de biodiesel son las algas verdes Chlorophyceae, las cuales abundan en agua dulce produciendo gran cantidad de lípidos bajo ciertas condiciones y presentan altas tasas de crecimiento a 30 °C es por esto que este tipo de algas pueden cultivarse en zonas cálidas y soleadas.



Imagen 1. Microalgas verdes tipo Chlorophyceae Fuente:
http://www.biologados.com.br/botanica/taxonomia_vegetal/divisao_chlorophyta_chlorophyceae.htm

Las diatomeas (Bacillariophyceae) también son buenos candidatos para la producción de biodiesel contando como único limitante la necesidad de silicio para su crecimiento y producción de lípidos. Estas algas componen el fitoplancton de los océanos, pero también se encuentran en agua dulce y agua salobre (agua con mayor cantidad de sales disueltas que el agua dulce pero en menor proporción que en el agua de mar).



Imagen 2. Microalgas Diatomeas
Fuente: <http://www.biologie.uni-hamburg.de/online/ibc99/botanica/botanica/bacillar.htm>



2.2 Tipos de microalgas

Se estima que pueden existir hasta 30 000 especies de microalgas, entre las cuales se encuentra las especies de tipo eucariotas como procariotas (cianobacterias o algas verde-azuladas), las cuales pueden crecer en diferentes ecosistemas e incluso bajo diferentes condiciones climáticas.

No todas las especies de microalgas crecen bajo las mismas condiciones por tal motivo no es común encontrar los mismos tipos de microalgas en diferentes regiones ya que cada una de estas especies necesita características diferentes para su desarrollo y crecimiento; es por esto que las microalgas se han clasificado de acuerdo a su desarrollo celular, ciclo de vida, capacidad de almacenamiento de lípidos, pigmentación etc.

En la siguiente tabla se muestra una de las clasificaciones que se pueden encontrar para las microalgas.

Clasificación	
Clase	Características
Chlorophyta (algas Verdes)	División conformada por una gran cantidad de especies, en particular por las que proliferan en ambientes dulceacuícolas. Pueden existir ya sea como células individuales o colonias. Su principal reserva de carbono es el almidón, sin embargo, pueden almacenar lípidos bajo determinadas condiciones.
Bacillariophyta (Diatomeas)	Las diatomeas predominan en aguas oceánicas, no obstante también se les puede encontrar en aguas dulces y residuales. Se caracterizan por contener silicio en sus paredes celulares. Almacenan carbono de maneras diversas, ya sea como aceites o como crisolaminarina



(polímero glucídico)

Heterokontophyta (algas doradas) Estos tipos de microalgas están conformadas por especies similares a las diatomeas en términos de composición bioquímica y contenido de pigmentos.

Cianobacterias Son microorganismos procariontes cuya estructura y organización son similares a la de las bacterias, estas ayudan en la fijación del nitrógeno en la atmósfera

Tabla 4. Clasificación de las Microalgas de acuerdo a diversos parámetros como pigmentación, ciclo de vida, estructura celular etc. Fuente: (AlgaeBases, www.algaebase.org; Hu et al., 2008; Sheehan et al 1998.)

En la Siguiete Imagen se muestra el tipo de microalgas y su hábitat predominante.

Microalga	Especies conocidas (aprox.)	Material almacenado	Hábitat
Diatomeas (<i>Bacillariophyceae</i>)	100 000	Quirsolaminarin (polimero de carbohidratos) y TAGs	Océanos, agua dulce y salobre
Algas verdes (<i>Chlorophyceae</i>)	8 000	Almidón y TAGs	Agua dulce
Algas verde-azules (<i>Cyanophyceae</i>)	2 000	Almidón y TAGs	Diferentes hábitats
Algas doradas (<i>Chrisophyceae</i>)	1 000	TAGs y carbohidratos	Agua dulce

TAGs = Triacilgliceroles. Fuente: (Khan et al., 2009).

Tabla 5. Tipos de Microalgas y su Hábitat Fuente: Fernández-Linares, Luis Carlos; Montiel-Montoya, Jorge; Millán-Oropeza, Aarón; Badillo-Corona, Jesús Agustín “Producción De Biocombustibles A Partir De Microalgas” Ra Ximhai, vol. 8, núm. 3b, septiembre-diciembre, 2012, pág. 107





2.3 Cantidad lipídica de las microalgas

Las microalgas tienen un gran contenido de aceites que favorece la producción de biodiesel, en promedio cuentan con un 70 % de lípidos; las especies más comunes son: Chlorella Cryptocodium, Cylinthotheca Dunaliella Isochrysis Nannochloris, Neochloris Nitzschia Phaeodactylum Porphyridium y la Schizochytrium Tetraselmis las cuales tienen niveles de aceite hasta del 50%.



Imagen 3. Microalgas Comunes

Fuente: http://pendientedemigracion.ucm.es/info/otri/cult_cient/infocientifica/201206_02not.htm



Agua dulce / marina	Microalga	Lípidos (% peso seco)	Referencia
Agua dulce	<i>Chlorella emersonii</i>	63	Illman, <i>et al.</i> , 2000
	<i>Chlorella protothecoides</i>	11-59	Illman, <i>et al.</i> , 2000; Miao y Wu, 2006; Shen <i>et al.</i> , 2009, Shen <i>et al.</i> , 2010; Sforza <i>et al.</i> , 2012
	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	27	Tang <i>et al.</i> , 2011a
	<i>Chlorella sorokiniana</i>	13-23	Illman, <i>et al.</i> , 2000; Zheng <i>et al.</i> , 2012
	<i>Chlorella saccharophila</i>	18 - 54	Isleten <i>et al.</i> , 2012; Zheng <i>et al.</i> , 2012
	<i>Chlorella</i> sp.	19 - 43	Rodolfi <i>et al.</i> , 2009; Praveenkumar <i>et al.</i> , 2012
	<i>Chlorella vulgaris</i>	15 -58	Illman <i>et al.</i> , 2000; Converti <i>et al.</i> , 2009; Widjaja <i>et al.</i> , 2009; Yeh, <i>et al.</i> , 2012
	<i>Chlorella zofingiensis</i>	51	Liu <i>et al.</i> , 2011
	<i>Haematococcus pluvialis</i>	35	Damiani <i>et al.</i> , 2010
	<i>Neochloris oleoabundans</i>	26-38	Li <i>et al.</i> , 2008; Pruvost <i>et al.</i> , 2009; Popovich <i>et al.</i> , 2012; Santos <i>et al.</i> , 2012
	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	31	Shen <i>et al.</i> , 2009
	<i>Scenedesmus incrassatulus</i>	8- 12	Hernández <i>et al.</i> , 2009; Arias <i>et al.</i> 2011b; Castillo Ramírez <i>et al.</i> , 2011
	<i>Scenedesmus obliquus</i>	10-43	Mandal y Mallick, 2009; Ho <i>et al.</i> , 2010; Tang <i>et al.</i> , 2011a
	<i>Scenedesmus rubescens</i>	27-43	Lin y Lin, 2011; Tan y Lin, 2011; Lin <i>et al.</i> , 2012
	<i>Scenedesmus</i> sp.	7 - 53	Hernández <i>et al.</i> , 2009; Rodolfi <i>et al.</i> , 2009; Xin <i>et al.</i> , 2010a; Xin <i>et al.</i> , 2010c
Marina	<i>Chlorella minutissima</i>	57	Illman, <i>et al.</i> , 2000
	<i>Chlorella</i> sp.	35- 52	Chiu <i>et al.</i> , 2008; Hsieh y Wu, 2009
	<i>Chlorella vulgaris</i>	57	Liu <i>et al.</i> , 2008
	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	24	Tang <i>et al.</i> , 2011b
	<i>Nannochloris</i> sp.	40	Takagi <i>et al.</i> , 2000
	<i>Nannochloropsis oculata</i>	8 -54	Chiu <i>et al.</i> , 2009; Converti <i>et al.</i> , 2009
	<i>Nannochloropsis</i> sp.	24-60	Rodolfi <i>et al.</i> , 2009; Pal <i>et al.</i> , 2011; Moazami <i>et al.</i> , 2012
	<i>Tetraselmis suecica</i>	20 - 54	Rodolfi <i>et al.</i> , 2009; Azma <i>et al.</i> , 2011

Tabla 6. Cantidad Lipídica de algunas especies de Microalgas

Fuente: "Acta biol. Colomb., Vol. 18 n. ° 1, 2013"

El rendimiento en los aceites provenientes de microalgas es mayor comparado con el que se obtiene con cualquier otro tipo de aceite vegetal, tomando como consideración que con el maíz se puede producir 172 litros de aceite por hectárea al año, la palma produce 5 366 litros a diferencia de las microalgas que producen 136 900 litros en una hectárea al año.



Especie	%Contenido lipídico (gLípidos/gPeso-seco X100)	Especie	%Contenido lipídico (gLípidos/gPeso-seco X100)
<i>Ankistrodesmus</i> sp. ^{2,4,6}	24.5 – 40.3	<i>Hormotilopsis gelatinosa</i> ²	49.1
<i>Botryococcus braunii</i> var. A ^{2,5}	43.0 – 63.0	<i>Isochrysis</i> sp. ^{4,8}	7.1 – 47.0
<i>Botryococcus braunii</i> var. B ^{2,5}	53.0 – 86.0	<i>Monallantus salina</i> ^{1,2}	20.0 – 72.2
<i>Botryococcus sudeticus</i> ⁷	9.39 – 23.09	<i>Monodus subterraneus</i> ^{2,10}	39.3 - 40.0
<i>Chaetoceros gracilis</i> ²	46.0	<i>Nannochloris</i> sp. ^{1,8}	20.0 – 47.8
<i>Characium polymorphum</i> ²	42.0	<i>Nannochloropsis salina</i> ⁸	40.8 – 72.2
<i>Chlamydomonas applanata</i> ²	32.8	<i>Nannochloropsis</i> sp. ^{1,9}	28.7 – 68.0
<i>Chlorella emersonii</i> ^{9,10}	63.0	<i>Naviculla pelliculosa</i> ^{2,8}	22.0 – 44.8
<i>Chlorella minutissima</i> ^{9,10}	57.0	<i>Neochloris oleoabundans</i> ^{2,3}	18.9 – 88.8
<i>Chrysochromulina polylepsis</i> ^{2,8}	47.6	<i>Protosiphon botryoides</i> ^{2,8}	37.0
<i>Cosmarium laeve</i> ^{2,8}	15.0 - 33.0	<i>Prymnesium parvum</i> ^{2,8}	22.0 - 38.2
<i>Cryptocodinium cohnii</i> ¹	20.0	<i>Radiosphaera nagevensis</i> ^{2,8}	43.0
<i>Cyclotella cryptica</i> ²	36.8	<i>Scenedesmus dimorphus</i> ^{2,8,9}	6.0 – 40.0
<i>Cyclotella</i> sp. ²	54.0	<i>Scenedesmus obliquus</i> ⁹	11.0 - 55.0
<i>Cylindrotheca</i> sp. ¹	16.0 – 37.0	<i>Scotiella</i> sp. ^{2,8}	34.5 – 48.0
<i>Dunaliella primolecta</i> ^{1,2,8}	23.0 – 53.8	<i>Schizochytrium</i> sp. ¹	50.0 - 77.0
<i>Dunaliella salina</i> ^{2,4,8}	9.2 – 47.2	<i>Skeletonema costatum</i> ²	30.3
<i>Euglena gracilis</i> ²	55.0	<i>Stichococcus bacillaris</i> ²	38.9
<i>Hantzchia</i> sp. ²	61.0	<i>Tetraselmis sueica</i> ¹	15.0 – 23.0

¹Chisti, 2007; ²Arredondo & Vázquez-Duhalt, 1991; ³Gatenby *et al.*, 2003; ⁴Ben-Amotz *et al.*, 1985; ⁵Metzger & Largeau, 2005; ⁶Sheehan *et al.*, 1998; ⁷Vázquez-Duhalt & Greppin, 1987; ⁸Cohen, 1986; ⁹Gouveia & Oliveira, 2009; ¹⁰Li *et al.*, 2008.

Tabla 7. Cantidad Lipídica de algunas especies de microalgas 2

Fuente: Adriana Garibay Hernández, Rafael Vázquez Duhalt, M del Pilar Sánchez Saavedra, Leobardo Serrano Carreón, Alfredo Martínez Jiménez, "Biodiesel a partir de Microalgas". *BioTecnología* Vol. 13 No 3 Año 2009, Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Pág. 45

2.4 Biodiesel de microalgas

Las microalgas son consideradas como los primeros microorganismos fotosintéticos; existen diversos tipos de microalgas en las superficies marinas pero las de interés para la producción de biodiesel son aquellas capaces de absorber el CO₂ de la atmósfera y los nutrientes del agua, acumulando en su interior grandes cantidades de lípidos.

La forma de reproducción de las microalgas es de forma asexuada, es decir, que se dividen así mismas en dos células capaces de dividirse nuevamente



después de su crecimiento, de la biomasa generada por las microalgas se puede extraer el aceite para la producción del biodiesel mediante la transesterificación del aceite.

Algunas especies de microalgas como la *Botrycoccus brounii*, la *Nannochloropsis* sp y la *Shcizochytrium* sp son capaces de producir más del 65% de aceite bajo determinadas condiciones ambientales.

