

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**Centro de Ingeniería y Tecnología**

**Unidad Valle de las Palmas**



**Evaluación técnica y económica para la elaboración de biodiesel a partir de aceite vegetal**

**Tesis para obtener el título de licenciatura en:**

**Ingeniero en Energías Renovables**

**Presenta:**

**ERICK ALFREDO LEE HERRERA**

**Director de tesis:**

**Dr. Emilio Hernández Martínez**

**Tijuana, Baja California**

**Septiembre 2014**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**CENTRO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**  
**“CITEC”**  
**Valle de las Palmas**

**“2014, AÑO DE OCTAVIO PAZ”**

Oficio No.009/2014-2

**C. ERICK ALFREDO LEE HERRERA**  
**PRESENTE.-**

**Asunto: Autorización de impresión de tesis.**

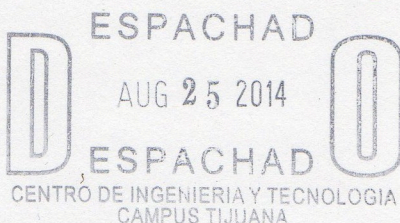
Después de haber atendido las indicaciones sugeridas por su comité revisor de tesis, integrado por Dr. Emilio Hernández Martínez, Dr. Felipe Noh Pat, M. I. Eric Efrén Villanueva Vega, Dra. María Cristina Castañón Bautista y M. C. Benjamín González Vizcarra, de su trabajo titulado “Evaluación técnica y económica para la elaboración de biodiesel a partir de aceite vegetal”, me es grato comunicarle que se le concede la autorización para que proceda con la impresión de su tesis.

**ATENTAMENTE**  
**“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE”**  
Tijuana, B.C. a 25 de agosto del 2014.

**DR. EDGAR ARMANDO CHÁVEZ MORENO**

COORDINADOR DE FORMACIÓN PROFESIONAL Y VINCULACIÓN UNIVERSITARIA, CITEC  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

c.c.p. Archivo  
RRQ/EACHM/tgv



UNIVERSIDAD AU  
DE BAJA CALI



CENTRO DE IN  
Y TECNOL  
CAMPUS TI

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>8</b>
• <b>1.1 Planteamiento del problema.....</b>	<b>9</b>
• <b>1.2 Justificación.....</b>	<b>11</b>
• <b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>11</b>
• <b>1.4 Antecedentes.....</b>	<b>12</b>
• <b>1.5 Biodiesel.....</b>	<b>14</b>
• <b>1.6 Motor diesel.....</b>	<b>16</b>
• <b>1.7 Comparación de emisiones.....</b>	<b>17</b>
• <b>1.8 Comparación de características.....</b>	<b>19</b>
• <b>1.9 Compatibilidad de materiales.....</b>	<b>20</b>
• <b>1.10 Producción de biodiesel en México.....</b>	<b>21</b>
• <b>1.11 Biodiesel en Baja California.....</b>	<b>24</b>
• <b>1.12 Materia Prima para la producción de biodiesel en Baja California.....</b>	<b>24</b>
<b>2. Materiales y Métodos.....</b>	<b>25</b>
• <b>2.1 Seguridad.....</b>	<b>27</b>
• <b>2.2 Descripción e implementación del proceso.....</b>	<b>28</b>
• <b>2.3 Recolección y eliminación de impurezas.....</b>	<b>29</b>
• <b>2.4 Titulación.....</b>	<b>30</b>
• <b>2.5 Calentamiento y selección de catalizador.....</b>	<b>30</b>
• <b>2.6 Metóxido.....</b>	<b>31</b>
• <b>2.7 Mezcla.....</b>	<b>31</b>
• <b>2.8 Reposo y separación.....</b>	<b>32</b>
• <b>2.9 Purificación.....</b>	<b>33</b>
• <b>2.10 Calidad.....</b>	<b>34</b>
• <b>2.11 Glicerina.....</b>	<b>39</b>
• <b>2.12 Recuperación de Metanol.....</b>	<b>39</b>
<b>3. Resultados.....</b>	<b>40</b>
• <b>3.1 Análisis de costos.....</b>	<b>40</b>
• <b>3.2 Energía Eléctrica.....</b>	<b>41</b>
• <b>3.3 Estudio de Mercado.....</b>	<b>44</b>
• <b>3.4 Implementación.....</b>	<b>46</b>
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>47</b>
<b>5. Bibliografía y referencias.....</b>	<b>48</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>51</b>

## **Abreviaturas**

**ASTM. American Society for Testing and Materials**

**B100. Biodiesel puro**

**B50. Mezcla de 50% biodiesel y 50% diesel convencional**

**B20. Mezcla de 20% biodiesel y 80% diesel convencional**

**CESPT. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana**

**CONAPO. Consejo Nacional de Población**

**CFE. Comisión Federal de Electricidad**

**EPA. US Environmental Protection Agency**

**FFA. Ácidos Grasos Libres**

**HAP. Hidrocarburo Aromático Policíclico**

**IMCO. Instituto Mexicano para la competitividad**

**LyFC. Luz y Fuerza del Centro**

**OMS. Organización Mundial de la Salud**

**PM<sub>10</sub>. Particulate Matter**

**PEMEX. Petróleos Mexicanos**

**SENER. Secretaria de Energía**

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.1 Municipios de Baja California.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 1.2 Reacción química de Transesterificación.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 1.3 Ciclo del biodiesel.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 1.4 Operación de un motor diesel.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 1.5 Costos de producción de biodiesel de jatropha.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2.1 Bomba IRONTON de ½ hp.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 2.2 Resistencia de 2000W y termostato.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 2.3 Equipo de seguridad.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 2.4 Proceso de producción de biodiesel.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 2.5 Titulación de aceite vegetal.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 2.6 Mezcla de metanol y catalizador.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 2.7 Mezcla de metóxido y aceite vegetal.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 2.8 Separación de biodiesel y glicerina.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 3.1 Regiones de CFE.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 3.2 Encuesta, conocimiento y ventajas de biodiesel.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 3.3 Encuesta, utilización y precio de compra de biodiesel.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 3.4 Encuesta, problemas con utilización de biodiesel.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 3.5 Encuesta, compra de biodiesel.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 3.6 Prototipo de reactor para producción de biodiesel.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 4.1 Separador de agua.....</b>	<b>47</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.1 Ciudades más contaminadas de México.....</b>	<b>9</b>
<b>Tabla 1.2 Países con mayor producción de biodiesel en el mundo.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 1.3 Promedio de emisiones de biodiesel.....</b>	<b>17,18</b>
<b>Tabla 1.4 Comparación entre diesel y biodiesel.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 1.5 Materiales para los equipos, tuberías, instalaciones, tanques, contenedores y demás elementos que tengan contacto directo con biodiesel.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 1.6 Origen y destino del Diesel en México.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 2.1 Especificaciones de bomba.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 2.2 Requerimientos para B100.....</b>	<b>34,35</b>
<b>Tabla 2.3 Requerimientos para B6-B20.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 2.4 Métodos de Prueba ASTM.....</b>	<b>36,37,38</b>
<b>Tabla 2.5 Métodos de prueba europeos.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 3.1 Costo de equipo de seguridad personal.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 3.2 Costo de insumos requeridos para titular el aceite vegetal.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 3.3 Costo materia prima e insumos requeridos para procesar un litro de aceite vegetal.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 3.4 Costo de equipo principal.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 3.5 Inversión inicial.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 3.6 Cargos por energía consumida para un negocio con tarifa 02.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 3.7 Cargos por energía consumida durante el proceso de producción de biodiesel.</b>	<b>42</b>

## **Agradecimiento**

A mis padres y el resto de mi familia, que me apoyaron de manera incondicional.

Gracias a mis profesores, que me guiaron durante toda la carrera, en especial, Eric Villanueva, Felipe Noh Pat y Cristina Castañón.

A mi director de tesis, Dr. Emilio Hernández, por su gran ayuda en la realización de este trabajo.

A mis compañeros y amigos, con quienes compartí todos los mejores momentos durante la carrera.

Al Centro de Ingeniería y Tecnología, por haberme brindado la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería en Energías Renovables, una carrera que no solo le da un mejor futuro al ser humano, pero también a nuestra madre tierra.

## Resumen

La región noroeste de México cuenta con dos de las diez ciudades con mayor contaminación aérea de todo el país, Mexicali y Tijuana, las cuales también tienen un amplio sector restaurantero, y por consecuencia, grandes residuos de aceite vegetal, que al no ser tratados debidamente, pueden presentar problemas económicos y sociales, el presente trabajo tiene como objetivo mejorar la calidad de aire que se tiene, aprovechando estos residuos para la producción de biodiesel.

En este trabajo se presenta una breve introducción del biodiesel, describe los efectos que tiene sobre el medio ambiente, la economía, las ventajas y desventajas de su uso, y se presenta la comparación de gases contaminantes con el diésel convencional.

También se evalúan los costos de los insumos que se utilizan para la producción de biodiesel, y se diseñó un reactor a pequeña escala para la producción de biodiesel a partir del aceite vegetal residual mediante la reacción de transesterificación, utilizando metanol e hidróxido de sodio como catalizador.

El reactor diseñado tiene la capacidad para producir aproximadamente 182 litros de biodiesel por día, lo cual satisface fácilmente las necesidades requeridas para el transporte personal.

Así mismo, se presenta un estudio de mercado realizado mediante encuestas a transportistas que utilizan diesel convencional, con el fin de estudiar la factibilidad de venta en Tijuana. En el análisis de costo se estudia la inversión inicial de la planta piloto, el cual incluye el costo del consumo eléctrico y materias primas para producción de biodiesel a pequeña escala.

En conclusión puede ser factible la producción de biodiesel a pequeña escala en el estado de Baja California por el costo de los insumos, la materia prima y la disponibilidad de mercado que existe en la región. Para una producción a gran escala se ocupan estudiar otros parámetros del proceso de producción de biodiesel y permisos desde nivel estatal hasta federal.

## 1. Introducción

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas como el girasol, soya, palma, canola y ricino cuyos tejidos se acumula el aceite, como fuente de energía.

Convencionalmente, los aceites vegetales y grasas animales son la materia prima más utilizada para la producción de biodiesel. Aceites de segundo uso, tales como las grasas cafés, son térmicamente o químicamente degradados de residuos-aceites que contienen principalmente grasa obtenida de trampas de grasa. La mayor parte de este aceite fue empleado como aceite de cocina de los restaurantes que ha sido degradado térmicamente por las altas temperaturas y se degrada aún más cuando está en contacto con agua en la trampa de grasa. Esta degradación produce moléculas conocidas como ácidos grasos libres.

En la Ley general para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, el aceite vegetal usado es considerado como un residuo de manejo especial, definido como aquellos generados en procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de sólidos urbanos <sup>[1]</sup>.

El desecho del aceite vegetal por el drenaje aunque tenga un nivel de toxicidad bajo y sea biodegradable, puede resultar en problemas ambientales grandes. Con un litro de aceite vegetal residual puede contaminar hasta mil litros de agua, ya que es capaz de crear una capa por encima del agua, lo cual impide el paso de oxígeno, así provocando la asfixia a los seres vivos.

Al igual que problemas ambientales, también puede crear problemas sociales ya que por su viscosidad puede dañar las plantas de tratamiento de aguas residuales, producir obstrucciones en tuberías y malos olores que atraen a ratones y moscos elevando dicha problemática <sup>[2]</sup>.

El diesel fósil es un combustible dañino para la salud humana y para el medio ambiente. Produce hidrocarburos aromáticos policíclicos, que sus compuestos son carcinógenos (agentes que pueden producir cáncer), mutágenos (agentes que alteran o cambian la información genética de un organismo) y teratógenos (agentes que pueden inducir o aumentar la probabilidad de un defecto congénito) <sup>[3]</sup>. En cuanto al medio ambiente un derrame puede causar un gran impacto negativo al suelo y a las aguas, ya que no es biodegradable y es altamente tóxico.

Otro factor que influye en la contaminación es el constante aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera debido a la utilización de combustibles fósiles como fuente de energía. La utilización de biodiesel como combustible en motores diesel aminora el uso de diesel fósil, ayudando a reducir el aumento de CO<sub>2</sub> y azufre en la atmósfera. Por consiguiente, disminuyen las enfermedades respiratorias producidas por los contaminantes.

El instituto Mexicano para la Competitividad publicó estudios sobre la relación de contaminación de aire y las muertes prematuras/hospitalizaciones.

Tabla 1.1 Ciudades más contaminadas de México

<i>Ciudad</i>	<i>Concentraciones de PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>)**</i>	<i>Muertes Prematuras*</i>	<i>Hospitalizaciones*</i>	<i>Consultas*</i>
<i>Mexicali</i>	137.2	30	74	3,039
<i>Cuernavaca</i>	72.3	15	28	2,252
<i>Monterrey</i>	72.7	13	44	2,622
<i>Tijuana</i>	67.7	10	32	1,316
<i>Zona Metropolitana del Valle de México</i>	50.3	9	21	1,170
<i>Toluca</i>	57.6	9	10	1,333
<i>Chihuahua</i>	43.4	7	22	1,123
<i>León</i>	49.0	7	21	1,324
<i>Celaya</i>	48.4	7	21	1,298
<i>Irapuato</i>	48.0	7	20	1,281
<i>Guadalajara</i>	41.4	6	19	904
<i>Puebla-Tlaxcala</i>	50.3	2	3	245

Notas: \* Las tasas de muertes, hospitalizaciones y consultas son por cada 100,000 habitantes, y los datos son del año 2010

\*\*Partículas contaminantes dispersas a la atmosfera

Como se puede observar, la baja calidad de aire que tienen estas zonas tiene efectos sobre la salud humana, el cual se puede mitigar mejorando la calidad, utilizando biocombustible.

Cabe mencionar que la Organización Mundial de la Salud sugiere disminuir las concentraciones de PM<sub>10</sub> al menos a 20 microgramos por metro cubico para reducir el número de muertes relacionadas con la calidad del aire.

## 1.1 Planteamiento del Problema

El estado de Baja California está ubicado en la región noroeste de México, colindando con los Estados Unidos de América, está integrada por cinco municipios: Tijuana, Playas de Rosarito, Ensenada, Tecate y Mexicali. Los cuales dos son de las ciudades con más contaminación en el aire de todo el país, Tijuana y Mexicali, sus concentraciones de PM<sub>10</sub> exceden las sugeridas por la OMS, que provienen de varias actividades humanas, entre ellas la combustión generada por automóviles.



Figura 1.1 Municipios de Baja California. Fuente: Bajacalifornia.gob.mx

La región noroeste cuenta con un parque vehicular diesel de 100,000 unidades, con un crecimiento de hasta 200,000 unidades <sup>[4]</sup>.

Se estima que en Baja California se genera anualmente 10 millones de litros de aceite vegetal residual, esto puede dar lugar a 8 millones de litros de biodiesel si la reacción tiene el 80% de eficiencia <sup>[5]</sup>.

La ciudad de Tijuana cuenta con 1,670,365 habitantes, que representa casi el 50% de la población en todo el estado de Baja California, con una proyección de crecimiento a 2,075,237 para el año 2030 <sup>[6]</sup>.

La ciudad de Mexicali cuenta con 998,355 habitantes, ocupando el 29.5% de la población del estado y una proyección de crecimiento a 1, 210,211 para el año 2030 <sup>[6]</sup>, con una generación aproximada de 2.1 millones de litros de aceite vegetal residual <sup>[5]</sup>.

En el año 2011 Baja California tuvo una demanda de aproximadamente de 14.3 miles de barriles de diesel por día, con una prospectiva que se consuman 24.1 miles de barriles diarios <sup>[4]</sup>. Lo cual se puede disminuir la dependencia considerablemente utilizando el aceite vegetal como biocombustible.