Una superficie de una hectárea puede llegar a producir hasta 136 900 litros de aceite con microalgas cuya biomasa seca contenga un 70% de aceite, en comparación con una hectárea de suelo fértil para el cultivo de soja que produce 446 litros, para cultivo de maíz se producen 172 litros y para el cultivo de palma 5 366 litros.

La producción de biodiesel proveniente de microalgas podría considerarse como un método particularmente rentable debido a que las microalgas pueden crecer en diferentes tipos de agua y en menor tiempo comparado con cualquier otra planta o semilla oleaginosa, utilizando la luz solar para su desarrollo y absorbiendo los nutrientes presentes en el agua, además, se pueden adaptar a crecer en gran variedad de condiciones ambientales y pueden aportar mayor cantidad de aceite para la producción del biocombustible.

Los niveles de aceite que producen las distintas especies de microalgas son obtenidos mediante la absorción del dióxido de carbono presente en la atmósfera con el cual pueden producir grasas, ácidos grasos poli-insaturados, azúcares etc.; después de la extracción del aceite la biomasa sobrante puede ser aprovechada para la producción de etanol, metanol e incluso después de esto puede llegar a utilizarse como biofertilizante gracias a su contenido en nitrógeno y fósforo.

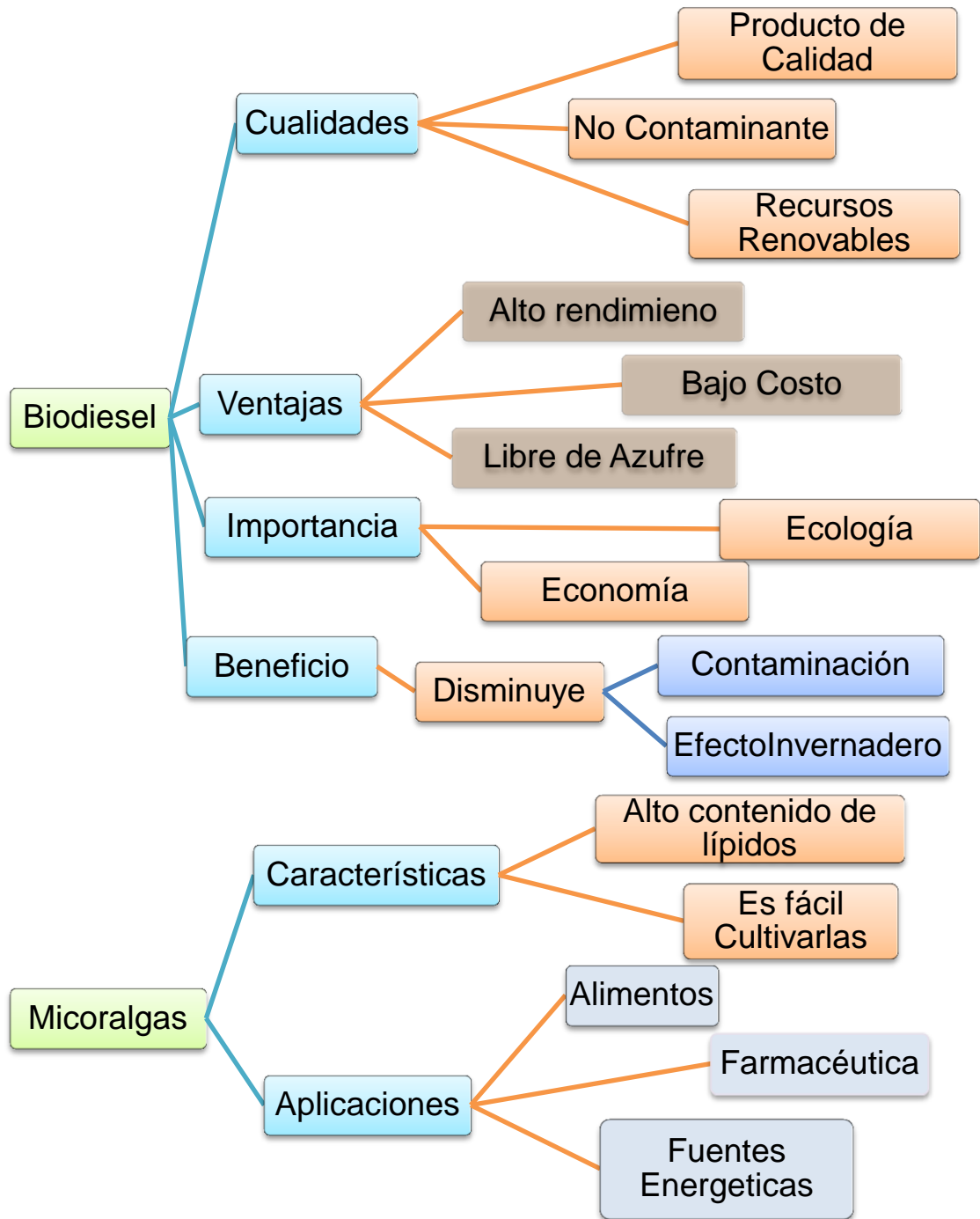
Las microalgas pueden cultivarse en sistemas abiertos que no son más que grandes estanques adaptados para favorecer su crecimiento y además



pueden cultivarse en sistemas cerrados también conocidos como foto bioreactores; en el caso del cultivo en sistemas abiertos los estanques son fáciles de construir y operar, su desventaja se presenta al estar expuestos a las condiciones climáticas de la zona en donde se encuentre el estanque y, además, ocupan mayor extensión territorial a diferencia de los sistemas cerrados con los cuales se puede tener un mejor aprovechamiento de la superficie con la única desventaja de que requieren mayor costo de inversión y mantenimiento.

Es importante considerar que si las microalgas son cultivadas de manera artificial se deben controlar los niveles de luz y temperatura puesto que, si estos dos parámetros no son controlados, el cultivo de las microalgas puede fracasar o no cubrir el porcentaje de lípidos contenidos en la especie de microalga que se está tratando debido a que esto puede favorecer al crecimiento de otros tipos de microorganismos.

De acuerdo a investigaciones se estima que se necesitarían cada año 140 mil millones de biodiesel para cubrir las necesidades cotidianas que por el momento son cubiertas por los combustibles derivados del petróleo; para lograr esto sería necesario contar con gran cantidad de hectáreas disponibles para el cultivo de microalgas y para la construcción de plantas de biodiesel, destacando que el rendimiento dependerá del tipo de microalga que sea cultivada.



En el diagrama anterior se muestra un resumen sobre el biodiesel y las microalgas



2.5 Materia Prima

Los aceites vegetales son la principal materia prima para la producción del biodiesel, sin embargo, también se pueden usar aceites de origen animal e incluso aceites reciclados; los aceites vegetales más comunes utilizados provienen de plantas o semillas oleaginosas como son: la colza, palma, soya, maíz, cacahuate, coco entre otros; no obstante también se puede hacer uso de plantas o microorganismos marinos como las microalgas para producción del biocombustible considerando que estas también cuentan con gran cantidad de lípidos favorables para su producción.

Las microalgas pueden llegar a ser la principal materia prima para la producción de combustibles naturales como el biodiesel, el biometano, hidrogeno y bioetanol. Estos combustibles son libres de azufre y tiene un desempeño similar a los combustibles provenientes del petróleo; además de que ayudan a reducir las emisiones de gran cantidad de gases contaminantes.

La producción de biodiesel se ha desarrollado en diferentes países limitándose únicamente a ciertas semillas o plantas oleaginosas, debido a que estas plantas requieren determinadas condiciones climatológicas para su crecimiento, de esta manera el proceso de producción se torna lento y a largo plazo deja de ser un método sustentable de producción; así mismo la producción de biodiesel derivado de plantas o semillas oleaginosas pone en riesgo la fertilidad del suelo y a su vez el cultivo de estas plantas para consumo humano.

Es por esto que las microalgas comienzan a ponerse a la vanguardia sobre cualquier otro tipo de planta o semilla utilizada para la producción del biocombustible.



En la siguiente tabla se muestran algunos países y la materia prima que utilizan para la producción de biodiesel.

Región	Materia prima
EE.UU.	Soja
Unión Europea	Colza, girasol
Canadá	Colza
África	Jatrofa
India	Jatrofa
Malasia/Indonesia	Palma
Filipinas	Coco
China	Aceite de cocina
España	Linaza
Grecia	Algodón

Tabla 8. Países Productores de Biodiesel y su materia prima Fuente: Tesis 2011. Escuela Superior Técnica del Litoral. "Control de Procesos de Energías Renovables. Procesos de Producción de Biodiesel usando algas, una alternativa para no afectar el ecosistema o la cadena alimentaria, aspectos técnicos y económicos".

En el caso del sureste asiático y Brasil el incremento en la producción de biodiesel a partir de palma y soya, ha ocasionado problemas ambientales por la deforestación de las regiones en donde crecen este tipo de plantas, por tal motivo estos países al igual que muchos otros deberán encontrar un mejor método para la producción de este biocombustible, estando el cultivo de microalgas como la mejor opción.

Materia prima	Productividad De Biodiesel (L/ha/año)	Superficie equivalente requerida (ha x 10 ⁶)	Porcentaje equivalente de la superficie fértil requerida	Porcentaje equivalente de la superficie total (no necesariamente fértil) requerida
Palma	5,950	3.972	16.14	--
Jatropha	1,892	12.490	50.75	6.43
Colza	1,190	19.859	80.69	--
Girasol	952	24.823	100.9	--
Soya	446	52.986	215.3	--
Microalgas ^a	12,000	1.969	8.00	1.01
Microalgas ^b	20,000	1.181	4.80	0.61

^aRendimiento conservador de productividad de biodiesel microalgal acorde con Schenk *et al.* (2008).

^bProductividad de biodiesel microalgal asequible a través de la tecnología actualmente disponible, acorde con Wijffels (2008).

Tabla 9. Comparación de la producción de biodiesel de acuerdo a diferentes plantas oleaginosas Fuente: Adriana Garibay Hernández, Rafael Vázquez Duhalt, M del Pilar Sánchez Saavedra, Leobardo Serrano Carreón, Alfredo Martínez Jiménez, "Biodiesel a partir de Microalgas". BioTecnología Vol. 13 No 3 Año 2009, Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Pág. 45



2.6 Ventajas y Desventajas para el uso de biodiesel

Ventajas



- Es biodegradable, no es tóxico y típicamente produce cerca del 60% menos emisiones de dióxido de carbono; la emisión total de gases contaminantes es 65% menor que las que se emiten con el uso del diesel derivado del petróleo.

- Se puede obtener a través de fuentes renovables así como de aceites reciclados.



- Con el uso de biodiesel se pueden reducir emisiones contaminantes como el monóxido de carbono, dióxido de carbono entre otros.

- Tiene mayor lubricidad por lo que permite alargar la vida del motor y reducir el ruido; con una mezcla de 1% de biodiesel se puede mejorar la lubricidad en un 30%.



- Biocombustible compuesto por ésteres de ácidos grasos para usarse en motores de combustión interna



- Completamente miscible con el petrodiesel en cualquier proporción.
- No es tóxico ni inflamable a condiciones normales.
- Manejo fácil y seguro.

Desventajas

- Las emisiones de óxido de nitrógeno generalmente se incrementan debido al incremento de presión y temperatura en la cámara combustión.
- La potencia del motor disminuye y el consumo de combustible se incrementa debido a que el poder calorífico del biodiesel es menor que el del diesel fósil; se debe considerar que este punto depende de la calidad del biodiesel utilizado.



- El uso del biodiesel por ser un mejor solvente ataca aquellas piezas construidas a partir de caucho o goma.
- El biodiesel no puede ser almacenado por más de 21 días debido a que se degrada con el tiempo.
- Una mezcla mayor al 30% de biodiesel puede presentar problemas de solidificación en frío, con lo cual se obstruiría el sistema de alimentación de combustible del motor.

CAPÍTULO III



Etapas para la Obtención de Biodiesel





3.1 Obtención del biodiesel

El biodiesel se obtiene a partir de la transesterificación de ácidos grasos, la cual consiste en el intercambio del glicerol contenido en los aceites por un alcohol mediante la presencia de un catalizador el cual puede ser un ácido o una base. Para que la reacción de transesterificación se lleve a cabo sin inconvenientes, la temperatura inicial del aceite deberá estar en un rango de 48 a 55 °C.

La reacción de transesterificación es la parte más importante para la obtención de biodiesel, es por eso que se tienen que tener las precauciones necesarias para no alterar las condiciones y variables mediante las cuales se lleva a cabo esta reacción; entre las variables se encuentra, la concentración y el tipo de catalizador, la humedad, el tiempo de reacción y la temperatura.

Las condiciones a las que se puede llevar a cabo esta reacción son: temperatura hasta de 55 °C, agitación entre 200 y 500 rpm, tiempo de reacción 90 min.

La transesterificación se lleva a cabo con el uso de alcoholes de cadena corta, principalmente: metanol, etanol, propanol y butanol; siendo preferible el uso del etanol debido a que puede generarse a partir de productos agrícolas; es renovable y amigable con el ambiente, sin embargo, el metanol es industrialmente más utilizado debido a sus propiedades físicas, químicas.

En la siguiente imagen se muestra la reacción de manera general de un proceso de transesterificación.