## 1.2 Justificación

Debido a que el petróleo es un recurso no renovable, los combustibles fósiles han estado incrementando de valor constantemente. También la contaminación que es provocada por estos ha tenido un gran impacto en la tierra, dando lugar a calentamiento global.

Tijuana es de las ciudades con más contaminación en el aire en México, esto da lugar a múltiples problemas, tanto de sociales como económicos. Los municipios de Tijuana y Mexicali son reconocidos por su amplio sector restaurantero, esto da lugar a que se tengan grandes cantidades de residuos, incluyendo aceite vegetal residual que puede ser reciclado para su conversión a biodiesel.

Debido al crecimiento constante de la ciudad de Tijuana, el transporte público se ha convertido en una necesidad para la población, y ha tenido una gran contribución a la contaminación. Los camiones que están diariamente operando utilizan diésel convencional, el cual es un combustible que va incrementando de precio mensualmente y es de los derivados del petróleo que más contaminan.

Para mitigar el impacto ambiental que tiene el uso del diesel convencional por el transporte público, se debe de estudiar el uso de un combustible que provenga de los residuos generados, tal como lo es biodiesel que se puede producir utilizando como materia prima el aceite vegetal residual.

## 1.3 Objetivos

### **Objetivo general:**

Diseñar un proceso eficiente a pequeña escala para la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal residual

### **Objetivos específicos:**

Realizar un estudio técnico para la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal residual.

Análisis de costos para la producción de biodiesel a pequeña escala

Realizar un estudio de mercado regional para la venta de biodiesel

## 1.4 Antecedentes

En el año 1885 el inglés Herbert Akroyd Stuart estudio la posibilidad de utilizar keroseno (parecido al diesel) en un motor <sup>[7]</sup>. En el año 1891 inventó el primer motor de combustión interna que utilizaba un sistema de inyección de combustible presurizada <sup>[8]</sup>. Su motor utilizaba una relación de compresión baja, entonces la temperatura del aire comprimido al final de la carrera de compresión en la cámara de combustión no era lo suficientemente alto para hacer combustión. Entonces la combustión se realizaba en otra cámara de combustión, donde vaporizador montando en la cabeza del cilindro inyectaba el combustible. Era conectado por un paso estrecho y calentado por el refrigerante del cilindro o por los gases de escape mientras corría. Era arrancado por un calentamiento externo. Entonces el autoencendido ocurría del contacto entre la mezcla de combustible-aire y las paredes calientes del vaporizador <sup>[9]</sup>.

En 1893 el Dr. Rudolf Diesel presentó su motor diesel, que era una versión mejorada del motor de Herbert, ya que no ocupaba un calentamiento externo. Los primeros experimentos con aceite vegetal fueron por el gobierno de Francia y Rudolf Diesel. El gobierno encargo a la empresa Otto construir un motor Diesel que funcionara con aceite de cacahuate. Tiempo después Diesel trabajó con los aceites vegetales, ya que tenía la visión que el sector de agricultura podía beneficiarse de estos, creando su propio combustible para que los motores fueran utilizados en áreas remotas <sup>[10]</sup>. A raíz de la muerte de Diesel, el motor recibió cambios estructurales a manos de compañías petroleras para funcionar con un subproducto del petróleo menos viscoso que el aceite vegetal al que llamaron diesel.

En 1937, G. Chavanne obtuvo la patente por la transformación de aceites vegetales para su uso como combustibles gracias a un proceso químico llamado transesterificación. La patente describía el proceso de alcoholysis (transesterificación) de aceites vegetales usando etanol para separar los ácidos grasos del glicerol reemplazando el glicerol por alcoholes.

En 1977 Expedito Parente produjo biodiesel usando la transesterificación con etanol <sup>[11]</sup>.

El proceso de transesterificación consiste en la reacción de un triglicérido (que tiene una molécula de glicerina), como la grasa o el aceite, con un alcohol, para formar un éster (biodiesel) y glicerina. Durante el proceso de esterificación, el triglicérido reacciona con el alcohol en presencia de un catalizador, como el hidróxido de sodio o hidróxido de potasio. El alcohol reacciona con los ácidos grasos para formar el éster (biodiesel) y glicerina <sup>[12]</sup>.

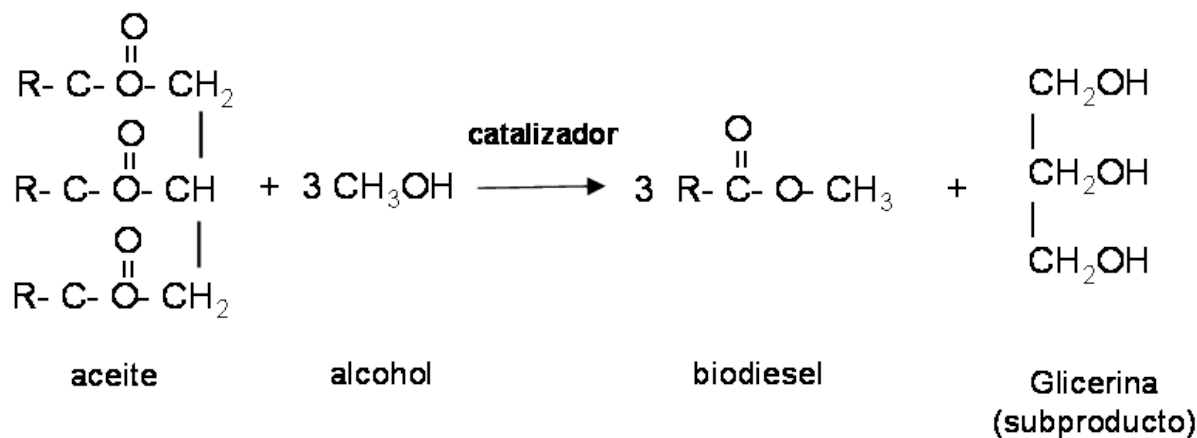


Figura 1.2 Reacción química de Transesterificación. Fuente: madrimasd.org

Durante el siglo XX, se realizaron algunos intentos para utilizar aceites como combustible para vehículos. Antes de la segunda guerra mundial se introdujo el uso de aceites transesterificados como combustible en vehículos pesados en el África. Durante la década de los años 40, los franceses trabajaron con el aceite de piñón como combustible sin tener resultados positivos. Posteriormente se realizaron algunos ensayos en la República Federal de Alemania y Austria con aceite de colza; y en Cabo Verde y en Malí también con aceite de piñón, obteniéndose excelentes resultados <sup>[13]</sup>.

Durante la segunda guerra mundial y ante la escasez de combustibles fósiles, se destaca la investigación realizada por Otto y Vivacqua en Brasil, sobre diésel de origen vegetal, pero fue hasta el año de 1970, que el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que se sucedía en el momento, y al elevado costo del petróleo alcanzado como consecuencia de los factores políticos existentes.

Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero sólo hasta el año de 1985 en Austria, se construyó la primera planta piloto productora. Hoy en día países como Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles <sup>[14]</sup>.

Las plantas industriales de generación de biodiesel son construidas por varias compañías en Europa; cada una de estas plantas es capaz de producir más de 5.7 millones de litros de combustible cada año <sup>[15]</sup>.

En Europa, el biodiesel es producido principalmente a partir del aceite de la semilla de canola (también conocida como colza) y de metanol. El producto es utilizado en las máquinas diésel, puro o mezclado con diésel de petróleo, en proporciones que van desde un 5% hasta un 20%, generalmente. En Alemania y Austria se usa puro para obtener un máximo beneficio ambiental.

Además de la colza, en los últimos años se ha producido biodiesel a partir de soya, girasol y palma, siendo esta última la principal fuente vegetal utilizada en Malasia para la producción de biodiesel.

En el estado de Minnesota, en Estados Unidos, una legislación obliga a que todo el diesel convencional sea mezclado en un 2% con combustible orgánico siempre y cuando se alcance una capacidad de producción de al menos 8 millones de galones.

Empresas multinacionales en España y Argentina ya han firmado o están ultimando acuerdos para la fabricación y distribución del biodiesel, tanto puro como en distintos porcentajes de mezclas con gasoil, y estos ya se encuentra disponibles en las gasolineras, y por tanto empezando a despertar la curiosidad del consumidor <sup>[16]</sup>.

## 1.5 Biodiesel

El biodiesel es un combustible alternativo de combustión limpia que se puede obtener a partir de las grasas animales y aceite. En la figura 1.3 se muestra el ciclo completo a grandes rasgos.



Figura 1.3 Ciclo del Biodiesel. Fuente: oilmachineworld.com

El término biodiesel puro es denominado B100, que puede usarse en estado puro, pero se usa con mayor frecuencia como aditivo para el combustible diesel convencional, dependiendo de su mezcla, se puede denominar B50 (50% diesel fosil-50% biodiesel), B20 (80% diesel fosil-20% biodiesel) B5 (95% diesel fosil-5% biodiesel), y así dependiendo de la mezcla.

El biodiesel ha tenido un gran auge en el mundo, en los países del sur como Brasil y Argentina hay un aumento de producción anualmente. En Argentina, en el año 2010, aumento la mezcla de B5 a B7 de biodiesel con diesel <sup>[17]</sup>.

En el año 2005, Brasil abrió una refinería capaz de producir aproximadamente 3.2 millones de galones de biodiesel por año, utilizando semillas de ricino, soya y girasol, también se está trabajando que para el año 2014 aumentar la mezcla de B7.5 a B10, y a B20 para el año 2020 <sup>[18]</sup>.

En Europa se está viendo un gran crecimiento, esto se debe a que la mayoría de los carros usados en esos lugares tienen motor de ciclo diesel. En Alemania el aceite que se usa es de colza, en el año 2006 se produjeron 600 millones de galones de biodiesel, con esto se pudo abastecer un número promedio de 2 millones de automóviles en un año. Italia tiene la capacidad de producir 2,711 millones de litros anuales, con un consumo promedio de 1,681 millones de litros <sup>[19]</sup>.

En el año 2008 en México se publicó la Ley de promoción y desarrollo de bioenergéticos, en la cual los objetivos principales son la producción, comercialización y uso eficiente de bioenergéticos. Con lo anterior se pretende dar apoyos a la investigación científica y tecnológica que resultaran en un gran desarrollo para el área de bioenergéticos en el país.

El uso de aceites de cocina usados como materia prima de biodiesel ha aumentado su valor de manera significativa en los últimos años, haciendo de recogida adecuada y el reciclaje de estos aceites más rentables. En un ejemplo de los beneficios de la forma en la producción de biodiesel puede aumentar el reciclaje, las plantas de producción de biodiesel en el pacífico, en las islas de Hawaii han desviado casi 190,000 toneladas de aceite y filtro de grasas residuales de cocina usado desde que comenzaron la producción <sup>[20]</sup>.

Se estima que para el año 2035 la generación de electricidad por las energías renovables subirá del 20% (2011) al 31%. Mientras la demanda de combustibles fósiles baja del 68% (2011) al 57%. La producción de biocombustibles a nivel mundial tendrá un alcance de 4.1 millones de barriles por día, lo que representara el 8% de la demanda de combustible en el transporte <sup>[4]</sup>.

En la tabla 1.2 se observa los 10 países con mayor producción de biodiesel en el mundo.

Tabla 1.2 Países con mayor producción de biodiesel en el mundo

<i>País</i>	<i>Año</i>	<i>Producción (Miles de barriles por día)</i>
<i>Estados Unidos</i>	2011	63.10959
<i>Alemania</i>	2011	52
<i>Argentina</i>	2011	47.34
<i>Brasil</i>	2011	46.05804
<i>Francia</i>	2011	34
<i>Indonesia</i>	2011	20
<i>España</i>	2011	12
<i>Italia</i>	2011	11.2
<i>Países Bajos</i>	2011	9.6
<i>China</i>	2011	7.8

Fuente: U.S. Energy Information Administration, eia.gov/

## 1.6 Motor diesel

El biodiesel se utiliza en el motor diesel, que es un motor de combustión interna que opera a base de calentamiento por compresión en el cilindro.

Es utilizado por sus ventajas que tiene sobre el motor de gasolina ya que se quema menos combustible, debido a la mayor temperatura que se maneja y la relación de compresión, al igual generando menos calor residual en el enfriamiento y escape <sup>[21]</sup>. Los motores de gasolina típicamente cuentan con un 30% de eficiencia, mientras los motores diesel tienen un 45% de eficiencia <sup>[22]</sup>. La vida de un motor diesel es aproximadamente el doble a uno de gasolina, debido a las partes utilizadas y el combustible diesel tiene mejores propiedades de lubricación <sup>[23]</sup>.

Su operación se efectúa de la siguiente manera:

*Entrada de aire:* La rotación del cigüeñal pone en movimiento una cadena dentada que hace girar el árbol de levas superior, que abre la válvula de admisión, a medida que el pistón baja, se inyecta el aire fresco en el cilindro.

*Compresión de aire:* A medida que el pistón sube, tanto las válvulas de admisión como la de escape permanecen cerradas y comienza la compresión del aire encerrado. Dado que está comprimiéndose en un espacio 23.5 veces menos que su volumen original, el aire se calienta mucho y alcanza una temperatura máxima de 1650 °F (900°C) muy por encima del punto de inflamación para el combustible diesel

*Inyección de combustible y potencia:* A medida que el pistón alcanza el tope superior de su carrera y la temperatura del aire comprimido llega al máximo, se inyecta un vapor de diesel en la recámara esférica. El aire caliente enciende el combustible, y su combustión provoca que la mezcla se expanda, mientras la flama se dispersa rápido desde la precámara hasta el cilindro. Conforme el pistón pasa por su tope, es movido hacia abajo por la fuerza de los gases en expansión producidos por la combustión, moviendo, a su vez, el cigüeñal y auto.

*Escape:* Conforme la energía de la combustión de la mezcla de combustible-aire se gasta y el pistón comienza a subir de nuevo, la válvula de escape se abre, limpiando el cilindro de gases quemados, y, cuando el pistón comienza a bajar, la carrera de la admisión de aire recomienza.

En la figura 1.4 se puede observar la operación en un motor de 4 cilindros y sus componentes.

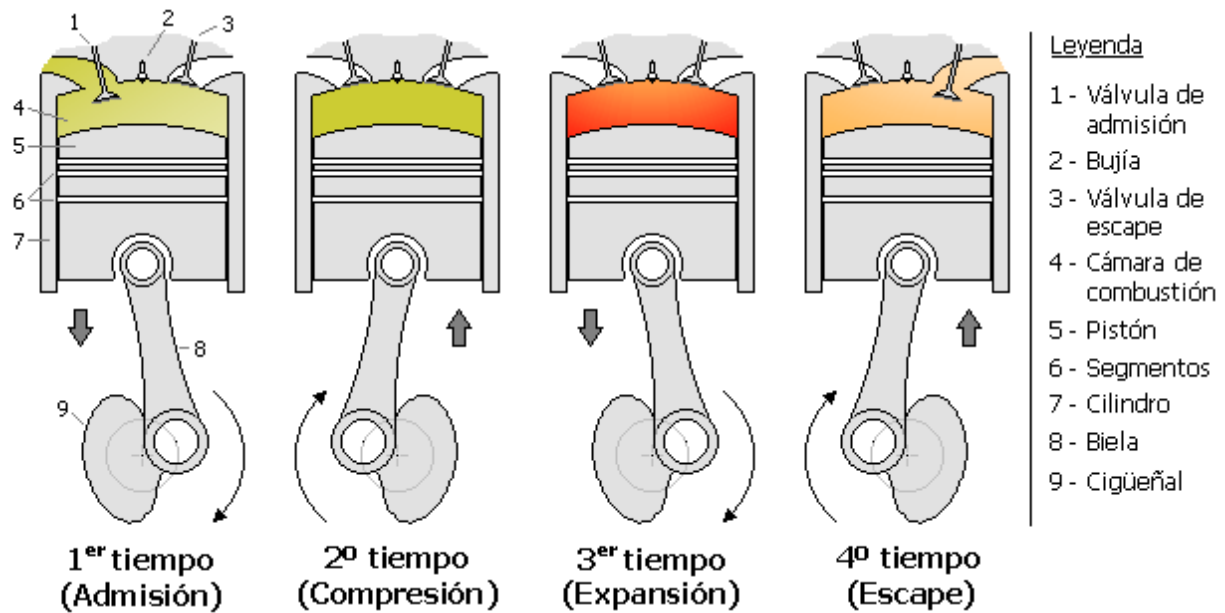


Figura 1.4 Operación de un motor diesel. Fuente: areatecnologia.com

El biodiesel es una buena opción como combustible alternativo ya que ofrece varias ventajas que le benefician al motor, salud y medio ambiente, al no contiene azufre, se puede mezclar con diesel convencional, actúa como lubricante, haciendo que los motores se desgasten menos y el sector agrícola puede tener autoabastecimiento creando cultivos energéticos.

El biodiesel cuenta con pocas desventajas y en algunos casos se pueden evitar, dependiendo del proceso, producir biodiesel puede ser más costoso que comprar diesel fósil. En algunos motores viejos, se ocupan cambiar partes, ya que puede disolver la goma y caucho. Se recomienda cambiar el filtro de combustible después de usar biodiesel, ya que remueve los depósitos, creando obstrucciones. A partir de cultivos energéticos, el costo de producción puede aumentar, ya que el proceso de siembra, fertilización y cosecha requieren de energía.

### 1.7 Comparación de emisiones

El biodiesel es el primer y único combustible alternativo que tiene una evaluación completa de las emisiones y los posibles efectos en la salud presentados a la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Las pruebas concluyen que el uso de biodiesel reduce todas las emisiones reguladas y muestran que no constituye una amenaza para la salud humana.

Tabla 1.3 Promedio de emisiones de Biodiesel

Tipo de Emisión	B100	B20
Total de hidrocarburos no quemados	-67%	-20%
Monóxido de carbón	-48%	-12%

<i>Materia en partículas</i>	-47%	-12%
<i>Óxidos de Nitrógeno (NOx)</i>	+10%	+2% a -2%
<i>Sulfatos</i>	-100%	-20%
<i>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos</i>	-80%	-13%
<i>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos con nitratos</i>	-90%	-50%
<i>Potencial de ozono</i>	-50%	-10%

Fuente: United States Environmental Protection Agency, epa.gov

El potencial de ozono (cantidad de destrucción de ozono) de las emisiones es 50% menos que el diesel fósil.

Las emisiones de óxidos de azufre y sulfatos (componentes principales de la lluvia ácida) del biodiesel son esencialmente eliminados en comparación con el diesel.

Las emisiones de monóxido de carbono de biodiesel son en promedio 48% menos que las emisiones de diesel.

La materia en partículas se ha demostrado que es un peligro para la salud humana, ya que esta constituida por varios componentes, incluyendo ácidos (tales como nitratos y sulfatos), productos químicos orgánicos, metales, y partículas de suelo o de polvo. Las emisiones de partículas de biodiesel son alrededor del 47% menos que las emisiones de partículas de diesel en general.

Las emisiones de hidrocarburos totales (un factor que contribuye en la formación localizada de smog y ozono) son en promedio 67% más bajo de biodiesel que el diesel.

Las emisiones de NOx, emisiones de óxidos de nitrógeno, un factor que contribuye a la formación localizada de smog y ozono, aumentan o disminuyen dependiendo de su proceso de fabricación y motores utilizados, adicionalmente, la falta de azufre en biodiesel permite el uso de tecnologías de control de NOx.

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), que pueden causar cáncer, los compuestos de HAP se redujeron en un 75% a 85%, con la excepción del benzo antraceno, que se redujo en aproximadamente un 50%.

Los compuestos nPAH se producen por una combustión incompleta, también se redujeron a niveles no significativos.

## 1.8 Comparación de características

En la tabla 1.4 se presenta la comparación de características entre el biodiesel y diesel convencional, publicado por el departamento de energía de Estados Unidos.

Tabla 1.4 Comparación entre Diesel y Biodiesel

	<i>Diesel</i>	<i>Biodiesel</i>
<i>Estructura Química</i>	C <sub>8</sub> a C <sub>25</sub>	Esteres de C <sub>12</sub> a C <sub>22</sub> , ácidos grasos
<i>Composición</i>	Petróleo crudo	Grasas o aceite vegetal
<i>Equivalente a un galón de gasolina</i>	Un galón de diesel tiene 113% de la energía de un galón de gasolina	B100 tiene 103% de la energía de un galón de gasolina o 93% de un galón de diesel. B20 tiene 109% de la energía de un galón de gasolina o 99% de un galón de diesel.
<i>Contenido (mínimo)</i>	<i>Energético</i> 35,801 kJ/L	33,321 kJ/L para B100
<i>Contenido (máximo)</i>	<i>Energético</i> 38,290 kJ/L	35,665 kJ/L para B100
<i>Estado Físico</i>	Líquido	Líquido
<i>Numero de cetano</i>	44-55	48-65
<i>Punto de ignición</i>	73.89 °C	100 a 170 °C
<i>Temperatura de auto ignición</i>	~315.6° °C	~148.9 °C
<i>Problemas de mantenimiento</i>		Mangueras y sellos pueden ser afectados por mezclar porcentajes elevados. Lubricidad es mejorado sobre el diesel fósil.
<i>Impacto</i>	Manufacturado del petróleo, un recurso no renovable e importado.	Biodiesel es producido domésticamente, es renovable, y reduce el uso de petróleo.

Fuente: United States Department of Energy, [afdc.energy.gov/](http://afdc.energy.gov/)

Como se puede observar en la tabla anterior, el biodiesel teniendo una mezcla de 20% (B20) tiene casi la misma energía que un galón de diesel fósil y sobrepasa la energía de un galón de gasolina por un 9%. Mientras teniendo B100 contiene 7% menos energía que un galón de diesel sigue siendo una mejor opción por razones ya descritas anteriormente.

El número de cetano es una medida de calidad de la combustión del combustible diesel (o biodiesel) durante su combustión (que tan rápido es la ignición y el quemado total del combustible).

## 1.9 Compatibilidad de materiales

B100 puede degradar algunas mangueras, empaques, sellos, pegamentos y plásticos con la exposición prolongada.

La mayoría de los elastómeros utilizados en automóviles después de 1993 son compatibles con B100 (Viton / teflón), tienen muy poca reacción a biodiesel y se encuentran entre los materiales que se pueden utilizar para actualizar equipos incompatibles.

La mayoría de los tanques destinados a almacenar el combustible son hechos de aluminio, acero y polietileno. Latón, bronce, cobre, plomo, estaño y zinc pueden acelerar el proceso de oxidación del biodiesel, la creación de los insolubles de combustible o geles y sales. Soldaduras de plomo y sus revestimientos de zinc se debe evitar, al igual que las tuberías de cobre, reguladores de latón y accesorios de cobre. Las mezclas de B20 e inferior reducen el impacto de los problemas de compatibilidad de metal.

La siguiente tabla proporcionada por la Secretaría de Energía muestra los materiales que pueden tener contacto con el biodiesel:

Tabla 1.5 Materiales para los equipos, tuberías, instalaciones, tanques, contenedores y demás elementos que tengan contacto directo con biodiesel

<i>Metales</i>	<i>Aluminio</i>
	<i>Acero</i>
	<i>Acero inoxidable</i>
	Viton
	Fluorosilicón
	Hifluor
	Fluorocarbono
	Chemraz
	Teflón
<i>Elastómeros</i>	Polipropileno
	Polietileno
<i>Polímeros</i>	Florados
	Nylon

Fuente: Secretaría de Energía, sener.gob.mx

El efecto de B20 en materiales vulnerables se diluye en comparación con las mezclas más altas. Puede producirse cierta oxidación lenta, aunque puede tomar más tiempo en materializarse. El biodiesel también puede afectar a algunos sellos, y adhesivos, en particular las realizadas antes de 1993 y los hechos de caucho natural o nitrilo. Es principalmente por estas razones que el vehículo y el equipo de almacenamiento se modifican. La mayoría de los motores fabricados a partir de 1994 se han construido con empaques y sellos que son generalmente resistentes a biodiesel.

## 1.10 Producción de biodiesel en México

La Secretaría de Energía publicó en la Prospectiva de Petrolíferos 2012-2026, una producción de 273.8 millones de barriles de diesel diarios, y al cierre de este mismo año, se sumaron 547.8 millones de barriles de petróleo crudo equivalentes, un incremento de 15.4% con respecto al año 2010.

En la tabla 1.6 nos muestra el origen del diesel que se tiene en México y su destino para consumo en miles de barriles diarios

Tabla 1.6 Origen y destino del Diesel en México

<i>Descripción</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>
<b>Origen</b>	397.524	409.454	413.997	428.065	442.227
<i>Producción</i>	289.505	273.767	358.818	366.025	393.002
<i>Cadereyta</i>	66.160	63.338	76.513	75.048	84.444
<i>Madero</i>	34.642	29.089	42.002	44.076	57.407
<i>Tula</i>	49.689	48.239	49.432	57.853	58.898
<i>Salamanca</i>	41.672	37.736	40.966	44.693	45.023
<i>Minatitlan</i>	37.698	34.119	84.462	76.600	78.856
<i>Salina Cruz</i>	59.645	61.246	65.443	67.756	68.374
<i>Importación</i>	108.019	135.687	55.179	62.040	49.226
<b>Destino</b>	390.190	401.150	413.997	428.065	442.227
<i>Demanda Interna</i>	390.190	401.150	413.997	428.065	442.227
<i>Sector Industrial</i>	24.497	27.357	28.714	29.423	30.150
<i>Sector Petrolero</i>	19.120	17.566	22.331	22.321	22.231
<i>Sector Transporte</i>	338.587	346.758	356.370	372.211	385.900
<i>Sector electrico</i>	7.986	9.469	6.582	4.199	3.946
<i>Generacion publica de electricidad (CFE y LyFC)</i>	6.192	7.605	4.808	2.425	2.172
<i>Generacion por particulares</i>	1.794	1.863	1.774	1.774	1.774
<i>Productores independientes de electricidad</i>	0.008	0.034	N/D	N/D	N/D
<i>Autogeneracion</i>	1.787	1.829	1.774	1.774	1.774

<i>de</i>	<i>energia</i>					
<i>electrica</i>						
<i>Exportacion</i>		0.414	N/D	N/D	N/D	N/D
<i>Variacion</i>	<i>de</i>	6.920	8.304	N/D	N/D	N/D
<i>inventario</i>						

Fuente:Secretaria de Energia, Sistema de Informacion Energetica

En el ultimo año del periodo 2012-2026, la demanda de diesel para el año 2026 será de 659.6 miles de barriles diarios. Con el sector de transporte demandando 593.3 miles de barriles diarios y un incremento anual de 3.6%, creciendo el parque vehicular el doble en el año 2026 alcanzando 2.2 millones de unidades, con una tasa de incremento anual de 6.4%.

La Secretaria de Energía en la publicación de ‘Potenciales y viabilidad de uso de bioetanol y biodiesel para el transporte de México’ (2006), se hicieron estudios sobre la producción de biodiesel en las refinerías de Salina Cruz, Tula, Minatitlan, Salamanca, Cadereyta y Madero, lo cual dio un costo de aproximadamente 7 millones de dólares por cada refinería para procesar biodiesel. Lo que incluye tanques de almacenamiento, tubería y sistema de mezclado. Se estimó un sistema con capacidad de almacenamiento de 20% de la producción del diesel PEMEX, lo que son dos tanques con una capacidad de 40,000 barriles para garantizar el abasto de biodiesel de 7 días.

La Secretaria de Energía en México, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) desarrollaron un estudio para evaluar el potencial de México para producir biocombustibles. El estudio consideró dos posibles biocombustibles, el etanol y el biodiesel. Las materias primas evaluadas para el caso del etanol fueron: sorgo, maíz, yuca, caña de azúcar y remolacha azucarera; para producir biodiesel se consideraron: palma de aceite, jatropha curcas, girasol, canola, cártamo, soya, sebo animal y aceite reciclado.

Asimismo, se consideraron aceites usados. El resultado del estudio arrojó que el maíz y la caña de azúcar resultan rentables para producir bioetanol, cuando el precio del mismo sea de por lo menos \$0.55 dólares/m<sup>3</sup>. En el caso del biodiesel, dado que al igual que el bioetanol, los costos de producción dependen significativamente de los costos de la materia prima, la producción inmediata podría basarse en el uso de materias primas de bajo costo como los aceites y las grasas residuales. Uno de los cultivos señalados como promisorios por la Secretaria de Energía, fue la jatropha curcas. En la figura 1.5, se muestran los costos para la producción de biodiesel por litro a partir de la jathropa.

COSTOS DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

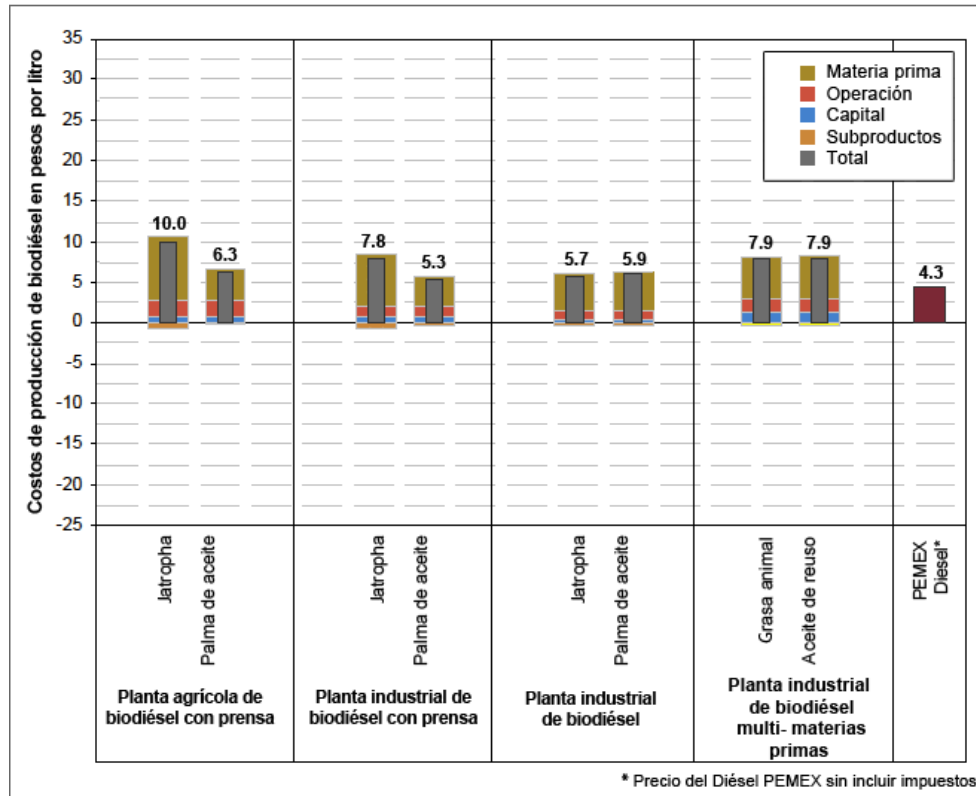


Figura 1.5 Costos de producción de biodiesel de jatropha. Fuente: bioenergeticos.gob.mx

Los costos de producción de biodiesel a partir del aceite de jatropha fueron elevados, ya que no se cultiva comercialmente en México. También se atribuye el alto costo de las materias primas que contribuye del 51% al 91% del costo total.