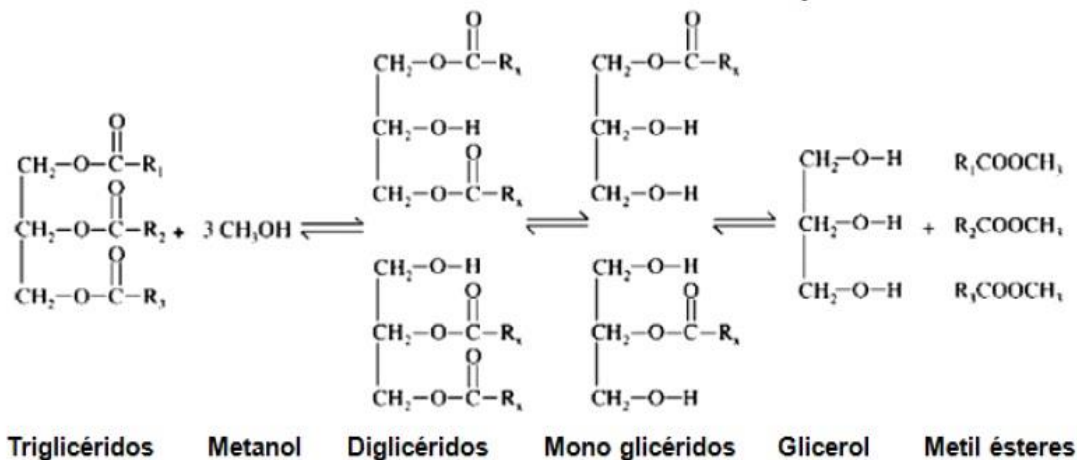


Ilustración 12. Reacción General de Transesterificación Fuente: Fernández-Linares, Luis Carlos; Montiel-Montoya, Jorge; Millán-Oropeza, Aarón; Badillo-Corona, Jesús Agustín "Producción De Biocombustibles A Partir De Microalgas" Ra Ximhai, vol. 8, núm. 3b, septiembre-diciembre, 2012, pág. 107

Una vez elegida la cepa de microalga con mayor rendimiento se hace la extracción del aceite vegetal, el cual puede ser sometido a una refinación para obtenerlo más puro, teniendo el caso de que el aceite sea adquirido de alguna empresa productora se deberá conocer la pureza del aceite ya que si el aceite no es puro puede resultar un biodiesel de mala calidad.

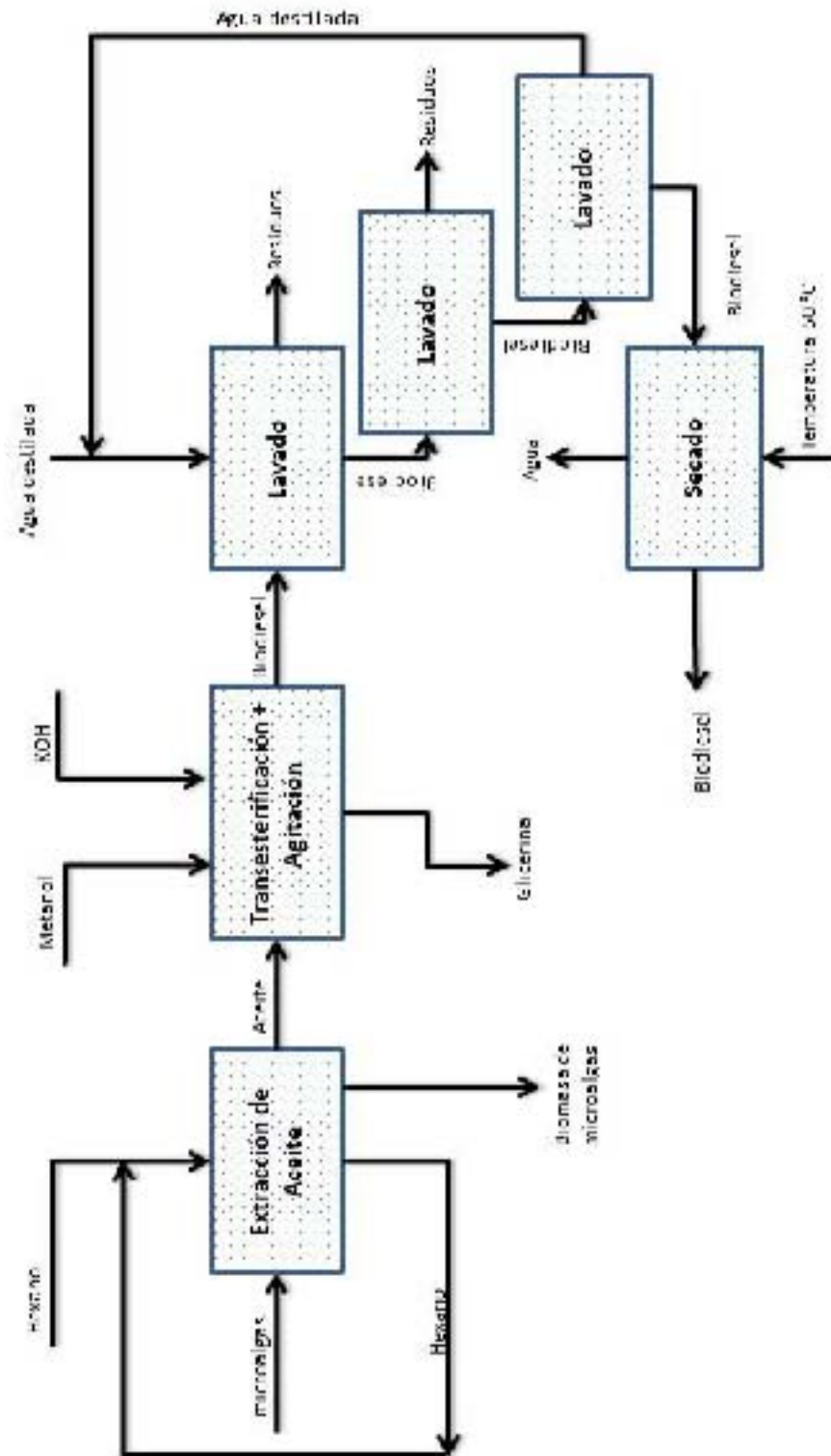
Con el aceite listo se lleva a cabo la reacción de transesterificación de los ácidos grasos; para llevar a cabo esta reacción se debe preparar previamente una mezcla del alcohol con el catalizador utilizado. Teniendo lista esta mezcla se hace reaccionar con el aceite manteniendo las condiciones requeridas por la reacción. Dentro de este proceso se obtiene glicerina como subproducto así como trazas de jabón que llegaron a reaccionar del aceite vegetal con el catalizador.

Cuando la reacción se encuentre finalizada será necesario llevar a cabo la limpieza y secado del biodiesel para eliminar las trazas de glicerina y jabón y así poder determinar la calidad del biodiesel. El cual deberá contar con las propiedades establecidas y a si mismo deberá tener un pH neutro



3.2 Diagrama de Bloques para la obtención de Biodiesel

Diagrama de bloques para la obtención de Biodiesel





Para llevar a cabo esta reacción es necesario contar primordialmente con el aceite del cual obtendremos el biodiesel, así mismo es necesario el uso de un alcohol como el etanol o metanol y además requiere de un catalizador ya sea ácido o base.

Para obtener mejores resultados es recomendable el uso de metanol el cual requiere tener una pureza de al menos 99%, ya que si se usa el metanol con un menor grado de pureza, el biodiesel obtenido sería de mala calidad.

Con respecto al catalizador se puede utilizar Hidróxido de Sodio (NaOH) o Hidróxido de Potasio (KOH); ambo catalizadores son higroscópicos, es decir, que tienen capacidad de absorber la humedad del aire; es por esto que se tiene que ser muy cuidadoso de no dejar a la intemperie estos catalizadores, debido a que la humedad absorbida por el catalizador presenta efectos negativos en la reacción.

La reacción se debe llevar cabo en un rango de temperatura de 48 a 55 °C con una agitación constante durante un tiempo aproximado de 90 min.

3.3.2 Separación

Una vez finalizada la reacción se debe dejar en reposo para lograr la separación del biodiesel y la glicerina; la glicerina forma una capa oscura al fondo quedando el biodiesel sobre esta de un color más claro; cabe señalar que el color de estas dos capas dependerá del tipo de aceite utilizado, considerando esto, el color del biodiesel puede ser de un tono amarillo más claro u opaco.

Cuando la separación del biodiesel y la glicerina se han completado, se pueden separar fácilmente estas dos capas por medio de una decantación siendo cuidadosos de no dejar pasar la glicerina.



3.3.3 Lavado

Después de la separación es importante realizar un lavado del biodiesel con el cual se podrán eliminar los restos de catalizador y neutralizar las partículas de jabón que se encuentren dispersas en el biocombustible. Para llevar a cabo el lavado es conveniente realizarlo con ayuda de ácido acético, ácido fosfórico, etc.

Es conveniente que se realicen tres lavados con agitación constante para asegurar la limpieza total del biodiesel, el primero se debe hacer en presencia del ácido para neutralizar al catalizador, el agua resultante de este lavado deberá tener una apariencia lechosa la cual tendrá que reducirse en el segundo lavado que deberá realizarse con agua libre de impurezas, en el tercer lavado el agua tendrá que ser clara de no ser así será necesario hacer otro lavado del biodiesel; el agua del último lavado podrá ser utilizado para el primer lavado de otro lote de biocombustible.

3.3.4 Secado

Después de haber lavado el biodiesel, este tomará una apariencia opaca debido a las partículas de agua atrapadas en él, es por eso que el lavado se tiene que hacer mediante calentamiento para evaporar el agua presente en el biodiesel hasta que este tome una apariencia clara y cristalina.

Una vez que el biodiesel está limpio y seco podrá ser utilizado teniendo la precaución de que este tenga un pH neutro, de no ser así significa que el biodiesel obtenido no es de la mejor calidad.

3.4 Método Experimental

Se realizó la extracción del aceite de microalgas de una pequeña muestra para determinar si la especie de microalgas obtenida era portadora de lípidos, posteriormente al identificar que si se podía extraer aceite de ellas se procedió a extraer el aceite de una cantidad mayor de microalgas.

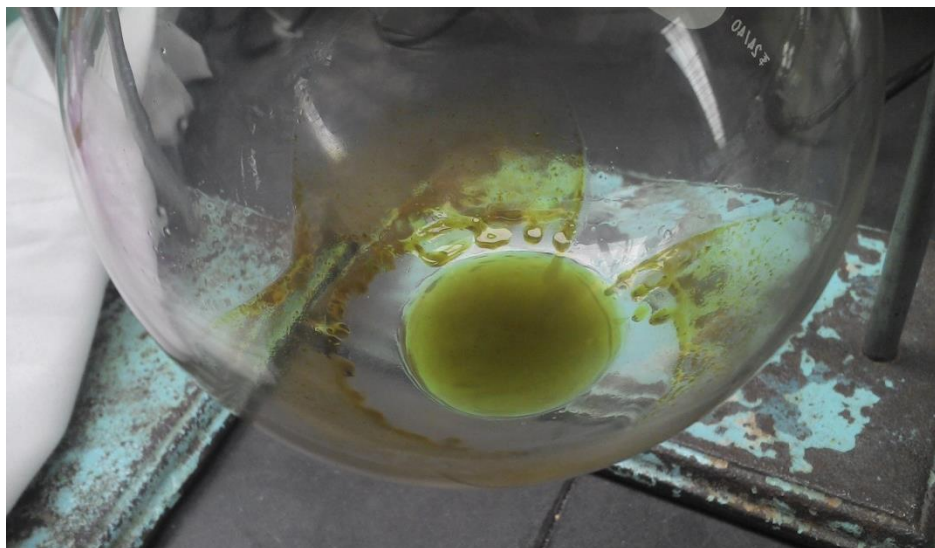


Imagen 4. Aceite de Microalgas extraído por medio de disolventes.

La transesterificación del aceite se realizó con una muestra de 200 ml de aceite de microalgas para lo cual se preparó con anticipación el metóxido de potasio o metilato de potasio con el cual se llevaría a cabo la reacción.

Para una cantidad de 200 ml de aceite fue necesario utilizar 40 ml de metanol y 1.1 g de hidróxido de potasio como catalizador.

Se consideró el uso del hidróxido de potasio debido a que este presenta mejores resultados en la reacción, ya que no absorbe tanta humedad como el hidróxido de sodio, además de que el hidróxido de potasio presenta mayor solubilidad en el metanol.



Para la preparación del metóxido de potasio es necesario contar con un recipiente que pueda cerrarse y que sea resistente, es recomendable el uso de material de vidrio o plástico del tipo HDPE (Polietileno de Alta Densidad).

Se vierten los 40 ml metanol con ayuda de un embudo y posteriormente se agrega 1.1 g de KOH, se tapa el recipiente y se agita hasta disolver la totalidad del hidróxido.

Previamente el aceite se calentó a 55 °C para poder llevar a cabo la reacción, una vez que el aceite alcanzó esta temperatura, se le agregó el metóxido y se comenzó con la agitación constante durante 90 min manteniendo la temperatura a 55 °C.



Imagen 5. Reacción de Transesterificación con aceite de microalgas.

Al momento de agitar se puede notar que la reacción se lleva a cabo por el cambio de color del aceite al momento de mezclarse con el metóxido.

Pasado el tiempo requerido por la reacción se detuvo la agitación y se pudo notar de forma evidente la separación de la glicerina que se desprendió del aceite.