En el estado de Michoacán, actualmente, la jatropha, se explota de manera masiva para extraer aceite vegetal que podrá utilizarse para producir biodiesel, que inició con una siembra de 10 mil hectáreas <sup>[24]</sup>.

En México se cuenta con una producción de biodiesel a pequeña escala, contabilizando en la actualidad un total aproximado de 3.7 millones de litros anuales, aunque se han tenido algunos problemas para su comercialización de manera formal. La primera planta inaugurada en julio de 2005 se construyó por la empresa Grupo Energéticos, en Cadereyta, Nuevo León, utilizando sebo animal como materia prima, con una producción de aproximadamente 3.2 millones de litros/año, operando al 50% de su capacidad <sup>[25]</sup>.

## 1.11 Biodiesel en Baja California

Actualmente existen empresas recolectoras de aceite vegetal residual, que son clasificadas como prestadoras de servicio para el manejo de residuos de manejo integral <sup>[26]</sup>, con una empresa, Bioregeneradora, que produce y utiliza biodiesel <sup>[27]</sup>.

La Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT) inauguro en el año 2009 el *Programa de Implementación de Biocombustibles Ecológicos* en el cual los vehículos utilizados tendrán mezclas de biodiesel <sup>[28]</sup>.

En el municipio de Ensenada, existe un proyecto para el desarrollo de biocombustibles a partir de algas. El operador del proyecto, Genesis Ventures, desarrolló instalaciones para el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), donde también participara la empresa *OriginOil*, desarrolladora de tecnología para transformación de algas <sup>[29]</sup>.

## 1.12 Materia prima para producción de Biodiesel en Baja California

**Aceite Vegetal Residual:** Como se mencionó anteriormente, se estima que en Baja California se genera anualmente 10 millones de litros de aceite vegetal residual. Los cuales tienen origen del sector restaurantero, cafeterías (tanto maquiladoras como escuelas) y residencias. Se debe considerar el uso de estos residuos para la producción de biodiesel, ya que generan problemas ambientales al no ser desechados de manera apropiada y problemas en tuberías de drenaje.

**Grasas:** Se estima que en Baja California se generan más de 6,000 toneladas de grasas bovinas anualmente <sup>[30]</sup>. El cual se le puede dar uso en la producción de biodiesel utilizando un proceso de esterificación y transesterificación. La comisión estatal de servicios públicos de Tijuana para mitigar los impactos negativos por las descargas de grasas y aceites, lanzo el programa “Atrapa la grasa” lo cual su objetivo principal es *“concientizar y capacitar a todas las Industrias, Comercios y Servicios que por la naturaleza de su actividad o por prestaciones que ofrezcan a sus empleados, preparen o sirvan alimentos que estén en contacto con grasas o aceites comestibles dentro de su establecimiento; y que en cualquier momento puedan ser descargados como residuos de grasas y aceites al sistema de alcantarillado”*. Por esto, para reducir las aportaciones de grasas y aceites que cada establecimiento descarga y para mitigar los posibles trastornos (taponamientos) del sistema de alcantarillado provocados por la acumulación de residuos de grasas y aceites; el programa promueve un dispositivo denominado TRAMPA DE GRASAS que una vez instalado “atrapa la grasa” y la separa del agua, permitiendo así removerla de una forma accesible y sencilla para posteriormente disponerla en la basura o con un proveedor <sup>[31]</sup>.

## 2. Materiales y Métodos

La transesterificación se puede llevar a cabo con catalizadores alcalinos. Los catalizadores comúnmente utilizados son Hidróxido de Sodio e Hidróxido de Potasio. Para esta reacción, el aceite debe tener niveles bajos de ácidos grasos libres (aproximadamente 5%), al tener un nivel alto de ácidos grasos interfiere con el catalizador, creando una reacción incompleta <sup>[32]</sup>.

Los alcoholes usados para la producción de biodiesel son etanol y metanol. Típicamente, el metanol es utilizado ya que el tiempo de reacción es más rápida y tiene un costo más bajo en comparación con etanol <sup>[33]</sup>.

El diseño será una planta piloto de producción de biodiesel a pequeña escala, que pueda satisfacer las necesidades personales, a partir de aceite vegetal. Para la planta de producción se deben de utilizar tanques estacionarios resistentes a la corrosión para el procesamiento de biodiesel, en nuestro caso se utilizaran tanques de polietileno con fondo cónico para una fácil separación de glicerina y biodiesel (Consultar anexos 6,7 y 8 para mayor información).

Se requiere de un equipo de titulación para conocer el porcentaje de ácidos grasos libres que existen en el aceite vegetal, así poder determinar la cantidad de catalizador a utilizar y equipo de seguridad que consiste de una bata, gafas de seguridad, respiradores con cartuchos contra gases orgánicos y guantes de nitrilo.

Utilizando como referencia el listado de materiales proporcionado por la Secretaria de Energía, se utilizara tubería de acero, ya que el biodiesel no reacciona con dicho material.

Se requiere de una bomba centrífuga para hacer la recirculación en la producción de metóxido y biodiesel. La bomba que se utilizara para el proceso de producción de biodiesel es una bomba centrífuga para agua, marca IRONTON (Figura 2.1). Las especificaciones técnicas con las siguientes:

Tabla 2.1 Especificaciones de bomba

<i>Descripción</i>	<i>Especificaciones</i>
<i>Motor</i>	110V, 60 Hz, una fase
<i>Potencia</i>	½ HP
<i>Elevación de aspiración*</i>	20 pies
<i>Altura de impulsión**</i>	110 pies
<i>Flujo Máximo</i>	720 galones por hora
<i>Orificio de admisión</i>	1 pulgada
<i>Orificio de salida</i>	1 pulgada

\*Elevación de aspiración: Distancia vertical que la bomba puede estar por encima de la fuente de líquido

\*\*Altura de impulsión: Distancia vertical a la que se puede bombear el líquido



Figura 2.1 Bomba IRONTON de ½ hp Fuente: Propia

Para el precalentamiento del aceite se utiliza una resistencia de 2000 watts/127 volts, con termostato para regular la temperatura (Figura 2.2), se pueden utilizar calentadores de mayor potencia para reducir el tiempo de precalentado sin tener mayor afectación en el consumo de electricidad. Los cálculos comparativos se pueden observar en la parte de *Análisis, disponibilidad y costo de los suministros e insumos* de este trabajo.

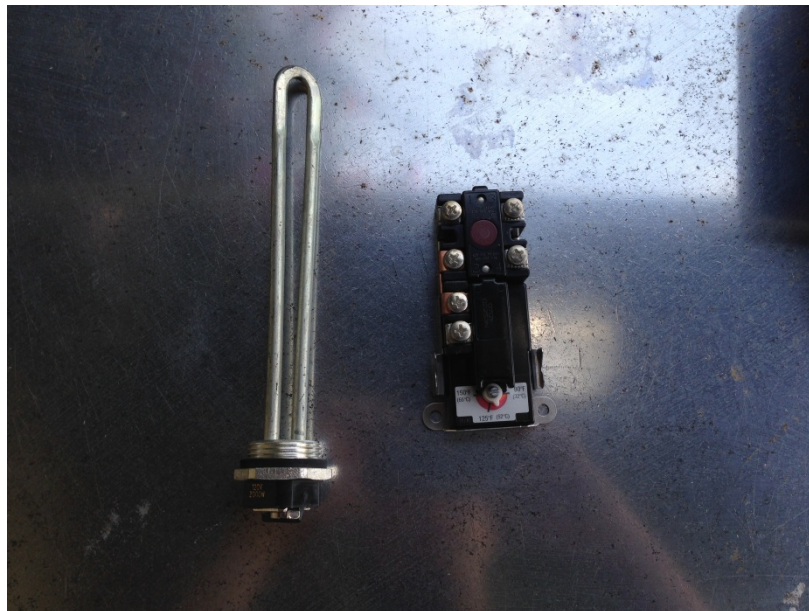


Figura 2.2 Resistencia de 2000W con termostato Fuente: Propia

## 2.1 Seguridad

Se debe de utilizar equipo de seguridad en todo momento, ya que algunos de los materiales utilizados son dañinos.

Se recomienda usar bata, guantes de nitrilo, lentes de protección y respiradores con cartuchos contra gases orgánicos (Figura 2.3).

El manejo del metanol, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, metóxido de potasio y metóxido de sodio deben de ser en lugares ventilados ya que son productos inflamables y se puede dar envenenamiento por ingestión, inhalación o absorción cutánea en los seres humanos. Se debe de tener agua abundante en caso de contacto con cualquiera de estos materiales.

El metóxido crea una reacción exotérmica, lo que significa que cede calor al ambiente, se debe de producir en lugares ventilados.

Se recomienda que los ácidos y alcoholes que se utilizan en el proceso de producción de biodiesel deban de estar almacenados en tanques estacionarios y estar separados, ya que en caso de derrame pueden causar reacción.

Consultar anexos 1, 2 y 3 para hojas de seguridad de hidróxido de sodio, metanol y metóxido de sodio.



Figura 2.3 Equipo de seguridad. Fuente: Propia

## 2.2 Descripción e implementación del proceso

En el siguiente diagrama se muestra el proceso simple para elaborar biodiesel de aceite vegetal:



Figura 2.4 Proceso de producción de biodiesel. Fuente: Propia

## 2.3 Recolección y eliminación de impurezas

El aceite vegetal residual utilizado es generado por el sector restaurantero, dado que no se sabe la cantidad de ácidos grasos libres, se realiza una titulación, la cual debe contener un nivel menor a 5% para que la transesterificación alcalina se lleve a cabo. También se tiene que tomar en cuenta que puede contener partículas de comida o agua, normalmente se puede dejar en reposo y por diferencia de densidades se separan del aceite quedando de bajo del contenedor. Para separarlos existen diversas opciones:

- Utilizar un sifón para la extracción de aceite
- Almacenar el aceite en un tanque con drenado
- Utilizar un filtro para remover los sólidos
- Evaporar el agua utilizando una fuente de calor

Tomando una densidad promedio del aceite vegetal a 20°C es de  $910 \frac{kg}{m^3}$  [34], y un calor específico de  $1.675 \frac{kJ}{Kg \cdot ^\circ K}$  [35], se puede estimar la energía que se necesita para calentar 55 litros (Capacidad de tanque de un automóvil tipo sedán) de aceite a 60°C, para la evaporación del agua y la reacción de transesterificación.

$$\rho = \frac{m}{v} \therefore m = \rho v$$

$$m = 910 \frac{kg}{m^3} (0.055 m^3) = 50.05 kg$$

$$Q = mc_p \Delta T = (50.05 kg) (1.675 \frac{kJ}{Kg \cdot ^\circ K}) (333.15 - 293.15) ^\circ K$$

$$Q = 3,353,350 J$$

Para estimar el tiempo en el cual se calentara el aceite a la temperatura apropiada se utiliza una resistencia de inmersión para el calentamiento de 2000 watts / 120V.

$$t = \frac{3,353,350 J}{2000 \frac{J}{s}} \approx 1677 \text{ segundos} \approx 0.46 \text{ horas} = 28 \text{ minutos}$$

De igual forma se puede estimar el tiempo con una resistencia de inmersión de 4000 watts/ 240V.

$$t = \frac{3,353,350 J}{4000 \frac{J}{s}} \approx 838 \text{ segundos} \approx 0.23 \text{ horas} = 14 \text{ minutos}$$

## 2.4 Titulación

La titulación se utiliza en el proceso de producción de biodiesel para comprobar el nivel de ácidos grasos libres que existen en el aceite y si se requiere aumentar el número de gramos del catalizador que se debe utilizar, ya que los ácidos grasos neutralizan el catalizador, impidiendo una reacción completa en el proceso. Como indicador se utiliza la fenolftaleína, que cambia su color cuando se tiene la cantidad de catalizador que se necesita para neutralizar los ácidos grasos (Figura 2.5).



Figura 2.5 Titulación de aceite vegetal. Fuente: Propia

## 2.5 Calentamiento y selección de catalizador

Investigadores han utilizado un tiempo de reacción de una a cuatro horas, y las temperaturas de 60°C a 65°C, aunque algunos sugieren temperaturas más bajas <sup>[36]</sup>.

Los catalizadores que se pueden utilizar son hidróxido de sodio o hidróxido de potasio. Ambos son utilizados para una gran variedad de cosas y son fáciles de conseguir. Se recomienda utilizar hidróxido de potasio ya que se disuelve más rápido en metanol y en algunos casos, tiene mejor rendimiento que el hidróxido de sodio, pero es más costoso y puede formar más jabón durante el proceso <sup>[37]</sup>. El hidróxido de sodio es recomendable cuando se tiene un mezclador automático, ya que es más tardado que se disuelva con el metanol.

Ambos catalizadores son altamente higroscópicos, lo que significa que absorben la humedad, esto da lugar a problemas en el proceso, por lo que se deben de tener almacenados en recipientes herméticos.

## 2.6 Metóxido

La mezcla de metanol con hidróxido de sodio se le llama metóxido de sodio. Para elaborar el metóxido se recomienda utilizar 200 mililitros de metanol y 3.5 gramos de hidróxido de sodio [38], a esto se le tiene que sumar un gramo por cada mililitro que se obtenga durante la titulación por cada litro de aceite. Utilizando el tanque inductor de 15 galones para producir metóxido, se abren las válvulas 1 y 2 para recircular el metanol con el hidróxido de sodio mediante la bomba (Figura 2.6).

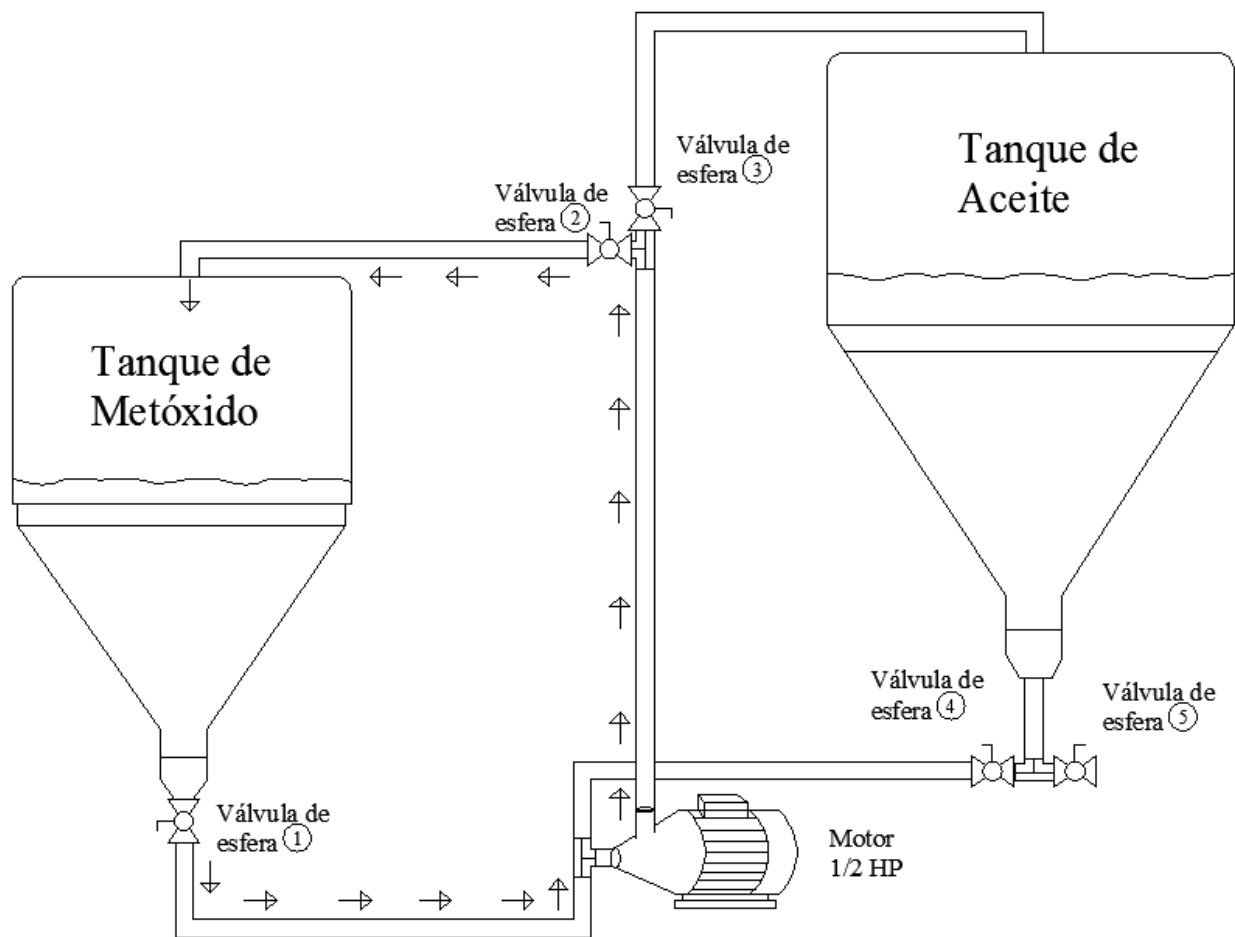


Figura 2.6 Mezcla de metanol y catalizador. Fuente: Propia

## 2.7 Mezcla

El aceite vegetal residual requiere de precalentamiento para disminuir su viscosidad y mejorar la recirculación, ya calentado se vierte al tanque de aceite, donde el metóxido utilizado se agregará

lentamente. La mezcla se debe de tener en constante agitación por un tiempo mínimo de 30 minutos. En esta fase es donde ocurre la transesterificación.

Para la mezcla del metóxido con el aceite se abren las válvulas 1 y 3, cerrándose la válvula 2. Cuando el tanque de metóxido está por vaciarse se abre la válvula 4 y se cierra la válvula 2 (Figura 2.7). Así se está recirculando toda la mezcla constantemente

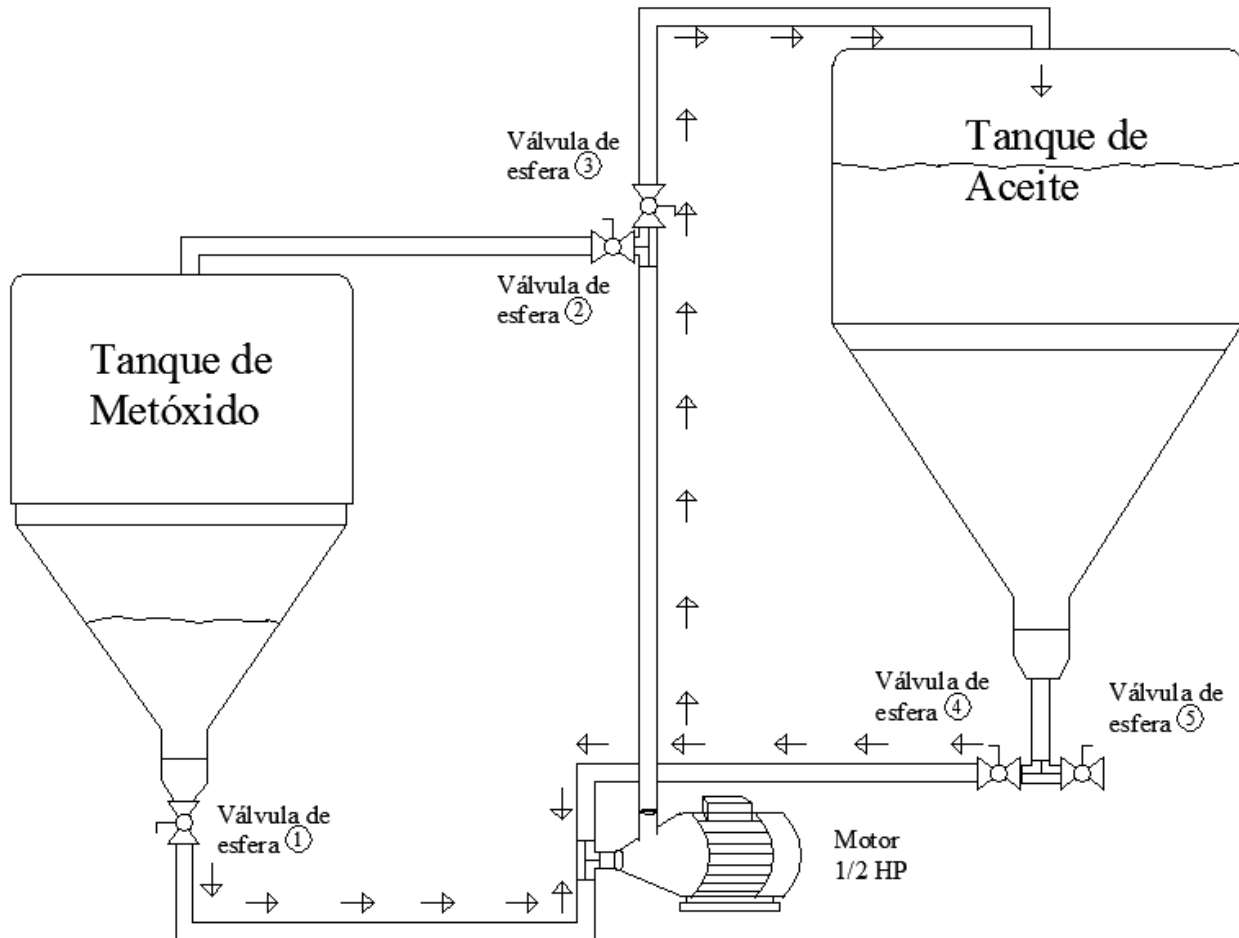


Figura 2.7 Mezcla de metóxido y aceite vegetal. Fuente: Propia

## 2.8 Reposo y separación

En la fase de reposo se debe de dejar que la mezcla se separe, se producirán dos capas por diferencias de densidades, una de glicerina, con residuos de metanol, catalizador y jabón (cuando se tienen ácidos grasos libres), teniendo mayor densidad, estará reposando en la parte inferior, y el biodiesel, teniendo una menor densidad reposa en la parte superior.

Aprovechando el fondo cónico que tiene el tanque inductor, se puede hacer un drenado por gravedad fácil y rápido utilizando la válvula 5 (Figura 2.8).

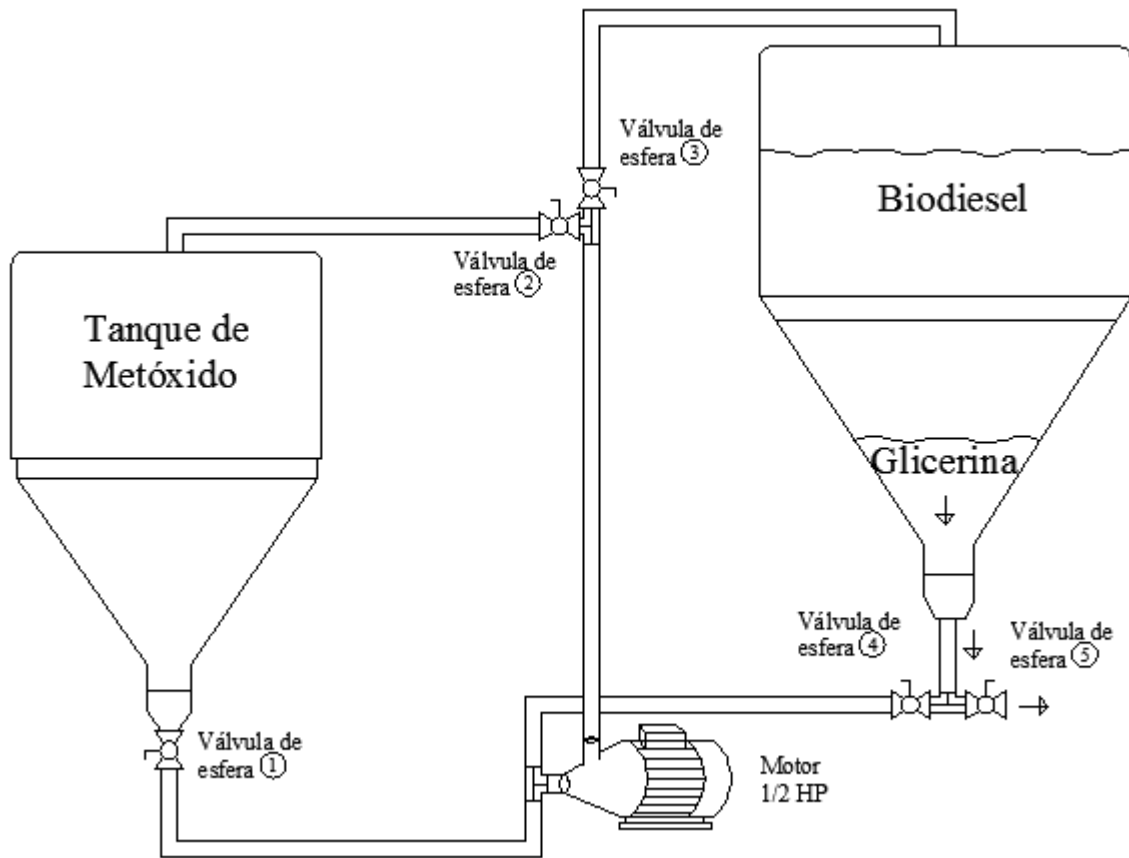


Figura 2.8 Separación de biodiesel y glicerina. Fuente: Propia

## 2.9 Purificación

Siguiendo la separación de la glicerina y biodiesel, el biodiesel puede contener impurezas, para removerlas existen varios métodos:

- **Lavado:** El lavado utilizando agua sirve para remover todo catalizador, jabón, metanol y glicerol libre que estén presentes en el biodiesel. Después del lavado, el agua y biodiesel se separan por diferencia de densidades <sup>[39]</sup>, removiendo el agua, el biodiesel tiene que ser calentado para eliminar cualquier partícula de agua que quede en él.
- **Adsorción (Lavado en seco):** Resinas de intercambio iónico son utilizados para procesos de purificación y descontaminación, en el biodiesel se utiliza para remover agua y otras impurezas que contenga después del proceso <sup>[40]</sup>.

## 2.10 Calidad

Existen varios parámetros convencionales para verificar la calidad del biodiesel, los más utilizados son los siguientes:

- **3/27:** Esta prueba se utiliza para identificar qué tan bueno es el Biodiesel producido. Solo se debe de mezclar 3 mililitros de biodiesel con 27 mililitros de metanol. Los triglicéridos no se disolverán en el metanol y se depositan en el fondo como una burbuja no disuelto de aceite. Cualquier cantidad de este aceite significa que el combustible no reaccionó bien. Si el biodiesel se disuelve en el metanol significa que es de buena calidad, ya que no tiene triglicéridos, lo que da una reacción completa <sup>[41]</sup>.
- **Gravedad específica:** La gravedad específica del biodiesel varía con su composición de ácidos grasos y su contenido de glicerina. Los aceites vegetales normalmente tienen una densidad relativa de 0.903 a alrededor de 0.921. El biodiesel tendrá un intervalo de aproximadamente desde 0.86 hasta 0.90. Utilizando un hidrómetro se puede conocer la gravedad específica.
- **PhLip:** Esta prueba permite detectar si el biodiesel contiene catalizador, glicerina, jabón, ácidos y oxidación.
- **Punto de turbidez:** El punto de turbidez de un líquido es la temperatura en la cual los sólidos disueltos ya no son completamente solubles. Esta prueba se puede realizar bajando la temperatura del ambiente de biodiesel, hasta que se detecte turbidez en este.
- **Claridad:** En la etapa final de proceso habrá dos capas distintas, capa de biodiesel en la parte superior y una capa de glicerol inferior (usualmente contaminado con catalizador, el alcohol, o las partículas de alimentos). Algunas veces, habrá una capa entre la glicerina y el biodiesel. Esta capa es jabón por el exceso de catalizador o de agua.

Para producción de biodiesel a gran escala se recomienda utilizar las especificaciones de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM). El ASTM es un organismo de normalización de los Estados Unidos, donde se establecen las especificaciones que debe de contener el biodiesel.

En las siguientes tablas se muestran las propiedades que debe tener el biodiesel puro (B100) y la mezcla 80% diesel fósil y 20% biodiesel (B20). Cabe mencionar que en algunos casos se utilizan métodos de prueba por estándares europeos

Tabla 2.2 Requerimientos para B100

<i>Propiedad</i>	<i>Método de prueba</i>	<i>Limites</i>	<i>Unidades</i>
<i>Calcio y Magnesio</i>	EN14538	5 máximo	ppm

<b>Agua y Sedimento</b>	D2709	0.050 máximo	% volumen
	<b>Punto de inflamabilidad</b>	D93	93 mínimo °C
<b>Viscosidad</b>	D445	1.9 – 6.0	mm <sup>2</sup> /segundo
<b>Cinemática a 40 °C</b>			
<b>Ceniza Sulfatada</b>	D874	0.020 máximo	% masa
<b>Azufre</b>			
<b>Grado S15</b>	D5453	0.0015 máximo	ppm
<b>Grado S500</b>	D5453	0.05 máximo	ppm
<b>Corrosión de cobre</b>	D130	3 máximo	
<b>Control de alcohol</b> <i>(Se debe de cumplir una de las siguientes)</i>			
<b>1. Contenido de Metanol</b>	EN14110	0.2 máximo	% masa
<b>2. Punto de inflamabilidad</b>	D93	130 mínimo	°C
<b>Numero de Cetano</b>	D613	47 mínimo	
<b>Punto de turbidez</b>	D2500		°C
<b>Numero Acido</b>	D664	0.50 máximo	mg KOH/g
<b>Residuo de carbono</b>	D4530	0.05 máximo	% masa
<b>Glicerina Libre</b>	D6584	0.02	% masa
<b>Glicerina Total</b>	D6584	0.24	% masa
<b>Fósforo</b>	D4951	10 máximo	ppm
<b>Destilación</b>	D1160	360 °C máximo	°C
<b>Sodio y Potasio</b>	EN14538	5 máximo	ppm
<b>Estabilidad Oxidativa</b>	EN14112	3 mínimo	Horas
<b>Filtración en frio</b>	D7501	360 máximo y 200 máximo para temperaturas de bajo de -12 °C	segundos

Fuente: United States Department of Energy, [afdc.energy.gov/](http://afdc.energy.gov/)

De igual forma, se establecieron requerimientos para mezclas de 6% biodiesel a 20% biodiesel.