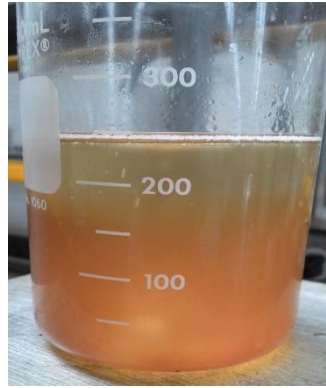


Imagen 6. Separación del Biodiesel y la Glicerina

Se dejó reposar durante 24 horas para que la glicerina se separara totalmente del biodiesel, quedando como una capa más oscura al fondo.

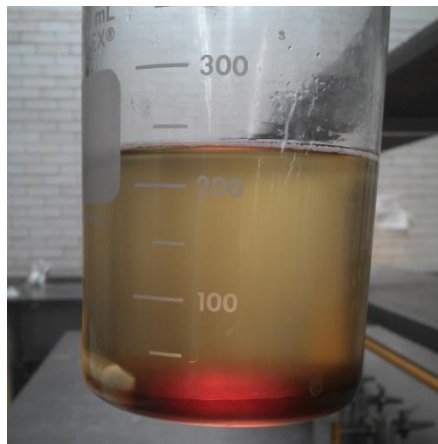


Imagen 7. Separación después de 1h de reposo



Imagen 8. Separación después de 24 h de reposo

Posteriormente con ayuda de un embudo de separación se separó la glicerina del biodiesel.



Imagen 9. Biodiesel Obtenido de la reacción

Cuando se haya separado el biodiesel de la glicerina será necesario realizar los lavados para eliminar el exceso de metanol, jabón y el catalizador.

Para hacer el lavado se requiere de una tercera parte de agua destilada de la cantidad total del biodiesel a lavar. Adicionando en el primer lavado un poco de ácido fosfórico (no es necesario agregar el ácido, pero de no hacerlo se aumenta la cantidad de veces que tiene que lavarse el biodiesel).

El agua deberá verterse en el biodiesel y agitando vigorosamente hasta obtener una mezcla uniforme; en el primer lavado se obtendrá un agua lechosa la cual deberá retirarse del biodiesel con un embudo de separación para poder continuar con el segundo lavado, el cual se tendrá que mezclar de la misma manera con agua limpia y el resultado de esta limpieza es un agua más clara pero de igual forma con restos de impurezas del biodiesel. En el tercer lavado el biodiesel ya no deberá tener impurezas así que el agua del lavado tendrá que ser más cristalina.



Imagen 10 Agua del 1er lavado



Imagen 11. Agua del 2do lavado



Imagen 12. Agua del 3er lavado

Al realizar los tres lavados, si el agua del tercer lavado es clara entonces el biodiesel ha quedado libre de impurezas y se procede a secarlo, es decir, eliminar los restos de agua atrapados en el biodiesel.

Después de haber lavado el biodiesel este tomará un color opaco debido a los restos de agua que aún tiene.



Imagen 13 Biodiesel Lavado

Para eliminar el agua será necesario calentar el biodiesel a 50 °C; el tiempo que se mantendrá a esta temperatura dependerá de la cantidad de agua que contenga; cuando el biodiesel se encuentre completamente seco este tomará una apariencia más clara y cristalina.



Imagen 14 Biodiesel con Agua



Imagen 15 Biodiesel Seco

Cuando el biodiesel este totalmente seco es conveniente medir el pH, un biodiesel puro y listo para ser utilizado deberá tener un pH neutro en caso de no ser así el biodiesel obtenido no es de buena calidad y tendrá que realizarse nuevamente la reacción para eliminar los ácidos grasos que aún pueda contener los cuales podrían ser los causantes de la diferencia de pH en el biodiesel.

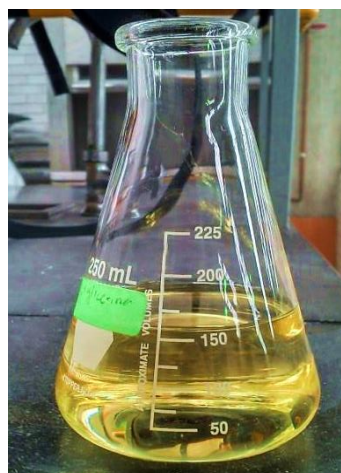
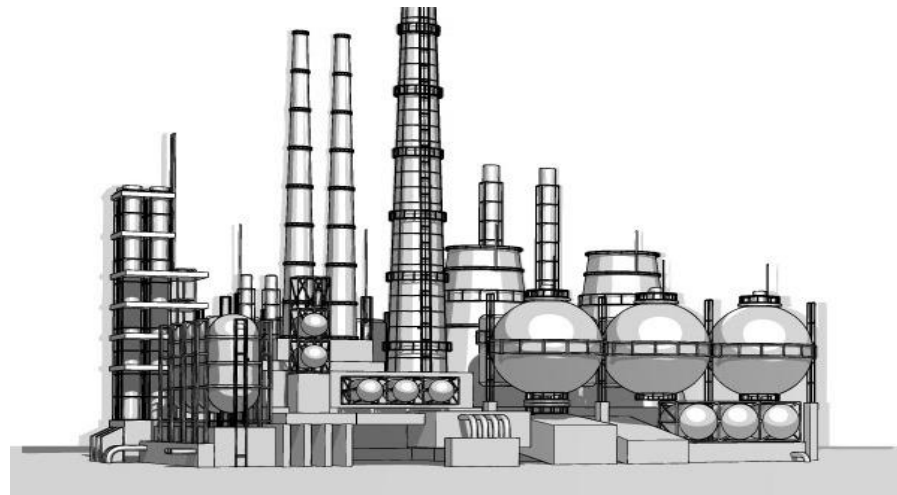


Imagen 16 Biodiesel completamente seco

CAPÍTULO IV



Generalidades de Producción y Costo de Biodiesel





4.1 Producción de biodiesel a nivel mundial

El mercado potencial del biodiesel rebasa por mucho la disponibilidad que se tiene para el cultivo de plantas oleaginosas utilizadas para la extracción de los aceites vegetales; además el uso de estas plantas no basta para cubrir la demanda mundial.

El uso de las plantas oleaginosas afecta en gran parte a la biodiversidad considerando que no se cuenta con una superficie de cosecha amplia que sirva para destinar estas plantas a la producción del biocombustible y al consumo humano.

A pesar de esto, diversos países contribuyen a la producción de biodiesel utilizando diferentes tipos de materias primas y aportando un porcentaje diferente de producción a nivel mundial el cual depende en gran parte del tipo de planta o semilla utilizada para la producción del biodiesel.

Entre los principales países productores de biodiesel se encuentran:

Pais	% de producción a nivel mundial
Alemania	63
Francia	17
Estados Unidos	10
Italia	7
Austria	3

Tabla 10 Principales países productores y porcentaje de producción

Fuente: Tesis 2011. Escuela Superior Técnica del Litoral. "Control de Procesos de Energías Renovables. Procesos de Producción de Biodiesel usando algas, una alternativa para no afectar el ecosistema o la cadena alimentaria, aspectos técnicos y económicos". pág. 7



La producción de biodiesel a nivel mundial varía de acuerdo a las condiciones geográficas de la zona, el cultivo de las plantas oleaginosas depende de las condiciones climatológicas de cada región, sin embargo, el cultivo de microalgas para la producción de biodiesel puede adaptarse a las condiciones requeridas para el crecimiento de las especies de microalgas que se deseen cultivar, sin importar las condiciones externas al proceso.

Pais	Año	Producción (Millones litros/año)	Insumos utilizados	Tipo de uso ²³
Alemania	2005	1.920	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado.	Uso puro en todo tipo de vehículos ²⁴ .
Francia	2005	511	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado.	Mezcla en el diésel: sin etiquetado para uso general (B2) y en flotas cautivas (B30). 10 a 15 millones de automóviles usan B2 en Francia.
Estados Unidos	2005	290	Más del 90% proviene de soya, el resto de grasa amarilla, otros aceites o grasas animales.	B100, B20 y B2 principalmente en flotas cautivas, pero también venta al público y uso en minas subterráneas (por motivos de salud ocupacional).
Italia	2005	227	Girasol y/o aceite de cocina reciclado.	90% del biodiésel se usa puro o mezclado con 20% de diésel fósil, para usos térmicos como calefacción. Inicios en uso para transporte, especialmente flotas cautivas.
China	2004	138	Colza, semilla de algodón, aceite de cocina reciclado.	Exportado a Hong Kong, uso principal en flotas cautivas.
República Checa	2002	63	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado.	Mezcla de diésel con 30% a 40% de biodiésel.
Australia	2004	36	Aceite de cocina reciclado, grasas animales.	
Austria	2005	30	Colza y/o aceite de cocina reciclado.	Mezcla de biodiésel de colza con diésel, o biodiésel puro de aceite de fritura ²⁴ .
España	2002	7	Girasol, aceite de cocina reciclado.	Flotas cautivas.
Dinamarca	2002	5	Colza, girasol, y/o aceite de cocina reciclado.	

Tabla 11 Producción de Biodiesel a Nivel Mundial

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos58/produccion-biodiesel/produccion-biodiesel2.shtml>

En la tabla anterior se muestran los principales países que producen biodiesel, la cantidad producida en millones de litros por año, los principales recursos utilizados y los usos que se le dan al producto.



4.2 Situación en México

La producción de biodiesel a escala comercial puede ser factible en México en el mediano plazo de realizar acciones integrales que deben incluir aspectos técnicos, económicos y medioambientales, de concentración con el sector agrario y agroindustrial así como un esfuerzo importante en investigación y desarrollo tecnológico.⁴

El análisis económico muestra que en todos los casos los precios de producción del biodiesel son mayores que el costo de oportunidad del diesel comercializado por PEMEX. En este sentido la situación en México no es muy diferente a la de otros países, pero es más evidente dado el bajo costo del diesel de petróleo, el cual cuenta incluso con subsidios especiales dentro del sector agrícola. Los costos de producción de biodiesel tienen un rango de entre \$ 5.3 a 12.4 pesos por litro equivalente. Los cultivos más competitivos son la palma, girasol y soya.⁵

Los costos de los insumos agrícolas representan entre el 59% y el 91% de los costos de producción de biodiesel, en muchos casos estos costos dependen de la posibilidad de vender los subproductos obtenidos.⁶

Para que el uso de biocombustibles en México sea benéfico para la sociedad y el medio ambiente es necesario garantizar:

⁴ Texto extraído de la Secretaría de Energía. “Potenciales y Viabilidad del uso de Bioetanol y Biodiesel para en Transporte en México” <http://www.bioenergeticos.gob.mx/descargas/SENER-BID-GTZ-Biocombustibles-en-Mexico-Estudio-completo.pdf>

⁵ Texto extraído de la Secretaría de Energía. “Potenciales y Viabilidad del uso de Bioetanol y Biodiesel para en Transporte en México” <http://www.bioenergeticos.gob.mx/descargas/SENER-BID-GTZ-Biocombustibles-en-Mexico-Estudio-completo.pdf>

⁶ Texto extraído de la Secretaría de Energía. “Potenciales y Viabilidad del uso de Bioetanol y Biodiesel para en Transporte en México” <http://www.bioenergeticos.gob.mx/descargas/SENER-BID-GTZ-Biocombustibles-en-Mexico-Estudio-completo.pdf>



- Que se contribuya al bienestar económico es decir, los costos deberán ser relativamente bajos comparados con los combustibles fósiles.
- Evite el impacto medioambiental (aire, agua y suelo).
- Reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero.
- No requiera de grandes subsidios.
- No afecte en la producción de alimentos o afecte negativamente al mercado de la materia prima.
- No afecte la biodiversidad o contribuya a la deforestación.
- No degrade o agote los recursos naturales (suelos fértiles)

Todos estos aspectos podrían ser cubiertos con la producción de biodiesel de microalgas; aunque en un principio se requeriría de una inversión adicional por la tecnología para el cultivo de las microalgas, en un futuro podría recuperarse esa inversión y se verían reflejados todos los beneficios que las microalgas ofrecen para la producción de biodiesel.



4.2.1 Costo Actual de los Combustibles Fósiles

Los combustibles fósiles en la actualidad tienen una tendencia a incrementar su valor debido a los altos costos que requieren para su procesamiento.

En la siguiente gráfica se muestra una comparación sobre los precios de la gasolina entre Estados Unidos y México; en la gráfica se puede observar la tendencia que genera el costo de la gasolina en México desde el año de 1976 hasta 2013 el cual sigue en aumento en los próximos años.