Tabla 2.3 Requerimientos para B6-B20

<b>Propiedad</b>	<b>Método de prueba</b>	<b>Limites</b>	<b>Unidades</b>
<b>Agua y Sedimento</b>	D2709	0.050 máximo	% volumen
	<b>Punto de inflamabilidad</b>	D93	52 mínimo °C
<b>Viscosidad</b>	D445	1.9 – 4.1	mm <sup>2</sup> /segundo
<b>Cinemática a 40 °C</b>			
<b>Azufre</b>			
<b>Grado S15</b>	D5453	0.0015 máximo	ppm
<b>Grado S500</b>	D5453	0.05 máximo	ppm
<b>Corrosión de cobre</b>	D130	3 máximo	

<i>Numero de Cetano</i>	D613	40 mínimo	
<i>Punto de Turbidez</i>	D2500		°C
<i>Numero Acido</i>	D664	0.3 máximo	mg KOH/g
<i>Residuo de carbono</i>	D524	0.35 máximo	% masa
<i>Destilación</i>	D86	343 °C máximo	°C
<i>Lubricidad a 60°C</i>	D6079	5 máximo	ppm
<i>Estabilidad Oxidativa</i>	EN15751	6 mínimo	Horas
<i>Contenido de biodiesel</i>	D7371	6-20	% volumen

Fuente: United States Department of Energy, [afdc.energy.gov/](http://afdc.energy.gov/)

- **Métodos de prueba ASTM**

En las siguientes tablas se muestran los estándares con los que debe cumplir el biodiesel a mayor escala y su importancia

Tabla 2.4 Métodos de Prueba ASTM

<i>Estándar</i>	<i>Importancia</i>
<i>D86</i>	La ebullición da información sobre la composición, las propiedades y el comportamiento del combustible durante el almacenamiento y el uso. La volatilidad es el principal determinante de la tendencia de una mezcla de hidrocarburos para producir vapores potencialmente explosivos. La presencia de componentes de alto punto de ebullición en estos y otros combustibles puede afectar significativamente el grado de formación de depósitos sólidos de combustión
<i>D93</i>	El punto de inflamación es una medida de la temperatura más baja a la que un combustible se puede vaporizar para formar una mezcla inflamable en el aire. Se utiliza en los reglamentos de policía y de seguridad para definir los materiales inflamables y combustibles.
<i>D130</i>	La prueba de corrosión de cobre está diseñada para evaluar el grado relativo de corrosividad de un producto derivado del petróleo.
<i>D445</i>	Muchos de los productos derivados del petróleo, y algunos materiales no derivados del petróleo, se utilizan como lubricantes, y el correcto funcionamiento de los equipos depende de la viscosidad adecuada del líquido que se utiliza. Además, la viscosidad de muchos combustibles derivados del petróleo es importante para la estimación de almacenamiento óptima, la manipulación, y las condiciones operativas.
<i>D613</i>	El número de cetano proporciona una medida de las características de ignición del combustible diesel en los motores de encendido por compresión. Esta prueba puede usarse para combustibles no convencionales como las fibras sintéticas, aceites vegetales, y similares.

<i>D664</i>	Productos derivados del petróleo, biodiesel y mezclas de biodiesel pueden contener componentes ácidos que están presentes como aditivos o como productos de degradación formados durante el servicio, tales como productos de oxidación. El número de ácido es una medida de esta cantidad de sustancia ácida en el aceite. El número ácido se utiliza como una guía en el control de calidad de formulaciones de aceite lubricante. También se usa a veces como medida de la degradación del lubricante.
<i>D874</i>	La ceniza sulfatada se puede utilizar para indicar la concentración de los aditivos que contienen metales conocidos en aceites.
<i>D1160</i>	Se utiliza para la determinación de las características de destilación de productos derivados del petróleo y biodiesel. Se puede utilizar en los cálculos de ingeniería para diseñar equipos de destilación, para preparar mezclas apropiadas de uso industrial, para determinar el cumplimiento de las normas reglamentarias, para determinar el uso del producto, o para otros usos. La ebullición está directamente relacionado con la viscosidad, presión de vapor, el valor de calentamiento, el peso molecular propiedades físicas y químicas. Cualquiera de estas propiedades puede ser el factor determinante del uso del producto.
<i>D2500</i>	Para los productos derivados del petróleo y el biodiesel, el punto de turbidez de un producto es un índice de la temperatura más baja de su utilidad para ciertas aplicaciones.
<i>D2709</i>	Cantidades apreciables de agua y sedimentos en un combustible tienden a causar el ensuciamiento de las instalaciones de manejo de combustible y dar problemas en el sistema de combustible de un quemador o en el motor. Una acumulación de sedimentos en los tanques de almacenamiento y en los filtros puede obstruir el flujo desde el depósito a la cámara de combustión. El agua en los combustibles puede causar la corrosión de los tanques y equipos, y si está presente detergente, el agua puede causar emulsiones o un aspecto brumoso.
<i>D4530</i>	Esta prueba sirve como una aproximación para saber la tendencia del material a formar depósitos de tipo carbonoso.
<i>D5453</i>	Algunos catalizadores de proceso utilizados en el petróleo y refinación química pueden envenenarse cuando pequeñas cantidades de materiales que contienen azufre están contenidas en las materias primas. Esta prueba se puede utilizar para determinar el azufre en proceso y en los productos acabados.
<i>D6079</i>	El equipo de inyección de combustible tiene dependencia de las propiedades de lubricación del diesel. La vida corta de los componentes del motor, tales como bombas e inyectores, a

<i>D6584</i>	<p>veces se ha atribuido a la falta de lubricidad en el diesel. Esta prueba está diseñada para evaluar las propiedades de lubricación.</p> <p>Un alto contenido de glicerina libre puede causar problemas durante el almacenamiento, o en el sistema de combustible, debido a la separación de la glicerina. Un alto contenido total de glicerina puede dar lugar a la incrustación del inyector y también puede contribuir a la formación de depósitos en los inyectores, pistones, y válvulas</p>
<i>D7371</i>	<p>El biodiesel es utilizado principalmente como componente de mezcla con el combustible diesel. Esta prueba es aplicable para el control de calidad en la producción y distribución de combustible diesel y mezclas de biodiesel.</p>
<i>D7501</i>	<p>Algunas sustancias que son solubles o parezcan ser soluble en biodiesel (B100) a temperatura ambiente, en temperaturas frías o durante largos periodos de tiempo, pueden salir de la solución. Estas sustancias pueden causar el tapado del filtro. Esta prueba proporciona un medio para evaluar la presencia de estas sustancias en el B100 y su probabilidad de tapar filtros.</p>

Fuente: ASTM International, [astm.org/](http://astm.org/)

- **Métodos de prueba Europeos**

Tabla 2.5 Métodos de prueba europeos

<i>Estándar</i>	<i>Importancia</i>
<i>EN14110</i>	Utilizado para la medición de metanol residual en B100. Alto contenido de metanol puede aumentar la presión de vapor y aumentar la inflamabilidad
<i>EN14112</i>	La oxidación en el biodiesel puede resultar en la formación de varios ácidos o polímeros, que conduce al engrosamiento de combustible, la obstrucción del filtro, obstrucción de inyectores y problemas en el sistema de combustible
<i>EN14538</i>	La presencia de calcio y magnesio pueden formar sólidos abrasivos, y resultar en un desgaste excesivo a los inyectores, bombas de combustible, pistones, y anillos. El calcio y el magnesio también pueden estar presentes como jabones metálicos solubles en B100, que pueden contribuir obstrucción de filtros y crear depósitos en el motor
<i>EN15751</i>	Utilizado para determinar el valor de estabilidad a la oxidación de biodiesel (B100) y mezclas de biodiesel (> B2). Comparable con estándar EN14112.

Fuentes: [crawfordscientific.com/Agilent\\_J\\_W\\_Biodiesel.htm](http://crawfordscientific.com/Agilent_J_W_Biodiesel.htm), [paragonlaboratories.com](http://paragonlaboratories.com), [cennatek.ca/analytical/biodiesel/oxidation-stability-according-to-en-14112/](http://cennatek.ca/analytical/biodiesel/oxidation-stability-according-to-en-14112/),

## 2.11 Glicerina

La glicerina es un líquido viscoso incoloro, inodoro, higroscópico y dulce. Tiene una amplia variedad de aplicaciones, tales como emulsionante, agente suavizador, plastificante, agente estabilizador y humectante para pastelería, heladería y tabaquería; en lociones corporales, enjuagues bucales e innumerables preparados farmacéuticos y cosméticos; como medio protector para congelamiento de glóbulos rojos, esperma, córneas y otros tejidos; en tintas de impresión, resinas de pinturas; mezclas anticongelantes; y como materia prima para la nitroglicerina <sup>[42]</sup>.

La demanda global de glicerina en el año 2011 era de 1,995.5 kilo toneladas, con un crecimiento estimado de 7.7% anualmente, se espera que llegue a 3,060.4 kilo toneladas para el año 2018. Con ingresos monetarios de aproximadamente 2.1 billones de dólares <sup>[43]</sup>.

La glicerina es el subproducto de la producción de biodiesel, contiene metanol, jabón, y catalizador. Se tiene que someter a un proceso de purificación para ser utilizada para producir los bienes ya mencionados en esta sección.

## 2.12 Recuperación de metanol

Cuando el proceso se termina, tanto el biodiesel como la glicerina contienen un exceso de metanol que puede ser recuperado <sup>[44]</sup> y reutilizado para hacer menos costoso el siguiente proceso y utilizar la glicerina para otros propósitos. El consumo del metanol es aproximadamente 10% del peso del aceite utilizado, y el resto es el exceso utilizado para la reacción <sup>[45]</sup>. Aproximadamente el 40 a 50% del metanol residual del proceso de biodiesel queda en la glicerina <sup>[46]</sup>, para la recuperación se necesita calentar la glicerina (El metanol a una atmósfera, hierve a los 64.7 °C y se evapora mucho antes) y condensarlo.

Después de la recuperación se necesita hacer una prueba de calidad, ya que durante el proceso la calidad del metanol baja, para esto se debe saber la gravedad específica del metanol utilizando un hidrómetro.

La gravedad específica de metanol puro a 20 °C es: 0.7913. A medida que el metanol absorbe el agua aumentará su peso específico alcanzando un máximo de 1.0 a 20 ° C. Si tenemos un peso específico de 0.8957 luego tenemos una solución de mitad de agua y mitad de metanol desde 0.8957 es la mitad de camino entre 0.7913 y 1.000. Esto nos lleva a la fórmula de:

Pureza de metanol =  $(1 - \text{gravedad específica})/0.2087$  <sup>[47]</sup>.

### 3. Resultados

#### 3.1 Análisis de costos

Con el análisis de costos se pretende saber la inversión inicial que se necesita para la construcción de un prototipo para producir biodiesel a pequeña escala, ya sea para satisfacer necesidades personales, venta o para prácticas escolares.

Se debe evaluar principalmente lo más importante, el equipo de seguridad que se debe de utilizar, los costos de la materia prima y el equipo que se requiere para la producción y almacenamiento de este.

Tabla 3.1 Costo de equipo de seguridad personal

<i>Nombre</i>	<i>Costo (pesos)</i>
<i>Guantes de nitrilo</i>	140.00
<i>Gafas de seguridad</i>	57.15
<i>Bata</i>	200.00
<i>Respirador</i>	419.10
<b><i>Total</i></b>	<b>816.25</b>

Tabla 3.2 Costo de insumos requeridos para titular el aceite vegetal

<i>Nombre</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Cantidad necesaria</i>	<i>Calidad mínima</i>	<i>Costo (pesos)</i>
<i>Alcohol Isopropílico</i>	Litro	.010	99%	3.20
<i>Fenólfaleína</i>	Litro	<.001	1% - 5%	0.12
<i>Agua destilada</i>	Litro	1	-	0.03
<i>Hidróxido de Sodio</i>	Gramo	1	99%	.08
<b><i>Total</i></b>				<b>3.45</b>

Tabla 3.3 Costo materia prima e insumos requeridos para procesar un litro de aceite vegetal

<i>Nombre</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Cantidad necesaria</i>	<i>Calidad mínima</i>	<i>Costo (pesos)</i>
<i>Aceite Vegetal</i>	Litro	1	N/A	--
<i>Metanol</i>	Litro	.200	95%	2.38
<i>Hidróxido de Sodio</i>	Gramo	3.5	99%	.08
<b><i>Total</i></b>				<b>2.46</b>

Nota: Para el costo de la materia prima se tomaron en cuenta los precios de tambo de 200 litros de metanol (2180 pesos, IVA incluido) y el costo de saco de hidróxido de sodio de 22.69 kilos (500.90 pesos, IVA incluido). Para más información consultar anexos 4 y 5 (Tipo de cambio utilizado es de 12.70 pesos por dólar).

Tabla 3.4 Costo de equipo principal

<i>Nombre</i>	<i>Costo (pesos)</i>
<i>Tanque inductor de Polietileno de 60 galones</i>	2134.87
<i>Tanque inductor de Polietileno de 15 galones</i>	835.66
<i>Base para tanque de 15 galones</i>	720.73
<i>Bomba centrífuga de 720 galones por hora</i>	1168.4
<i>Tanque de almacenamiento de 1,000 Litros</i>	1,000.00
<i>Resistencia con termostato</i>	341.31
<i>Tubería</i>	1,950.00
<i>Total</i>	<b>8,150.97</b>

Nota: Consultar anexos 6, 7 y 8 para especificaciones de tanques inductores.

Sumando el costo de los equipos, materia prima e insumos, podemos calcular la inversión inicial que se requiere:

Tabla 3.5 Inversión Inicial

<i>Nombre</i>	<i>Costo (pesos)</i>
<i>Equipo de seguridad</i>	816.25
<i>Tambo de 200 L de metanol</i>	2180.00
<i>Saco de 22.69 kilos de hidróxido de sodio</i>	500.90
<i>Equipo principal</i>	8,150.66
<i>Total</i>	<b>11,647.81</b>

### 3.2 Energía eléctrica

El consumo eléctrico que provendrá del equipo, será de la bomba para la recirculación y la resistencia de inmersión. Para calcular el consumo se necesita saber la zona y las tarifas que la rigen.

La Comisión Federal de Electricidad divide México para la aplicación de los cargos de las tarifas con diferencias por región, la región utilizada para estos cálculos es la región de Baja California, que es formado por todos los municipios del estado y el municipio de San Luis Rio Colorado, Sonora.



Figura 3.1 Regiones de CFE. Fuente: app.cfe.gob.mx

Los cargos por energía consumida de CFE se dividen en tres, básico, intermedio y excedente, cada uno tiene un precio y límite, los siguientes cargos son del mes de Junio del año 2014.

Tabla 3.6 Cargos por energía consumida para un negocio con tarifa 02

<i>Consumo Básico</i>	\$2.267	<i>Por cada uno de los primeros 50 kilowatts-hora</i>
<i>Consumo Intermedio</i>	\$2.736	<i>Por cada uno de los siguientes 50 kilowatts-hora</i>
<i>Consumo Excedente</i>	\$3.013	<i>Por cada kilowatt-hora adicional a los anteriores</i>

Fuente: cfe.gob.mx/

Para el precalentamiento del aceite, utilizando la potencia de la resistencia (2000 watts), se calculó el costo de la energía eléctrica para eliminación de agua utilizada en los 28 minutos calculados en la sección de recolección y eliminación de impurezas.

$$(2 \text{ kW})(0.46 \text{ horas}) = 0.92 \text{ kWh}$$

Utilizando la resistencia de 4000 watts para reducir el tiempo de calentamiento, se calculó el costo de la energía eléctrica.

$$(4 \text{ kW})(0.23 \text{ horas}) = 0.92 \text{ kWh}$$

Se puede observar que el aumento de potencia en la resistencia no contribuye a un gasto mucho mayor de electricidad, y reduce el tiempo de calentamiento a la mitad. Claro está que se requiere la instalación de 240V para ser utilizada, los cuales no son comunes, por tal motivo se utilizará

la resistencia de 2000 watts en los cálculos del costo total, ya que una línea y neutro (127V) son más comunes.

La bomba tiene una potencia de ½ hp, que convertidos a kilowatts, son 0.373 kW, el proceso para la producción de biodiesel es aproximadamente de 3 horas. La mezcla del catalizador y el metanol es aproximadamente de una hora, y dos horas de la mezcla de metóxido y aceite vegetal.

$$(0.373 \text{ kW})(3 \text{ horas}) = 1.119 \text{ kWh}$$

Para el precalentamiento del aceite, utilizando la potencia de la resistencia (2000 watts), se calculó el costo de la energía eléctrica para eliminación de agua utilizada en los 28 minutos calculados en la sección de recolección y eliminación de impurezas.

$$(2 \text{ kW})(0.46 \text{ horas}) = 0.92 \text{ kWh}$$

Utilizando la resistencia de 4000 watts para reducir el tiempo de calentamiento, se calculó el costo de la energía eléctrica.

$$(4 \text{ kW})(0.23 \text{ horas}) = 0.92 \text{ kWh}$$

Se puede observar que el aumento de potencia en la resistencia no contribuye a un gasto mucho mayor de electricidad, y reduce el tiempo de calentamiento a la mitad. Claro está que se requiere la instalación de 240V para ser utilizada, los cuales no son comunes, por tal motivo se utilizará la resistencia de 2000 watts en los cálculos del costo total, ya que una línea y neutro (127V) son más comunes.

La bomba tiene una potencia de ½ hp, que convertidos a kilowatts, son 0.373 kW, el proceso para la producción de biodiesel es aproximadamente de 3 horas. La mezcla del catalizador y el metanol es aproximadamente de una hora, y dos horas de la mezcla de metóxido y aceite vegetal.

$$(0.373 \text{ kW})(3 \text{ horas}) = 1.119 \text{ kWh}$$

$$1.119 \text{ kWh} + 0.92 \text{ kWh} = 2.039 \text{ kWh}$$

Lo que da un consumo total de 2.039 kWh para producir 55 litros de biodiesel.

Tabla 3.7 Cargos por energía consumida durante el proceso de producción de biodiesel

<i>Consumo Básico</i>	\$4.622
<i>Consumo Intermedio</i>	\$5.578
<i>Consumo Excedente</i>	\$6.143

Utilizando los datos anteriores el proceso se puede realizar 24 veces sin excederse del consumo básico, lo que da a un aproximado de 1,320 litros de biodiesel por 110.93 pesos de electricidad.

La tarifa 02 de negocios tiene un costo fijo de 52.59 pesos. Los costos no tienen incluido el impuesto de alumbrado público.

Con un costo de materia prima de 2.46 pesos por litro, son 135.3 pesos los requeridos para la producción de 55 litros, más 4.622 en energía eléctrica (0.084 pesos por litro), dando un total de 2.54 pesos por litro de biodiesel.

Con un costo de producción de 2.54 pesos por litro de biodiesel y un costo de 13.28 pesos por litro en el mes de Junio en el año 2014, se ahorra 10.74 pesos por litro, lo cual puede hacer factible el proceso de producción, tomando en consideración que el aceite vegetal recibido es gratuito.

Lo que da un consumo total de 2.039 kWh para producir 55 litros de biodiesel.

Tabla 3.7 Cargos por energía consumida durante el proceso de producción de biodiesel

<i>Consumo Básico</i>	\$4.622
<i>Consumo Intermedio</i>	\$5.578
<i>Consumo Excedente</i>	\$6.143

Utilizando los datos anteriores el proceso se puede realizar 24 veces sin excederse del consumo básico, lo que da a un aproximado de 1,320 litros de biodiesel por 110.93 pesos de electricidad. La tarifa 02 de negocios tiene un costo fijo de 52.59 pesos. Los costos no tienen incluido el impuesto de alumbrado público.

Con un costo de materia prima de 2.46 pesos por litro, son 135.3 pesos los requeridos para la producción de 55 litros, más 4.622 en energía eléctrica (0.084 pesos por litro), dando un total de 2.54 pesos por litro de biodiesel.

Con un costo de producción de 2.54 pesos por litro de biodiesel y un costo de 13.28 pesos por litro en el mes de Junio en el año 2014, se ahorra 10.74 pesos por litro, lo cual puede hacer factible el proceso de producción, tomando en consideración que el aceite vegetal recibido es gratuito.

Utilizando la inversión inicial de 11,647.81 pesos y el ahorro de 10.74 pesos que se tiene por litro de biodiesel, se calculan los litros de biodiesel que se tienen que producir para recuperar la inversión:

$$\text{Litros de biodiesel} = \frac{11,647.81 \text{ pesos invertidos}}{10.74 \text{ pesos ahorrados}} \approx 1,085 \text{ litros de biodiesel}$$

Con la capacidad del reactor de producir 182 litros diarios, se estiman los días en que se recupera la inversión inicial:

$$\text{Litros de biodiesel} = \frac{1,085 \text{ litros de biodiesel}}{182 \text{ litros/día}} \approx 6 \text{ días de producción}$$

### 3.3 Estudio de mercado

El estudio de mercado se realiza primordialmente para observar si existe el conocimiento sobre la existencia de este biocombustible entre los que utilizan el diesel convencional y estudiar la factibilidad de venta de biodiesel en Tijuana, Baja California.

Se realizaron encuestas a cincuenta transportistas de la línea roja y crema, Los transportes que utilizan tienen una capacidad de 40 hasta 100 galones (151 a 378 litros) de diesel. La encuesta también cubre temas sobre su conocimiento que tienen del biocombustible y sus ventajas, en su punto de reunión ubicado sobre el bulevar Rosas Magallon, Tijuana, Baja California. Las respuestas fueron las siguientes:

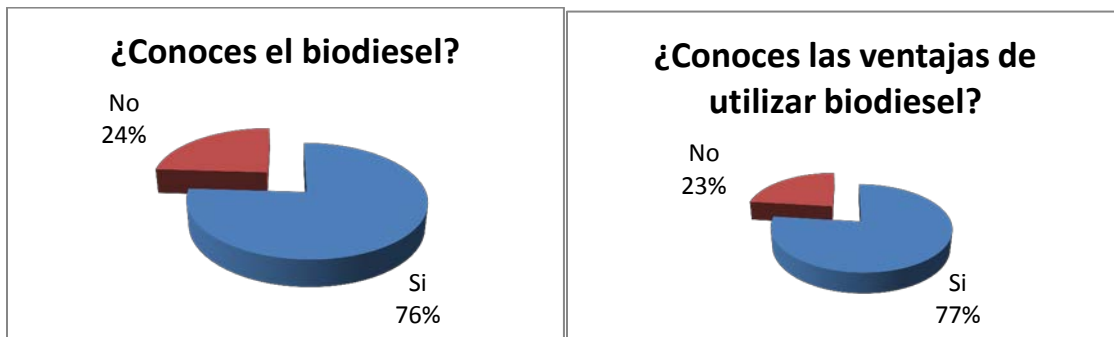


Figura 3.2 Encuesta, conocimiento y ventajas de biodiesel.

Esto se debe a que los transportistas tenían proveedores de biodiesel, los cuales les llevaban el biocombustible a su punto de reunión, para ahí ser distribuido.

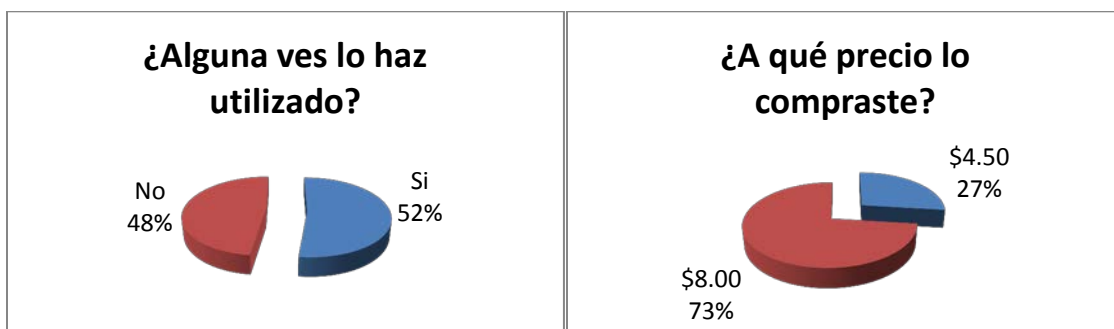


Figura 3.3 Encuesta, utilización y precio de compra de biodiesel.

Como se puede observar, el biodiesel era comprado a un precio bastante competitivo, mucho más bajo al diesel convencional, reportaron que el precio del litro dependía del proveedor del

biocombustible, teniendo un rango desde 4.50 pesos hasta 8.00 pesos, lo cual beneficiaba económicamente a los transportistas, ayudando también a disminuir una fracción la contaminación.

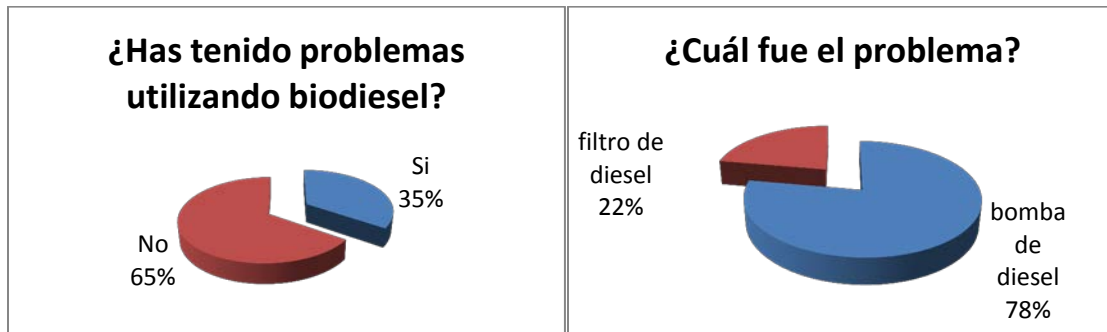


Figura 3.4 Encuesta, problemas con utilización de biodiesel.

Los problemas se debieron a que no se cambiaron los filtros de combustible, estos se taparon por los residuos que deja el diesel convencional, haciendo que se tengan problemas con el funcionamiento del motor

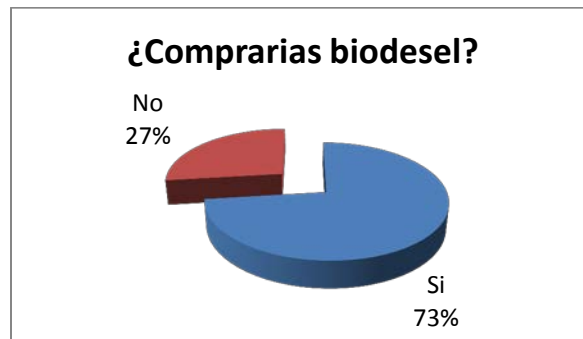


Figura 3.5 Encuesta, compra de biodiesel.

Por los problemas que se tuvieron en algunos de los motores de transportes, el 27% de los transportistas prefieren utilizar diesel convencional, mientras 73% está dispuesto a comprar y utilizar biodiesel.

Recordando que la región noroeste cuenta con un parque vehicular diesel de 100,000 unidades, lo cual incluye transporte público y privado, con una prospectiva de crecimiento de 200,000 unidades para el año 2026 y extrapolando los resultados que se obtuvieron de las encuestas, se puede concluir que la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal residual para su venta es factible.

### 3.4 Implementación

Con un costo inicial de 11,647.81 pesos, 2.46 pesos por litro de biodiesel y un retorno de aproximadamente 6 días se puede iniciar la producción de biodiesel a pequeña escala, siempre y cuando se tenga un proveedor de aceite vegetal residual.

El reactor diseñado (Figura 3.6) tiene la capacidad para producir aproximadamente 182 litros de biodiesel por día. Esto se debe a la capacidad del tanque (227 litros) y la cantidad de metanol que se debe de usar para la reacción (45.4 litros). No se encontró proveedores de tanques inductores de polietileno en la región, por la cual se optó comprarlos en Estados Unidos.



Figura 3.6 Prototipo de reactor para producción de biodiesel, Fuente: Propia

Cabe mencionar que en los precios de producción, el aceite vegetal se toma como gratuito, ya que para algunos de los proveedores no tiene valor. Ya que existen varios métodos para la purificación de biodiesel, se tiene que optar por la más eficaz, esto afectando el costo de producción. Para producción industrial se elevaría el costo de inversión inicial, ya que no se incluyen costos de permisos, trabajadores, transporte y los reactores tienen que ser de acero inoxidable, el cual tiene un costo mayor al polietileno.

Para proyectos de producción mayores, el mercado existe con el transporte público, que se vería beneficiado con el uso del biodiesel, ya que por su bajo costo de producción a partir de aceite vegetal residual se puede tener un ahorro significativo por litro, sumado por el aumento de precio mensual que tiene el diesel hasta términos del año 2014 y reduciendo el impacto ambiental que se tiene por el uso del diesel convencional.

## 4. Conclusiones

Para el mejoramiento del prototipo, existe la simulación de la automatización del proceso utilizando sensores y electroválvulas <sup>[48]</sup>, también la instalación de un atomizador de agua para la fase de lavado en la parte superior del tanque inductor de aceite y una resistencia de inmersión o separador de agua para el secado (Figura 4.1). Utilizando la bomba, se puede adaptar una pistola despachadora, reemplazando la tee por cruz y agregando una sexta válvula de esfera.

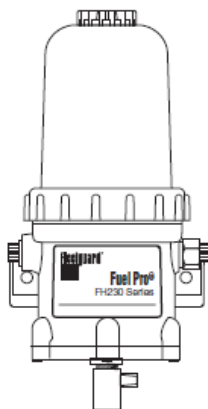


Figura 4.1 Separador de agua, Fuente: cumminsfiltration.com

Dado los resultados del análisis de costos, el estudio de mercado y la implementación, se puede concluir que la producción de biodiesel a pequeña escala en Baja California puede ser factible por el alto volumen de aceite vegetal residual que se produce y el costo de los insumos.

Por el estudio de mercado que se realizó puede servir como un incentivo en la venta de biodiesel a nivel regional, ya que por su bajo costo de producción y el amplio sector que existe, beneficiaría la calidad de aire por sus bajos niveles de contaminación, así ayudando a Tijuana a ser removida de las ciudades más contaminadas de México y ser un ejemplo para el resto del país.

El uso de aceite vegetal residual en México puede ser una buena opción para producir biodiesel y disminuir la contaminación aérea que se tiene. Claro está que se debe de difundir más el uso de biocombustibles en el país, ya que no se cuenta con grandes avances en el sector de biocombustibles y se sigue dependiendo del petróleo, un recurso no renovable.

No solo se pueden aprovechar los aceites vegetales residuales para la producción de biodiesel, pero también el uso de grasas cafés (15 a 50% de FFA) provenientes de las trampas de grasa utilizados en el sector restaurantero pero también estudiar la factibilidad de cultivos energéticos, ya que nuestro país cuenta con grandes zonas que pueden ser de gran utilidad para estos.

Con los retos que enfrenta nuestro país, se debe de estudiar más el uso de biocombustibles, no solo el biodiesel, existen otras opciones para motores de gasolina como el biobutanol, bioetanol y también para aeronaves la bioturbosina.