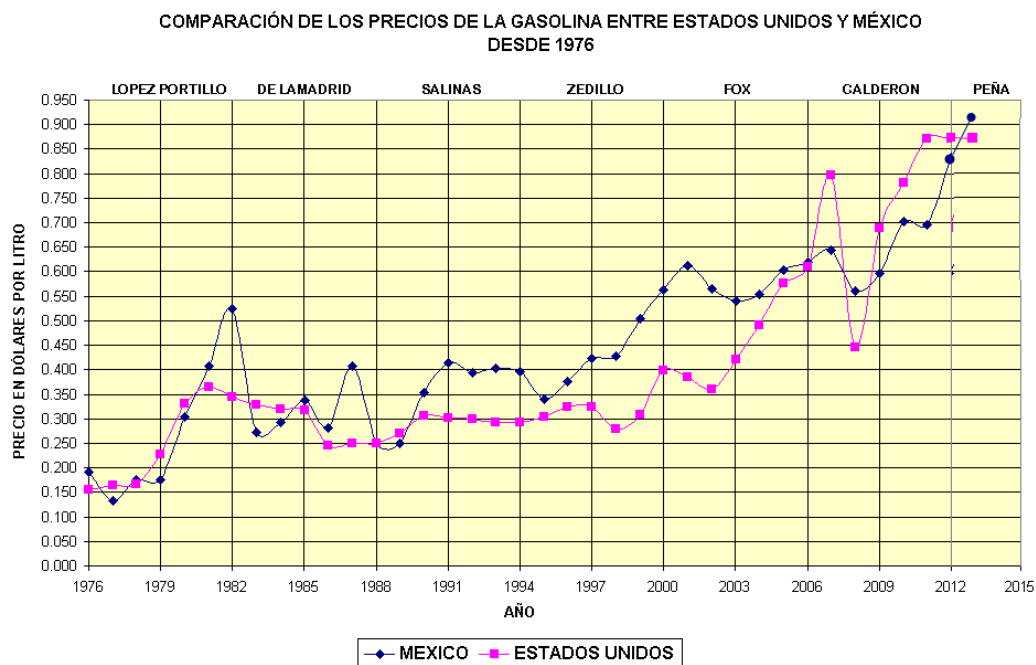


Figura 4 Tendencia de aumento del precio de la gasolina en México y EU.⁷

Fuente: <http://www.mexicomaxico.org/Voto/GasolMexUSA.htm>

En la actualidad los precios de los combustibles fósiles siguen incrementando logrando superar los \$13 por litro dependiendo el tipo de combustible.

NUEVOS PRECIOS	
PRODUCTO	APLICA 06 SEP 2014
PEMEX Magna <small>SIN PLOMO</small>	\$ 13.04
PEMEX Premium <small>SIN PLOMO</small>	\$ 13.78
PEMEX Diesel	\$ 13.61

Figura 5 Lista de Precios de Combustibles convencionales a partir del 6 de Septiembre de 2014.

Fuente: Asociación Mexicana de Empresarios Gasolineros A.C.

⁷ Elaborado por: Ing. Manuel Aguirre Botello. <http://www.mexicomaxico.org/voto/GasolMexUSA.htm>



En la siguiente figura se muestra una proyección del costo de las gasolinas hasta finales de 2014 realizada por la Asociación Mexicana de Empresarios Gasolineros A.C.

Incrementos en Precios de Gasolinas y Diesel en 2014						
	PEMEX Magna	PEMEX Premium	PEMEX Diesel			
Precios al 31 Dic 2013	12.13	12.69	12.49			
PRECIOS AL PÚBLICO			INCREMENTOS			
Fecha de incremento	PRECIOS PUBLICO			2014		
	PEMEX Magna	PEMEX Premium	PEMEX Diesel	PEMEX Magna	PEMEX Premium	PEMEX Diesel
01-ene-14	12.32	12.90	12.73	\$ 0.19	\$ 0.21	\$ 0.24
01-feb-14	12.41	13.01	12.84	\$ 0.09	\$ 0.11	\$ 0.11
01-mar-14	12.50	13.12	12.95	\$ 0.09	\$ 0.11	\$ 0.11
05-abr-14	12.59	13.23	13.06	\$ 0.09	\$ 0.11	\$ 0.11
03-may-14	12.68	13.34	13.17	\$ 0.09	\$ 0.11	\$ 0.11
07-jun-14	12.77	13.45	13.28	\$ 0.09	\$ 0.11	\$ 0.11
05-jul-14	12.86	13.56	13.39	\$ 0.09	\$ 0.11	\$ 0.11
02-ago-14	12.95	13.67	13.50	\$ 0.09	\$ 0.11	\$ 0.11
06-sep-14	13.04	13.78	13.61	\$ 0.09	\$ 0.11	\$ 0.11
Aumento en 2014	\$ 0.91	\$ 1.09	\$ 1.12	\$ 0.91	\$ 1.09	\$ 1.12
Impacto hasta hoy	7.5%	8.6%	9.0%			
Proyección Precios en 2014						
04-oct-14	13.13	13.89	13.72	\$ 0.09	\$ 0.11	\$ 0.11
01-nov-14	13.22	14.00	13.83	\$ 0.09	\$ 0.11	\$ 0.11
Al 31 de Diciembre 2014	13.31	14.11	13.94	\$ 0.09	\$ 0.11	\$ 0.11
Aumento Anual 2014	\$ 1.18	\$ 1.42	\$ 1.45	\$ 1.18	\$ 1.42	\$ 1.45
Incremento 2014	9.7%	11.2%	11.6%			

Figura 6 Proyección sobre el precio de la gasolina hasta Diciembre de 2014 Fuente: Asociación Mexicana de Empresarios Gasolineros A.C.



4.3 Precio de producción de biodiesel

En la producción de biodiesel deberán considerarse los costos de aquellas sustancias que se requieren en la reacción⁸.

- Metanol (CH₃OH): 3.630 pesos por litro
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄): 1,330 pesos por tonelada
- Hidróxido de potasio (KOH): 9,970 pesos por tonelada
- Metilato de sodio (NaOCH₃ en H₃OH): 8.310 pesos por kg
- Electricidad: aproximadamente: 0.75 pesos por kW.
- Gas natural (producción en gran escala): 75 pesos por MJ.
- Diésel (producción en pequeña escala): 5.50 pesos por litro.

Considerando un aproximado de estos precios reportados por la SAGARPA el coste de producción de biodiesel resultaría de 5.50 pesos por cada litro producido. Aun así este precio puede variar tomando en cuenta el tipo de planta o aceite que se utilice para la producción; en caso del aceite de microalgas dependerá de la cepa de microalgas cultivadas y de la cantidad de lípidos que estas aporten.

4.4 Costos de biodiesel de algas

En un estudio realizado en Hawái se logró determinar que en la producción de biodiesel a partir de microalgas el coste medio es de 3.34 pesos por litro e incluso podría reducirse si la producción se realiza a gran escala.

Estudios Realizados en Europa demostraron que la producción de biodiesel a partir de microalgas podría alcanzar un valor de 0.34 Euros por litro producido y puede ser vendido en 0.72 Euros por litro; de igual manera el costo de producción podría disminuir si el proceso se realiza en gran escala.

⁸ <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/biodiesel/costos-del-proceso-de-produccion.html>



Cotizando el Euro en \$16.88⁹, el valor de producción de biodiesel a partir del aceite de microalgas sería de \$ 5.73 por litro producido, y el precio de venta sería de \$12.15 por cada litro logrando una ganancia de \$6.42 por cada litro vendido.

El precio de producción puede variar dependiendo del tipo de microalgas utilizadas para la reacción.

4.5 Factibilidad económica del biodiesel

La dependencia energética del petróleo es algo que hoy en día crece más y más a pesar de los inconvenientes que esto conlleva. Los altos costos del petróleo provocan que los combustibles derivados de él, se disparen haciendo cada vez más caros estos combustibles logrando hacer más factibles aquellos métodos de producción de energía renovable.

La producción de biodiesel de microalgas resultaría ser más factible en una región cuyo entorno favorezca el crecimiento de las microalgas como son las zonas cálidas del país, de acuerdo con esto el crecimiento de las microalgas podría lograrse en estanques abiertos lo cual reduciría en gran parte el costo de cultivo de las microalgas.

Para lograr costes menores para la producción de biodiesel de microalgas es importante también que las regiones en donde se producirá el biodiesel, además de tener las condiciones adecuadas para el cultivo de las microalgas, deberá ser una zona productora de alguno de los alcoholes utilizados para la reacción; al ser una región productora de alcohol se reducen los costos de este por concepto de transportación y distribución haciendo más barato el costo del alcohol en la zona.

⁹ Cotizado el 16.09.2014. Fuente:
http://www.banamex.com/economia_finanzas/es/divisas_metalos/divisas_mundiales.htm



Todo indica que los costos de producción del biodiesel de microalgas pueden ser altos, sin embargo la rentabilidad puede llegar a superar los costos de la inversión inicial y en un promedio de 5 años se podría recuperar la totalidad de la inversión.

Posiblemente un costo de producción de 5.50 pesos por litro de biodiesel no parezca algo rentable considerando los actuales costos de producción de los combustibles fósiles, sin embargo, la tendencia de los combustibles provenientes del petróleo conlleva al aumento de los precios de estos combustibles haciendo ver más factible la producción del biodiesel; además, tomando como referencia los costos de producción y venta europeos, la producción de biodiesel en México sería \$0.23 por cada litro más económico y aun vendiéndose al mismo precio que en Europa \$12.15, el precio de venta estaría por debajo de los precios de las gasolinas de hoy en día.

Además es importante considerar que con la producción de biodiesel también se obtienen otros subproductos los cuales pueden venderse logrando de esta manera recuperar la inversión en menor tiempo e incluso la venta de los subproductos favorece a la venta del biodiesel con un menor costo.



Resultados y Análisis

La transesterificación es un método efectivo para la obtención de biodiesel, sin embargo, no se puede esperar buenos resultados de esta reacción si no se lleva a cabo bajo las condiciones adecuadas, los factores que influyen para que la reacción sea eficiente son: la temperatura de la reacción, tipo de alcohol utilizado, acidez del aceite, tipo de catalizador, concentración del catalizador, tiempo de reacción, humedad del medio ambiente.

Comercialmente el metanol es el alcohol más utilizado para la transesterificación, aunque se pueden utilizar otros como el etanol, propanol, butanol etc., el uso del etanol para esta reacción depende de los costos de otros alcoholes de acuerdo con esto el etanol es el alcohol más barato aunque este no presenta el mismo desempeño en la etapa de separación.

En el método experimental se realizaron pruebas con metanol y etanol, presentando diferentes resultados, cabe señalar que con ambos alcoholes se logró la conversión de los ácidos grasos a biodiesel. Se pudo observar que durante la reacción se forma una emulsión que desaparece formando dos fases líquidas cuando se utiliza metanol, a diferencia del etanol, esta emulsión permanece evitando la separación de las fases.

De acuerdo a las diferentes pruebas realizadas se puede determinar que cuando se utiliza etanol para la reacción es mejor utilizar NaOH como catalizador, debido a que se incrementa la solubilidad del alcohol en el aceite.

El tipo de catalizador y la concentración de este mismo dependerán de la naturaleza del aceite; la concentración del catalizador depende de igual manera del grado de pureza del alcohol utilizado.

Cuando se prepara el Metóxido de Sodio, en el caso de utilizar metanol e Hidróxido de Sodio para la transesterificación, se debe preparar en un



recipiente cerrado y se recomienda mantener las condiciones requeridas por la reacción, ya que el uso del metóxido de sodio favorece la aparición de jabón al ponerse en contacto con el aceite, debido a que en la preparación del metóxido se produce una pequeña cantidad de agua la cual favorece la saponificación.

Así como el Hidróxido de Sodio, el Hidróxido de potasio también es capaz de catalizar la reacción; de acuerdo al método experimental se puede considerar que el uso del KOH y el metanol presentan mejores resultados para la obtención de biodiesel, y además se logró obtener un producto de mejor calidad.

Las pruebas realizadas con etanol para la transesterificación resultaron poco efectivas, aun manteniendo controladas las condiciones requeridas por la reacción se obtuvo un biodiesel de baja calidad, a diferencia del biodiesel obtenido con el uso de metanol.

De esta manera se pudo observar que a nivel laboratorio para realizar la transesterificación del aceite de microalgas es conveniente el uso de metanol + hidróxido de potasio, puesto que con esta combinación se obtuvo un biodiesel de mejor calidad.

Para la reacción se utilizaron 200 ml de aceite de microalgas, 40 ml de metanol con un grado de pureza del 98% y 1.1 g de KOH como catalizador. Después de la reacción se obtuvieron 200 ml de biodiesel y 40 ml de glicerina. Así que se puede considerar que la cantidad de alcohol utilizada en la reacción es proporcional a la cantidad de glicerina obtenida.



Conclusiones

El biodiesel de microalgas podría parecer en un principio como una fuente energética la cual no tendría futuro comparado con las demás, sin embargo, los países productores de biodiesel podrían comenzar a utilizar las microalgas para la producción de biodiesel, considerando que el proceso de producción de biodiesel a partir microalgas es igual al que se utiliza para la producción del biocombustible con cualquier otra semilla o planta oleaginosa, sin embargo, la mejor manera de producir este biocombustible sin dañar los ecosistemas es que cada empresa sea capaz de producir su materia prima principal, lo cual lleva a una inversión adicional para el acondicionamiento de sistemas de cultivo de microalgas en las plantas productoras. Esta inversión podrá recuperarse en un futuro considerando que las empresas serán productoras de su propia materia prima y además el volumen de aceite extraído de las microalgas es mayor que el que se obtiene de las demás semillas; de esta manera se podrá incrementar el volumen de producción de este biocombustible.

Así mismo para lograr la mayor producción de biodiesel es recomendable el cultivo de las siguientes microalgas, *Botryococcus Braunni*, *Chlorella emersoni*, *Nannochloropsis salina*, *Nannochloropsis sp*, las microalgas verdes del tipo *Chlorophyceae* y las *Diatomeas* las cuales son aquellas con mayor cantidad de lípidos que va entre el 63 y el 86% en peso seco de ácidos grasos

A pesar de existir diferentes métodos para la producción de biodiesel la transesterificación es uno de los más utilizados gracias a su sencillez y a la gran capacidad que tiene para transformar los ácidos grasos en biodiesel.

El biodiesel a pesar de ser utilizado con frecuencia en motores diesel; siendo de buena calidad, podría ser utilizado en motores de gasolina, por el momento solo puede ser utilizado en pequeñas cantidades o como aditivo,





sin embargo el futuro del biodiesel promete que todo tipo de vehículos sin importar el tipo de motor que tenga puedan llegar a utilizar este biocombustible suplantando en su totalidad los combustibles fósiles.



Bibliografía

Libros

- Bart Juan J.C., Palmeri Natale and Cavallero Stefano, *Biodiesel Science and Technology: From Soil to Oil*, Woodhead Publishing 2010, pgs. 20,50,52,90.
- Tesis 2009. Universidad Nacional de Colombia. Jaramillo Obando Juan Jacobo. “*Evaluación Técnico-Económica de la Producción de Biocombustibles a partir de microalgas*”. Pág. 36-114
- Tesis. IPN 2010. Uribe Gómez Morayma. “*Simulación de un Planta Piloto para la Producción de Biodiesel en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la ESIQUIE*”. Pág. 17-22,60-72
- Tesis 2011. Escuela Superior Técnica del Litoral. Torres Badillo Ronnie Gonzalo, Gregorio Flores Tomalá Daniel. “*Control de Procesos de Energías Renovables. Procesos de Producción de Biodiesel usando algas, una alternativa para no afectar el ecosistema o la cadena alimentaria, aspectos técnicos y económicos*”. Pág.51-91

Artículos

- Arias Peñaranda Martha Trinidad, M.C. Martínez Roldán Alfredo De Jesús, M.C. Cañizares Villanueva Rosa Olivia. “*Producción de Biodiesel a partir de microalgas: parámetros del cultivo que afectan la producción de lípidos*”. Act. Biol. Colomb. Vol. 18 no. 1-2013 pág. 43-68.
- Anónimo. “*Microalgas para la Producción de Biocombustibles y otras aplicaciones: una revisión*”. Panorama Acuícola Magazine, 21 de Abril de 2010. Disponible en:
http://www.panoramaacuicola.com/articulos_y_entrevistas.html?fecha=2010-04





- Fuentes-Grünewald Claudio, Garcés E., Alacid E., Rossi S. y Camp. J. “Usos de microalgas marinas para la producción de Biodiesel en Chile”. Socializar Conocimientos pág. 107-112
- Reporte. Navarrete Fernando, Demarco Adrián. “Modelo de Producción de Biodiesel a partir de Algas en Argentina”. Universidad Argentina de la Empresa.
- Anónimo. “Los biocombustibles en México”, Centro Mario Molina pág. 1-5
- Ing. Feliz Fernández. Jorge “Ciclo Brayton Turbinas a Gas”. Editorial de la universidad Tecnológica Nacional. pág. 2-33
- Ing. D. Paredes Hernán. “Producción de Biodiesel de Alta Calidad” foro de Análisis de la Industria de Aceites Grasas y Proteínas. 22 de Octubre de 2008. Disponible en: www.crowniron.com
- Garibay Hernández Adriana, Vázquez Duhalt Rafael, Sánchez Saavedra M. del Pilar, Serrano Carreón Leobardo, Martínez Jiménez Alfredo, “Biodiesel a partir de Microalgas”. *BioTecnología Vol. 13 No 3 Año 2009, Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Pág. 38-56*
- Dickson Adrián. “BIODIESEL: Generalidades y Producción a pequeña escala”. Taller de Diseño, Comunicación y Representación Gráfica Año 2011.
- Vargas González Miguel, “Biodiesel”. Dirección de Ahorro de Energía en el Transporte, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía Diciembre de 2007.pág 1-11
- Mtra. Gamboa Montejano Claudia. “Biocombustibles”. *Centro de Documentación, Información y Análisis. Cámara de Diputados LX Legislatura SPI-ISS-15-09. Junio de 2009.*



- Loera-Quezada Maribel M. y J. Olguín Eugenia. “Las microalgas oleaginosas como fuente de Biodiesel: retos y oportunidades. 2010. *Rev. latinoam Biotecnol Amb Algal* 1 (1). Pág. 91-116.
- Fernández Linares Luis Carlos; Montiel Montoya Jorge; Millán Oropeza Aarón, Badillo Corona Jesús Agustín. “Producción De Biocombustibles A Partir De Microalgas” *Ra Ximhai*, vol. 8, núm. 3b, Septiembre-Diciembre, 2012, pág. 101-115.

Simposio

- Dr. Rodríguez Vicente. “Nanomateriales para la inactivación fotoasistida de algas marinas toxicas”. En: VI Simposio CINVESTAV/ SIGMA ALDRICH 2014 Ingeniería Química, Biológica y Medica. Cinvestav, Unidad Zacatenco 28 de Mayo 2014

Web

- Laplace Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla. Ciclo Brayton. Disponible en:
http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Brayton Consultada el 26 de Abril de 2014.
- “Ciclo real de Otto”. http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4932/html/22_ciclo_real_de_otto.html consultado 26 de Abril de 2014
- Kessel Nelson. “ASTM establece las normas para el biodiesel [en línea]”. Enero/Febrero 2009. Disponible en:
http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/nelson_spjf09.html Consultada el 28 de Abril de 2014.
- SAGARPA. “costos del Proceso de Producción” Junio de 2011. Disponible en:
<http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/biodiesel/costos-del-proceso-de-produccion.html> Consultada el 13 de Septiembre de 2014
- <http://www.sefome.gob.mx/psefome/> Consultada el 13 de Septiembre de 2014





- SEDEMA. Contribución de emisiones contaminantes por sector (precursores de ozono y partículas).
<http://www.aire.df.gob.mx/default.php?opc=%27ZKBhnmI=%27>
Consultada el 16 de Septiembre de 2014
- “Hoja de Seguridad del Hidróxido de Sodio”
<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/2hsnaoh.pdf> Consultada el 18 de Septiembre de 2014
- “Hoja de Seguridad del Metanol”
<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/9metanol.pdf> Consultada el 18 de Septiembre de 2014
- “Hoja de Seguridad del Etanol”
<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/12etanol.pdf> Consultada el 18 de Septiembre de 2014
- “Hoja de Seguridad de la Glicerina”
<http://www.ctr.com.mx/pdfcert/Glicerina.pdf> Consultada el 18 de Septiembre de 2014
- “Hoja de Seguridad del Hidróxido de Potasio”
<http://www.uacj.mx/IIT/CICTA/Documents/Acidos/Hidroxido%20de%20Potasio.pdf> Consultada el 18 de Septiembre de 2014
- “Hoja de Seguridad del Biodiesel”
http://www.biosc.com.co/rsc/hoja_seguridad_biodiesel.pdf Consultada el 18 de Septiembre de 2014



ANEXO A

Hojas de Seguridad



BIODIESEL

Nombre común: Biodiesel

1. Composición/Indicaciones de los componentes

Descripción Química: Esteres metílicos de ácidos grasos

Fórmula: C14-C24 Metilester

Familia química: CAS No. 67784-80-9

2. Datos físicos

Punto de ebullición: Superior a 204°C a 1760 mmHg.

Punto fusión: -1°C

Presión de vapor: inferior a 1 mm Hg a 72°C

Densidad relativa: 0.82 -0,88 a 15°C (ASTM D-4052)

Viscosidad: 2-4.5 cSt. A 40°C (ASTM D-445)

Propiedades explosivas: Límite inferior explosivo 1.3%. Límite superior explosivo 6 %

Solubilidad en agua: Despreciable a temperatura ambiente

Olor y apariencia: Líquido amarillo-anaranjado (color 2 ASTM D-1500) a temperatura ambiente. Ligero olor a aceite de fritura

3. Posibles peligros

Este producto no contiene componentes peligrosos

Inhalación: Despreciable

Ingestión: Id<50 ml/ng (ratas albinas)

Contacto con los ojos: Productos similares no están clasificados como irritantes

Contacto con la piel: No clasificado como irritante de la piel o corrosivo

4. Medidas de primeros auxilios

Ingestión: Aclarar la boca con agua. No provocar vómito. Buscar atención médica. No dejar ingerir nada a una persona inconsciente, puede provocar irritación gastrointestinal.

Inhalación: Llevar la persona fuera de la zona contaminada y a un lugar



fresco. Buscar atención médica.

Contacto con los ojos: Aclarar los ojos con agua abundante durante 15 minutos. No dejar que la persona se frote los ojos. Si la víctima usa lentes de contacto retirarlos. Si la irritación persiste buscar atención médica.

5. Medidas de protección para la extinción de incendios

Utilizar agua, productos químicos secos, espuma o CO₂. El agua puede ser no efectiva pero debe usarse para mantener frescos los recipientes expuestos al fuego. Si un derrame no se ha inflamado, utilizar agua para dispersar los vapores.

6. Precauciones en el manejo y almacenamiento

Almacenar el producto en contenedores cerrados en un área fresca, seca, aislada y bien ventilada, lejos de fuentes de ignición y materiales incompatibles. Este producto puede soportar elevadas temperaturas y/ o presiones.

7. Protección personal

Medidas de control: Ventilación adecuada

Protección respiratoria: No aplicable

Ropa protectora: No aplicable

Protección de los ojos: Gafas de seguridad

Otras protecciones personales: Lavar la ropa impregnada. Lavarse las manos con agua y jabón tras su manipulación.

8. Consideraciones sobre la eliminación

El residuo debe ser eliminado a través de una empresa de residuos homologada. El material contaminado debe ser eliminado de igual modo. Siga las regulaciones estatales en legislación de residuos industriales.

9. Información sobre el transporte

No peligroso para el transporte por carretera

No peligroso para el transporte Marítimo

No peligroso para el transporte Aéreo



Metanol

FORMULA: CH₄O, CH₃OH

PESO MOLECULAR: 32.04 g/mol

COMPOSICION: C: 37.48 %, H: 12.58 % y O: 49.93 %

1. GENERALIDADES:

Es un líquido incoloro, venenoso, con olor a etanol y cuando está puro puede tener un olor repulsivo. Arde con flama no luminosa. Es utilizado industrialmente como disolvente y como materia prima en la obtención de formaldehído, metil-ter-butil éter, ésteres metílicos de ácidos orgánicos e inorgánicos. También es utilizado como anticongelante en radiadores automovilísticos; en gasolinas y diesel; en la extracción de aceites de animales y vegetales y agua de combustibles de automóviles y aviones; en la desnaturalización de etanol; como agente suavizante de plásticos de piroxilina y otros polímeros y como disolvente en la síntesis de fármacos, pinturas y plásticos.

2. NUMEROS DE IDENTIFICACION:

CAS: 67-56-1

3. PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS:

Densidad (g/ml): 0.81 g/ml (0/4 °C), 0.7960 (15/4 °C), 0.7915 (20/4°C), 0.7866 (25/4oC)

Punto de fusión: -97.8 °C

Punto de ebullición (°C): 64.7 (760 mm de Hg), 34.8 (400 mm de Hg), 34.8 (200 mm de Hg), 21.2 (100 mm de Hg), 12.2 (60 mm de Hg), 5 (40 mm de Hg), -6 (20 mm de Hg), -16.2 (10 mm de Hg), -25.3 (5 mm de Hg), -44 (1 mm de Hg)

Índice de refracción a 20 °C: 1.3292

Densidad de vapor (aire = 1): 1.11

Punto de inflamación en copa cerrada (Flash point): 12 °C

Punto de congelación: -97.68 °C.

Temperatura de ignición: 470 °C

Límites de explosividad (% en volumen en el aire): 6-36.5

Temperatura crítica: 240 °C

Presión crítica: 78.5 atm

Volumen crítico: 118 ml/mol





Calor de formación (kJ/mol): -239.03 (líquido a 25 °C).
Energía libre de formación (kJ/mol): -166.81 (líquido a 25 °C).
Calor de fusión (J/g): 103
Calor de vaporización en el punto de ebullición (J/g): 1129
Calor de combustión (J/g): 22 662 (a 25 °C)
Temperatura de autoignición: 380 °C
Tensión superficial (din/cm): 22.6
Calor específico (J/g K): 1.37 (vapor a 25 °C) y 2.533 (líquido a 25 °C)
Presión de vapor (mm de Hg): 127.2 (a 25 °C)
Viscosidad (cP): 0.541 (líquido a 25 °C)
Momento dipolar: 1.69
Constante dieléctrica: 32.7 (a 25 °C)
Conductividad térmica (W/m K): 0.202 (a 25 °C)
Forma azeótropos con muchos compuestos

4. PROPIEDADES QUIMICAS:

Este producto reacciona violentamente con bromo, hipoclorito de sodio, dietil-zinc, disoluciones de compuestos de alquil-aluminio, trióxido de fósforo, cloruro cianúrico, ácido nítrico, Peróxido de hidrógeno, sodio, ter-butóxido de potasio y perclorato de plomo. En general, es incompatible con ácidos, cloruros de ácido, anhídridos, agentes oxidantes, agentes reductores y metales alcalinos.