## 4. Bibliografía y Referencias

- [1] DOF. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. México. 2003.
- [2] International Tanker Owners Pollution Federation, <http://www.itopf.com/marine-spills/about-veg/>
- [3] Fetzer, J. C. (2000). *The Chemistry and Analysis of the Large Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. New York: Wiley.
- [4] Prospectiva de petrolíferos 2012-2026, México.
- [5] Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental, <http://www.redisa.uji.es>
- [6] Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado de Baja California, <http://www.copladebc.gob.mx/>
- [7] Oldengine, <http://www.oldengine.org/members/ruston/History6.htm>
- [8] Ransome-Wallis, Patrick (2001). *Illustrated Encyclopedia of World Railway Locomotives*. Courier Dover Publications. P. 28. ISBN 0-486-41247-4.
- [9] McNeil, Ian (1990). *An Encyclopaedia of the History of Technology*. Taylor & Francis.. ISBN 0-415-01306-2.
- [10] Pacific Biodiesel, <http://www.biodiesel.com/biodiesel/history/>
- [11] University of Strathclyde, <http://www.esru.strath.ac.uk>
- [12] Biodiesel Energy Revolution, <http://www.biodiesel-energy-revolution.com/History-of-Biodiesel.html>
- [13] Viteri, R., Samuel, C., (2009). *Elaboración de un manual de operación de un reactor experimental de transesterificación para la obtención de biodiesel proveniente de aceite vegetal*, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- [14] Smeets, E., Junginger, H., Faaij, A.(2005). *Supportive study for the OECD on alternative developments in biofuel production across the world*, Copernicus Institute.
- [15] Canakci, M., (2005). *The Potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks*, Bioresource Technology.
- [16] A, Casares.,(2006). *La producción y el uso de Biodiésel en España. Caso particular de Andalucía*, Universidad de Malaga.
- [17] Nextfuel, <http://biodiesel.com.ar/4035/b7-entra-en-vigencia-el-aumento-del-5-al-7-de-biodiesel-en-la-mezcla-con-gasoil-en-argentina>
- [18] Biofuels Digest, <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2012/08/06/brazil-biodiesel-industry-seeks-bailout-through-higher-mandate/>
- [19] United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, [gain.fas.usda.gov](http://gain.fas.usda.gov)
- [20] Pacific Biodiesel, <http://www.biodiesel.com/biodiesel/benefits/>
- [21] MAN Diesel, [http://mandieselturbo.com/files/news/files\\_of16119/tech\\_paper\\_low\\_speed.pdf](http://mandieselturbo.com/files/news/files_of16119/tech_paper_low_speed.pdf)
- [22] Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, [http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/basics/jtb\\_diesel\\_engine.pdf](http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/basics/jtb_diesel_engine.pdf)
- [23] The Diesel Page, <http://www.thedieselpage.com/mileage.htm>
- [24] Márquez, J., *Biodiesel, opción energética*, El Universal.
- [25] Sarmiento, R., (2008), *Primeros desarrollos de producción de biodiesel en México*, [energiaadedebate.com](http://energiaadedebate.com)
- [26] Secretaria de Protección al Ambiente, [spabc.gob.mx/views/files/tmp/Prestadores-Servicio-MIRME-Estado-\(jul2012\).pdf](http://spabc.gob.mx/views/files/tmp/Prestadores-Servicio-MIRME-Estado-(jul2012).pdf)
- [27] Bioregeneradora, <http://bioregeneradorabc.com/>
- [28] CESPT, <http://www.cespt.gob.mx/ServNoticias/VerNoticia.aspx?id=128>

- [29] OriginOil, <http://www.originoil.com/company-news/originoil-mexico-industrialize-algae-production#ixzz39aYqIPNz>
- [30] Montero, G., Vazquez, A., Sosa, J., Campbell, H., Lambert, A., (2009), *Biodiesel: una opción para recuperar energía de aceites vegetales y grasas bovinas*, Universidad del Norte.
- [31] CESPT, [http://www.cespt.gob.mx/culturaagua/articulo\\_trampagrasas.html](http://www.cespt.gob.mx/culturaagua/articulo_trampagrasas.html)
- [32] Gerpen, J.V., (2004), *Biodiesel processing and production*, University of Idaho, Moscow
- [33] Severson, K., Martin, M., Grossman, I., (2012), *Optimal biodiesel production using biethanol: towards process integration*, Chemical Engineering Department, Carnegie Mellon University.
- [34] Noireddini, H., Teoh. B.C., Clements. D., (1992), *Densities of Vegetable Oils and Fatty Acids*, University of Nebraska
- [35] The Engineering Toolbox, [http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-fluids-d\\_151.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-fluids-d_151.html)
- [36] Xiangmei, M., Guanyi, C., Yonghong W (2008), *Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test*, Fuel Processing Technology.
- [37] Singh, A., He, B., Thompson, J., Van Gerpen (2006), *Process optimization of biodiesel production using alkaline catalysts*, American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0883-8542
- [38] Grant, T., Littlejohn, G., (2009), *Teaching Green- The High School Years..* ISBN 978-1-55092-566-1
- [39] Pérez, M., (2001), *Desarrollo y ensayo de nuevos biocombustibles para motores diesel procedentes de diversas semillas oleaginosas y de grasas vegetales usadas*, Universidad de Cordova
- [40] Farrell, S., Cavanagh, G., (2014), *Biodiesel production, characterization, and performance: A hands-on project for first-year students*, education for chemical engineers 9
- [41] Hall, Adhikari, Taylor (2009). *Producing Biodiesel for Municipal Vehicle Fleets from Recycled Cooking Oil*. Auburn University
- [42] Home-made Biodiesel, <http://www.home-made-biodiesel.com/biodiesel-waste-product.html>
- [43] Biodiesel Magazine, <http://www.biodieselmagazine.com/articles/9004/report-glycerol-market-expected-to-reach-2-1-billion-in-2018>
- [44] Gerpen, J., Shanks, B., Pruzsko, R. (2004), *Biodiesel Production Technology*, National Renewable Energy Laboratory, Colorado.
- [45] Fenix Process Technologies Pvt. Ltd., <http://fenix.in/>
- [46] Wintek Corporation, <http://www.wintek-corp.com/biodiesel/methanol-recovery.html>
- [47] Make Biodiesel, <http://www.make-biodiesel.org/Quality-Testing/testing-methanol-for-purity.html>
- [48] Arbelaez, F., *Diseño y construcción de máquina controlada para producción de biodiesel*, Universidad de San Buenaventura
- [49] Vázquez, A., *Biodiesel en Baja California: Evaluación de materias primas y procesos*, Universidad Autónoma de Baja California.

## Anexos

### Anexo 1. Hoja de Seguridad de Metanol

#### HOJA DE SEGURIDAD IX METANOL

**FORMULA:** CH<sub>2</sub>O, CH<sub>3</sub>OH  
**PESO MOLECULAR:** 32.04 g/mol  
**COMPOSICION:** C: 37.48 %, H: 12.58 % y O: 49.93 %

#### 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.

Durante mucho tiempo se obtuvo por destilación destructiva de madera a altas temperaturas, en la actualidad se produce por hidrogenación catalítica de monóxido de carbono a presiones y temperaturas altas, con catalizadores de cobre-óxido de cinc; por oxidación de hidrocarburos y como subproducto en la síntesis de Fischer-Tropsch.

#### NUMEROS DE IDENTIFICACION:

CAS: 67-56-1	UN: 1230
NIOSH: PC 1400000	RCRA: U154
NOAA: 3874	STCC: 4909230
RTECS: PC1400000	NFPA: Salud: 1 Reactividad: 0 Fuego: 3
HAZCHEM CODE: 2 PE	El producto está incluido en: CERCLA, 313

MARCAJE: Líquido inflamable, venenoso.

#### SINONIMOS:

ALCOHOL METILICO	En inglés: METHANOL	Otros idiomas: ALCOOL METHYLIQUE (FRANCES)
HIDRATO DE METILO	METHYL ALCOHOL	METHYLALKOHOL (ALEMAN)
HIDROXIDO DE METILO	WOOD SPIRIT	METYLOWY ALKOHOL (POLACO)
METILOL	BIELESKI'S SOLUTION	METANOLO (ITALIANO)
CARBINOL	COLONIAL SPIRIT	ALCOOL METILICO (ITALIANO)
ALCOHOL DE MADERA	COLUMBIAN SPIRIT	
	PYROXYLIC SPIRIT	
	WOOD NAPHTHA	

#### 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 (25/4°C)  
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

## Anexo 1. Hoja de Seguridad de Metanol

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

En la tabla a continuación se presentan algunos valores de propiedades físicas para mezclas metanol-agua.

MEZCLA % en v. de MeOH	DENSIDAD (g/ml) a 25 °C	PUNTO DE CON- GELACION (°C)	PUNTO DE EBU- LLICION (°C)
10	0.9836	-5	92.8
20	0.9695	-12	87.8
30	0.9572	-21	84.0
40	0.9423	-33	80.9
50	0.9259	-47	78.3
60	0.9082	-57	75.9

Solubilidad: miscible con agua, etanol, éter, benceno, cetonas y muchos otros disolventes orgánicos. Disuelve una gran variedad de sales inorgánicas por ejemplo 43 % de yoduro de sodio, 22 % de cloruro de calcio, 4 % de nitrato de plata, 3.2 % de cloruro de amonio y 1.4 % de cloruro de sodio.

### PROPIEDADES QUIMICAS:

Este producto reacciona violentamente con bromo, hipoclorito de sodio, dietil-cinc, 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.

### NIVELES DE TOXICIDAD:

RQ: 5000

IDLH: 25000 ppm

LDLo (oral en humanos): 4.28 mg/Kg

LD<sub>50</sub> (oral en ratas): 5628 mg/kg

LC<sub>50</sub> (inhalado en ratas): 64000 ppm/4h

LD<sub>50</sub> (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/m<sup>3</sup> (200 ppm)

CCT (en piel): 310 mg/m<sup>3</sup> (250 ppm)

Estados Unidos:

TLV TWA: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

TLV STEL: 310 mg/m<sup>3</sup> (250 ppm)

Reino Unido:

Periodos largos: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

Periodos cortos: 310 mg/m<sup>3</sup> (250 ppm)

Francia:

VME: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

VLE: 1300 mg/m<sup>3</sup> (1000ppm)

Alemania:

MAK: 260 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

Suecia:

## Anexo 1. Hoja de Seguridad de Metanol

Periodos cortos: 310 mg/m<sup>3</sup> (250 ppm)

Periodos largos: 269 mg/m<sup>3</sup> (200 ppm)

### 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.

### 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 el casos de cáncer en trabajadores expuestos a metanol, en estudios epidemiológicos.

**Mutagenicidad:** Resultó ser no mutagénico en estudios con *Salmonella typhimurium* y no indujo el intercambio de cromátida hermana.

**Peligros reproductivos:** En estudios con concentraciones altas de vapor (10000 ppm) se incrementan las malformaciones congénitas las cuales incluyen órganos urinarios y cardiovasculares. A concentraciones de 5000 ppm no se observaron estos efectos.

### ACCIONES DE EMERGENCIA:

#### Primeros auxilios:

**Inhalación:** Mover a la víctima a una 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

## Anexo 1. Hoja de Seguridad de Metanol

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 una 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.

### REQUISITOS DE TRANSPORTE Y EMPAQUE:

#### Transportación terrestre:

Marcaje: 1230

Líquido inflamable.

Código HAZCHEM: 2 PE

#### Transportación marítima:

Código IMDG: 3087

Clase: 3.2

Marcaje: Líquido Inflamable, Venenoso.

#### Transportación aérea:

Código ICAO/IATA: 1230

Clase: 3 (6.1)

Cantidad máxima en vuelos comerciales: 1 l.

Cantidad máxima en vuelos de carga: 60 l.

## Anexo 2. Hoja de Seguridad de Hidróxido de Sodio

### HOJA DE SEGURIDAD II HIDROXIDO DE SODIO

**FORMULA:** NaOH.  
**PESO MOLECULAR:** 40.01 g/mol  
**COMPOSICION:** Na: 57.48 %; H: 2.52 % y O:40.00%

**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.

**NUMEROS DE IDENTIFICACION:**

CAS: 1310-73-2	RTECS: WB4900000
UN: sólido:1823	NFPA: Salud:3 Reactividad:1 Fuego: 0
disolución: 1824	HAZCHEM CODE: 2R
NIOSH: WB 4900000	El producto está incluido en : CERCLA, EHS, SARA, RCRA.
NOAA: 9073	MARCAJE:SOLIDO CORROSIVO.
STCC: 4935235	

**SINONIMOS:**

SOSA	En inglés:
SOSA CAUSTICA	ASCARITE
LEJIA	CAUSTIC SODA
Otros idiomas:	COLLO-GRILLREIN
HYDROXYDE DE SODIUM (FRANCES)	COLLO-TAPETTA
NATRIUMHYDROXID (ALEMAN)	LEWIS-RED DEVIL LYE
AETZNATRON (ALEMAN)	SODIUM HYDRATE
NATRIUMHYDROXYDE (HOLANDES)	SODIUM HYDROXIDE
SODIO(IDROSSIDO DI) (ITALIANO)	LYE
	SODA LYE
	WHITE CAUSTIC

**PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS:**

Punto de ebullición: 1388°C (a 760 mm de Hg)  
Punto de fusión: 318.4 °C  
Índice de refracción a 589.4 nm: 1.433 ( a 320 °) y 1.421 (a 420 °C)  
Presión de vapor: 1mm (739 °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  
En la tabla a continuación, se presentan algunas propiedades de disoluciones acuosas de NaOH.

PROPIEDADES DE DISOLUCIONES ACUOSAS DE NaOH

Concentración (% peso/peso)	$d_4^{15}$	Punto de congelación (°C)	Punto de Ebullición (°C)
5	1.056	-4	102
10	1.111	- 10	105
20	1.222	-26	110
30	1.333	1	115

## Anexo 2. Hoja de Seguridad de Hidróxido de Sodio

40	1.434	15	125
50	1.530	12	140

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 (forma beta )  
 Calor de transición de la forma alfa a la beta: 24.69 cal/g  
 Temperatura de transición: 299.8 °C  
 Energía libre de formación : 90.7 Kcal/ mol (a 25 °C y 760 mm de Hg)

### PROPIEDADES QUIMICAS:

El NaOH reacciona con metales como Al, Zn y Sn, generando aniones como  $AlO_2^-$ ,  $ZnO_2^-$  y  $SnO_3^{2-}$  e hidrógeno. Con los óxidos de estos metales, forma esos mismos aniones y agua. Con cinc metálico, además, hay ignición.

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, tetrahidroborato 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.

### NIVELES DE TOXICIDAD:

LD<sub>50</sub> (en conejos): 500 ml/Kg de una disolución al 10 %.  
 Niveles de irritación a piel de conejos: 500 mg/ 24 h, severa  
 Niveles de irritación a ojos de conejos: 4 mg, leve; 1 % o 50 microg/24 h, severo  
 RQ: 1000  
 IDLH: 250 mg/m<sup>3</sup>

México:

CPT: 2 mg/m<sup>3</sup>

TLV-C: 2 mg/m<sup>3</sup>

Estados Unidos

Reino Unido:

Periodos largos: 2 mg/m<sup>3</sup>

Periodos cortos: 2 mg/m<sup>3</sup>

Francia:

VME: 2 mg/m<sup>3</sup>

Alemania:

MAK: 2 mg/m<sup>3</sup>

Suecia:

Límite máximo: 2 mg/m<sup>3</sup>

### 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 mas 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/m<sup>3</sup>, 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.

## Anexo 2. Hoja de Seguridad de Hidróxido de Sodio

**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 mas 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, mas que por el producto mismo.

**Mutagenicidad:** Se ha encontrado que este compuesto es no mutagénico.

**