5. NIVELES DE TOXICIDAD:

RQ: 5000
IDLH: 25000 ppm
LDLo (oral en humanos): 4.28 mg/Kg
LD50 (oral en ratas): 5628 mg/kg
LC50 (inhalado en ratas): 64000 ppm/4h
LD50 (en piel con conejos): 15800 mg/kg
Niveles de irritación a piel de conejos: 500 mg/24 h, moderada.
Niveles de irritación a ojos de conejos: 40 mg, moderada.
México:
CPT (en piel): 260 mg/m³ (200 ppm)
CCT (en piel): 310 mg/m³ (250 ppm)



6. MANEJO:

Equipo de protección personal: El manejo de este producto debe hacerse en un lugar bien ventilado, utilizando bata, lentes de seguridad y, si el uso es prolongado, guantes. No deben usarse lentes de contacto al utilizar este producto. Al trasvasar pequeñas cantidades con pipeta, utilizar propipetas, NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA.

7. RIESGOS:

Riesgos de fuego y explosión:

Es un producto inflamable. Sus vapores pueden explotar si se prenden en un área cerrada y pueden viajar a una fuente de ignición, prenderse y regresar al área donde se produjeron en forma de fuego. Los contenedores pueden explotar.

Riesgos a la salud:

El envenenamiento puede efectuarse por ingestión, inhalación o absorción cutánea y, se debe posiblemente a su oxidación a ácido fórmico o formaldehído, esta oxidación se sabe que puede ser inhibida por etanol, pues el etanol es metabolizado de manera muy específica y desintoxica al organismo de metanol por medio de la respiración. Después de la muerte, el efecto más grave de este producto, es la ceguera permanente.

Inhalación: La exposición a una concentración mayor de 200 ppm produce dolor de cabeza, náusea, vómito e irritación de membranas mucosas. Concentraciones muy altas pueden dañar el sistema nervioso central y causar problemas en la visión. Los metabolitos de este producto (ácido fórmico y formaldehído) son metabolizados lentamente por el organismo, por lo que los efectos del metanol son acumulativos y una exposición constante aún a bajos niveles, puede causar muchos de los efectos mencionados arriba. Estos efectos varían con cada individuo.

Contacto con ojos: Tanto los vapores como el líquido son muy peligrosos, pues se ha observado que el metanol tiene un efecto específico sobre el nervio óptico y la retina.



Contacto con la piel: El contacto directo produce dermatitis y los efectos típicos (mencionados arriba) de los vapores de metanol que se absorben por la piel.

Ingestión: El envenenamiento por este medio se lleva a cabo frecuentemente por etanol adulterado y sus efectos dependen de la cantidad ingerida, pues, como se mencionó arriba, el etanol afecta el metabolismo del metanol. Generalmente una dosis de 25 a 100 ml resulta fatal. Al principio se produce una narcosis similar a la producida por el etanol, pero después de 10 a 15 horas se presentan daños más graves sobre el sistema nervioso central, específicamente sobre el nervio óptico y finalmente, se presentan los efectos agudos ya mencionados.

Carcinogenicidad: No se ha observado un incremento en los casos de cáncer en trabajadores expuestos a metanol, en estudios epidemiológicos.

9. ACCIONES DE EMERGENCIA:

Primeros auxilios:

Inhalación: Mover a la víctima a un área bien ventilada y mantenerla abrigada. Si no respira, dar respiración artificial y oxígeno.

Ojos: Lavarlos con agua o disolución salina neutra en forma abundante, asegurándose de abrir los párpados con los dedos.

Piel: Lavar la zona dañada inmediatamente con agua y jabón. En caso necesario, quitar la ropa contaminada para evitar riesgos de inflamabilidad.

Ingestión: No inducir el vómito. Pueden utilizarse de 5 a 10 g de bicarbonato de sodio para contrarrestar la acidosis provocada por este producto y en algunos casos, se ha informado de hemodiálisis como método efectivo para este tipo de envenenamiento.

EN TODOS LOS CASOS DE EXPOSICION, EL PACIENTE DEBE SER TRANSPORTADO AL HOSPITAL TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE.

Control de fuego:

Usar agua en forma de neblina, pues los chorros de agua pueden ser inefectivos. Enfriar todos los contenedores involucrados con agua. El agua debe aplicarse desde distancias seguras.

En caso de fuegos pequeños puede utilizarse extinguidores de espuma, polvo químico seco y dióxido de carbono.



Fugas y derrames:

Utilizar el equipo de seguridad mínimo (bata, lentes de seguridad y guantes) y, dependiendo de la magnitud del siniestro, utilizar equipo de protección completa y de respiración autónoma.

Alejar cualquier fuente de ignición del derrame y evitar que llegue a fuentes de agua y drenajes. Para ello construir diques con tierra, bolsas de arena o espuma de poliuretano, o bien, construir una fosa. Para bajar los vapores generados, utilice agua en forma de rocío y almacene el líquido.

Si el derrame es al agua, airear y evitar el movimiento del agua mediante barreras naturales o bombas para controlar derrames y succionar el material contaminado. El material utilizado para absorber puede quemarse.

El material utilizado para absorber el derrame y el agua contaminada debe de almacenarse en lugares seguros y desecharlo posteriormente de manera adecuada.

En el caso de derrames pequeños, el líquido puede absorberse con papel y llevarse a un área segura para su incineración o evaporación, después lavar el área con agua.

Desechos:

En el caso de cantidades pequeñas, puede dejarse evaporar o incinerarse en áreas seguras.

Para volúmenes grandes, se recomienda la incineración controlada junto con otros materiales inflamables.

ALMACENAMIENTO:

El metanol debe almacenarse en recipientes de acero al carbón, rodeado de un dique y con sistema de extinguidores de fuego a base de polvo químico seco o dióxido de carbono, cuando se trata de cantidades grandes. En el caso de cantidades pequeñas, puede manejarse en recipientes de vidrio.

En todos los casos debe mantenerse alejado de fuentes de ignición y protegido de la luz directa del sol.





Etanol

FORMULA: C_2H_6O , CH_3CH_2OH .

PESO MOLECULAR: 46.07 g/mol.

COMPOSICION: C: 52.24 %; H: 13.13 % y O: 34.73 %.

1.GENERALIDADES:

El etanol es un líquido incoloro, volátil, con un olor característico y sabor picante. También se conoce como alcohol etílico. Sus vapores son más pesados que el aire.

Se obtiene, principalmente, al tratar etileno con ácido sulfúrico concentrado y posterior Hidrólisis. Algunas alternativas de síntesis son: hidratación directa de etileno en presencia de ácido fosfórico a temperaturas y presiones altas y por el método Fischer-Tropsch, el cual consiste en la hidrogenación catalítica de monóxido de carbono, también a temperaturas y presiones altas. De manera natural, se obtiene a través de fermentación, por medio de levaduras a partir de frutas, caña de azúcar, maíz, cebada, sorgo, papas y arroz entre otros, generando las variadas bebidas alcohólicas que existen en el mundo. Después de la fermentación puede llevarse a cabo una destilación para obtener un producto con una mayor cantidad de alcohol.

El etanol se utiliza industrialmente para la obtención de acetaldehído, vinagre, butadieno, cloruro de etilo y nitrocelulosa, entre otros. Es muy utilizado como disolvente en síntesis de fármacos, plásticos, lacas, perfumes, cosméticos, etc. También se utiliza en mezclas anticongelantes, como combustible, como antiséptico en cirugía, como materia prima en síntesis y en la preservación de especímenes fisiológicos y patológicos.

El llamado alcohol desnaturalizado consiste en etanol al que se le agregan sustancias como metanol, isopropanol o, incluso, piridinas y benceno. Estos compuestos desnaturalizantes son altamente tóxicos por lo que, este tipo de etanol, no debe de ingerirse.

2.PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS:

Punto de ebullición: 78.3 °C. Punto de fusión: -130 °C.

Índice de refracción (a 20 °C):1.361 Densidad: 0.7893 a 20 °C.

Presión de vapor: 59 mm de Hg a 20 °C. Densidad de vapor: 1.59 g /ml

Temperatura de ignición: 363 °C

Punto de inflamación (Flash Point): 12 °C (al 100 %), 17 °C (al 96 %), 20 °C





(al 80%), 21 °C (al 70 %), 22 °C (al 60 %), 24 °C (al 50 %), 26 °C (al 40 %), 29 °C (al 30 %), 36 °C (al 20 %), 49 °C (al 10 %) y 62 °C (al 5 %).

Límites de explosividad: 3.3- 19 %

Temperatura de autoignición: 793 °C.

Punto de congelación: -114.1 °C

Calor específico:(J/g °C): 2.42 (a 20 °C).

Conductividad térmica (W/m K): 0.17 (a 20 °C).

Momento dipolar: 1.699 debyes.

Constante dieléctrica: 25.7 (a 20 °C).

Solubilidad: Miscible con agua en todas proporciones, éter, metanol, cloroformo y acetona.

Temperatura crítica: 243.1 °C.

Presión crítica: 63.116 atm.

Volumen crítico: 0.167 l/mol.

Tensión superficial (din/cm): 231 (a 25 °C).

Viscosidad (cP): 1.17 (a 20°C).

Calor de vaporización en el punto normal de ebullición (J/g): 839.31

Calor de combustión (J/g): 29677.69 (a 25 °C)

Calor de fusión (J/g): 104.6

El etanol es un líquido inflamable cuyos vapores pueden generar mezclas explosivas e inflamables con el aire a temperatura ambiente.

3.PROPIEDADES QUIMICAS:

Se ha informado de reacciones vigorosas de este producto con una gran variedad de reactivos como: difluoruro de disulfurilo, nitrato de plata, pentafluoruro de bromo, perclorato de potasio, perclorato de nitrosilo, cloruro de cromilo, percloruro de clorilo, perclorato de uranilo, trióxido de cromo, nitrato de flúor, difluoruro de dióxigeno, hexafluoruro de uranio, heptafluoruro de yodo, tetraclorosilano, ácido permangánico, ácido nítrico, peróxido de hidrógeno, ácido peroxodisulfúrico, dióxido de potasio, peróxido de sodio, permanganato de potasio, óxido de rutenio (VIII), platino, potasio, t-butóxido de potasio, óxido de plata y sodio.

En general, es incompatible con ácidos, cloruros de ácido, agentes oxidantes y reductores y metales alcalinos.



4.MANEJO

Equipo de protección personal:

Para manejar este producto es necesario utilizar bata y lentes de seguridad, en un área bien ventilada. Cuando el uso es constante, es conveniente utilizar guantes. No utilizar lentes de contacto al trabajar con este producto. Al trasvasar pequeñas cantidades con pipeta, utilizar propipetas, NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA:

RIESGOS:

Riesgos de fuego y explosión:

Por ser un producto inflamable, los vapores pueden llegar a un punto de ignición, prenderse y transportar el fuego hacia el material que los originó. Los vapores pueden explotar si se prenden en un área cerrada y pueden generar mezclas explosivas e inflamables con el aire a temperatura ambiente. Los productos de descomposición son monóxido y dióxido de carbono.

Riesgos a la salud:

El etanol es oxidado rápidamente en el cuerpo a acetaldehído, después a acetato y finalmente a dióxido de carbono y agua, el que no se oxida se excreta por la orina y sudor.

Inhalación: Los efectos no son serios siempre que se use de manera razonable. Una inhalación prolongada de concentraciones altas (mayores de 5000 ppm) produce irritación de ojos y tracto respiratorio superior, náuseas, vómito, dolor de cabeza, excitación o depresión, adormecimiento y otros efectos narcóticos, coma o incluso la muerte

Contacto con ojos: Se presenta irritación solo en concentraciones mayores a 5000 a 10000 ppm.

Contacto con la piel: El líquido puede afectar la piel, produciendo dermatitis caracterizada por resequedad y agrietamiento.

Ingestión: Dosis grandes provocan envenenamiento alcohólico, mientras que su ingestión constante, alcoholismo. También se sospecha que la ingestión de etanol aumenta la toxicidad de otros productos químicos presentes en las



industrias y laboratorios, por inhibición de su excreción o de su metabolismo, por ejemplo: 1,1,1-tricloroetano, xileno, tricloroetileno, dimetilformamida, benceno y plomo.

La ingestión constante de grandes cantidades de etanol provoca daños en el cerebro, hígado y riñones, que conducen a la muerte. La ingestión de alcohol desnaturalizado aumenta los efectos tóxicos, debido a la presencia de metanol, piridinas y benceno, utilizados como agentes desnaturalizantes, produciendo ceguera o, incluso, la muerte a corto plazo.

Carcinogenicidad: No hay evidencia de que el etanol tenga este efecto por el mismo, sin embargo, algunos estudios han mostrado una gran incidencia de cáncer en laringe después de exposiciones a alcohol sintético, con sulfato de dietilo como agente responsable.

5.ACCIONES DE EMERGENCIA:

Primeros auxilios:

Inhalación: Traslade a la víctima a un lugar ventilado. Aplicar respiración artificial si ésta es dificultosa, irregular o no hay. Proporcionar oxígeno.

Ojos: Lavar inmediatamente con agua o disolución salina de manera abundante.

Piel: Eliminar la ropa contaminada y lavar la piel con agua y jabón.

Ingestión: No inducir el vómito.

EN TODOS LOS CASOS DE EXPOSICION, EL PACIENTE DEBE RECIBIR AYUDA MÉDICA TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE.

Control de fuego:

Utilizar el equipo de seguridad necesario, dependiendo de la magnitud del incendio. Usar agua en forma de neblina lo más lejos posible del incendio, los chorros pueden resultar inefectivos. Enfriar los contenedores que se vean afectados con agua. En el caso de fuegos pequeños, pueden utilizarse extinguidores de espuma, polvo químico seco o dióxido de carbono.

Fugas y derrames:

Evitar respirar los vapores y permanecer en contra del viento. Usar guantes, bata, lentes de seguridad, botas y cualquier otro equipo de seguridad necesario, dependiendo de la magnitud del siniestro.



Mantener alejadas del área, flamas o cualquier otra fuente de ignición. Evitar que el derrame llegue a fuentes de agua o drenajes. Para lo cual, deben construirse diques para contenerlo, si es necesario. Absorber el líquido con arena o vermiculita y trasladar a una zona segura para su incineración posterior. Usar rocío de agua para dispersar el vapor y almacenar esta agua contaminada en recipientes adecuados, para ser tratada de manera adecuada, posteriormente. En el caso de derrames pequeños, el etanol puede absorberse con papel, trasladarlo a un lugar seguro y dejarlo evaporar o quemarlo. Lavar el área contaminada con agua.

Desechos:

La mejor manera de desecharlo es por incineración, aunque para pequeñas cantidades puede recurrirse a la evaporación en un lugar seguro.

Hidróxido de Sodio

FORMULA: NaOH.

PESO MOLECULAR: 40.01 g/mol

COMPOSICION: Na: 57.48 %; H: 2.52 % y O:40.00%

1.GENERALIDADES:

El hidróxido de sodio es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50 % por su facilidad de manejo. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos. Es usado en síntesis, en el tratamiento de celulosa para hacer rayón y celofán, en la elaboración de plásticos, jabones y otros productos de limpieza, entre otros usos. Se obtiene, principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas.



2. PROPIEDADES FÍSICAS Y TERMODINÁMICAS:

Punto de ebullición: 1388°C (a 760 mm de Hg)

Punto de fusión: 318.4 °C

Densidad: 2.13 g/ml (25 °C)

Solubilidad: Soluble en agua, alcoholes y glicerol, insoluble en acetona (aunque reacciona con ella) y éter. 1 g se disuelve en 0.9 ml de agua, 0.3 ml de agua hirviendo, 7.2 ml de alcohol etílico y 4.2 ml de metanol.

pH de disoluciones acuosas (peso/peso): 0.05 %: 12; 0.5 %: 13 y 5 %: 14

Calor específico: 0.35 cal/g °C (20 °C)

Calor latente de fusión: 40 cal/g

Calor de formación: 100.97 Kcal/mol (forma alfa) y 101.95 Kcal/mol

Calor de transición de la forma alfa a la beta: 24.69 cal/g

Temperatura de transición: 299.6 C

Energía libre de formación : 90.7 Kcal/ mol (a 25 C y 760 mm de Hg)

3. PROPIEDADES QUÍMICAS:

El NaOH reacciona con metales como Al, Zn y Sn, generando aniones como AlO_2^- , ZnO_2^- y SnO_3^-

Se ha informado de reacciones explosivas entre el hidróxido de sodio y nitrato de plata amoniacal caliente, 4-cloro-2-metil-fenol, 2-nitro anisol, cinc metálico, N,N-bis(trinitro-etil)-urea, azida de cianógeno, 3-metil-2-penten-4-in-1-ol, nitrobenzeno, tetrahidrobórato de sodio, 1, 1, 1-tricloroetanol, 1, 2, 4, 5-tetraclorobenceno y circonio metálico. Con bromo, cloroformo y triclorometano las reacciones son vigorosas o violentas. La reacción con sosa y tricloroetileno es peligrosa, ya que este último se descompone y genera dicloroacetileno, el cual es inflamable.

MANEJO:

Equipo de protección personal:

Para el manejo del NaOH es necesario el uso de lentes de seguridad, bata y guantes de neopreno, nitrilo o vinilo. Siempre debe manejarse en una campana y no deben utilizarse lentes de contacto al trabajar con este compuesto.



En el caso de trasvasar pequeñas cantidades de disoluciones de sosa con pipeta, utilizar una propipeta, NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA.

RIESGOS:

Riesgos de fuego o explosión:

Este compuesto no es inflamable sin embargo, puede provocar fuego si se encuentra en contacto con materiales combustibles. Por otra parte, se generan gases inflamables al ponerse en contacto con algunos metales. Es soluble en agua generando calor.

Riesgos a la salud:

El hidróxido de sodio es irritante y corrosivo de los tejidos. Los casos más comunes de accidente son por contacto con la piel y ojos, así como inhalación de neblinas o polvo.

Inhalación: La inhalación de polvo o neblina causa irritación y daño del tracto respiratorio. En caso de exposición a concentraciones altas, se presenta ulceración nasal. A una concentración de 0.005-0.7 mg/m³, se ha informado de quemaduras en la nariz y tracto. En estudios con animales, se han reportado daños graves en el tracto respiratorio, después de una exposición crónica.

Contacto con ojos: El NaOH es extremadamente corrosivo a los ojos por lo que las salpicaduras son muy peligrosas, pueden provocar desde una gran irritación en la córnea, ulceración, nubosidades y, finalmente, su desintegración. En casos más severos puede haber ceguera permanente, por lo que los primeros auxilios inmediatos son vitales.

Contacto con la piel: Tanto el NaOH sólido, como en disoluciones concentradas es altamente corrosivo a la piel. Se han hecho biopsias de piel en voluntarios a los cuales se aplicó una disolución de NaOH 1N en los brazos de 15 a 180 minutos, observándose cambios progresivos, empezando con disolución de células en las partes callosas, pasando por edema y llegar hasta una destrucción total de la epidermis en 60 minutos. Las disoluciones de concentración menor del 0.12 % dañan la piel en aproximadamente 1 hora. Se han reportado casos de disolución total de cabello, calvicie reversible y quemaduras del cuero cabelludo en



trabajadores expuestos a disoluciones concentradas de sosa por varias horas. Por otro lado, una disolución acuosa al 5% genera necrosis cuando se aplica en la piel de conejos por 4 horas.

Ingestión: Causa quemaduras severas en la boca, si se traga el daño es, además, en el esófago produciendo vómito y colapso.

Carcinogenicidad: Este producto está considerado como posible causante de cáncer de esófago, aún después de 12 a 42 años de su ingestión. La carcinogénesis puede deberse a la destrucción del tejido y formación de costras, más que por el producto mismo.

ACCIONES DE EMERGENCIA:

Primeros Auxilios:

Inhalación: Retirar del área de exposición hacia una bien ventilada. Si el accidentado se encuentra inconsciente, no dar a beber nada, dar respiración artificial y rehabilitación cardiopulmonar. Si se encuentra consiente, levantarlo o sentarlo lentamente, suministrar oxígeno, si es necesario.

Ojos: Lavar con abundante agua corriente, asegurándose de levantar los párpados, hasta eliminación total del producto.

Piel: Quitar la ropa contaminada inmediatamente. Lavar el área afectada con abundante agua corriente.

Ingestión: No provocar vómito. Si el accidentado se encuentra inconsciente, tratar como en el caso de inhalación. Si está conciente, dar a beber una cucharada de agua inmediatamente y después, cada 10 minutos.

EN TODOS LOS CASOS DE EXPOSICION, EL PACIENTE DEBE SER TRANSPORTADO AL HOSPITAL TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE.

Control de fuego:

Pueden usarse extinguidores de agua en las áreas donde haya fuego y se almacene NaOH, evitando que haya contacto directo con el compuesto.



Fugas o derrames:

En caso de derrame, ventilar el área y colocarse la ropa de protección necesaria como lentes de seguridad, guantes, overoles químicamente resistentes, botas de seguridad. Mezclar el sólido derramado con arena seca, neutralizar con HCl diluido, diluir con agua, decantar y tirar al drenaje.

Si el derrame es de una disolución, hacer un dique y neutralizar con HCl diluido, agregar gran cantidad de agua y tirar al drenaje.

Desechos:

Ajustar el pH a neutro con HCl diluido. La disolución acuosa resultante, puede tirarse al drenaje diluyéndola con agua.

Durante la neutralización se desprende calor y vapores, por lo que debe hacerse lentamente y en un lugar ventilado adecuadamente.

ALMACENAMIENTO:

El hidróxido de sodio debe ser almacenado en un lugar seco, protegido de la humedad, agua, daño físico y alejado de ácidos, metales, disolventes clorados, explosivos, peróxidos orgánicos y materiales que puedan arder fácilmente.



Hidróxido de Potasio

Fórmula: KOH

Composición: 85 -100% de pureza.

Sinónimos: Hidrato de potasio; Potasa caustica; Lejía

Usos: Elaboración de jabón; blanqueador; elaboración de ácido oxálico y sales potásicas; reactivo en química analítica; medicina (caustico); cerillas; grabados; en alimentos, en forma de álcali; electrólito en baterías alcalinas de almacenaje y algunas pilas de combustible; absorbente de dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno; reactivo de laboratorio.

1.PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Apariencia: Sólido en fragmentos, terrones, barras, lentejas o escamas con fractura cristalina o rombohedral, sin olor, de color blanco- amarillo claro

Gravedad Específica (Agua=1): 2.044

Punto de Ebullición (°C): 1370

Densidad Relativa del Vapor (Aire=1): N.A.

Punto de Fusión (°C): 360

Viscosidad (cP): N.R.

PH: 13.5 (Solución 0.1 M).

Presión de Vapor (mm Hg): 1 mm Hg / 719°C

Solubilidad: Apreciable en agua (>10%). Soluble en alcohol y glicerina, insoluble en amonio y éter

2.EFECTOS PARA LA SALUD

Inhalación: El polvo o niebla, puede causar síntomas en el tracto respiratorio, posiblemente incluye tos, sofoco, dolor en la nariz, boca y garganta. Lesiones en el tabique nasal y quemaduras en las membranas mucosas. Si las cantidades inhaladas son grandes, se puede presentar edema pulmonar, a menudo con un período latente de 5 a 72 horas. Los síntomas pueden incluir tensión en el pecho, disnea, salivación espumosa, cianosis y desvanecimiento.

Ingestión: Quemaduras severas en los labios, lengua, boca, garganta, esófago y estómago, puede producir vómito con sangre y mucosa, severo dolor abdominal. La caída rápida de la presión sanguínea indica efecto gástrico y perforación del esófago. El daño del estómago y esófago puede



avanzar por 2 o 3 semanas. La muerte puede ocurrir por peritonitis después de un mes de la ingestión. Cuando el paciente se recupera de los efectos inmediatos, contracción del esófago puede ocurrir semanas, meses o varios años después.

Piel: El contacto directo con solución al 4% puede causar sensación irritación severa en horas siguientes al contacto. La extensión del daño depende de la duración del contacto. Si no es removido de la piel puede causar ulceración. Se presentan dolor y quemaduras en general.

Ojos: El contacto directo con el sólido o soluciones pueden causar dolor, quemaduras posiblemente severas. El grado de daño depende de la concentración y duración del contacto, puede causar edema, destrucción y opacificación del epitelio corneal e iritis.

Efectos Crónicos:

Inhalación: Dependiendo de la concentración y duración de la exposición, repetida o prolongada puede causar inflamación y cambios ulcerativos en la boca y posiblemente malestares gastrointestinales y bronquiales, daño pulmonar.

Piel: Contacto repetido o prolongado puede causar dermatitis.

Ojos: Contacto repetido o prolongado en bajos niveles puede causar conjuntivitis.

3.PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial (En lo posible evitar el método boca a boca). Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la víctima abrigada y en reposo. Buscar atención médica inmediatamente.

Ingestión: Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua. No inducir el vómito, si éste se presenta inclinar la víctima hacia adelante. Si está inconsciente no dar a beber nada. Buscar atención médica inmediatamente

Piel: Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica inmediatamente.

Ojos: Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.





4. ALMACENAMIENTO Y MANIPULACION

Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos, secos y señalizados. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente y mantenerlos bien cerrados. Inspeccionar periódicamente las áreas de almacenamiento para detectar daños y fugas en los contenedores.

Almacenar los contenedores por debajo del nivel de los ojos en caso de ser posible. Restringir el acceso a personas no autorizadas. Envasar en botellas, cajas, barriles, toneles y vagones cisterna.

Manipulación: Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. No permita que el material alcance temperaturas superiores a los 360°C. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en dónde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. No usar agua en el área de trabajo.



Glicerina

Fórmula: $C_3H_5(OH)_3$

Composición: 99.8% de pureza

Usos: Resinas alquídicas, celofán, explosivos, gomas de éster, productos farmacéuticos, perfumería, plastificante para celulosa regenerada, acondicionamiento de tabaco, licores, disolventes, rollos para tinta de imprenta, polioles de poliuretano, agente emulsionante, sellos de gomas y tintas de copia, humectante.

1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Apariencia: Líquido viscoso transparente de olor neutro.

Gravedad Específica (Agua=1): 1.260 / 20°C

Punto de Ebullición (°C): 290

Densidad Relativa del Vapor (Aire=1): 3.20

Punto de Fusión (°C): 18

Viscosidad (cP): N.R.

pH: N.A.

Presión de Vapor (mm Hg): 3 / 20°C

Solubilidad: Soluble en agua y alcohol. Insoluble en éter, benceno, cloroformo, aceites finos y volátiles

2. PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la víctima en reposo.

Ingestión: Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua. No inducir el vómito. Buscar atención médica inmediatamente.

Piel: Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.

Ojos: Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.



3. ALMACENAMIENTO Y MANIPULACION

Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente.

Manipulación: Utilizar los elementos de protección personal así sea muy corta la exposición o la actividad que realice con la sustancia; mantener estrictas normas de higiene.

No fumar ni beber en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles.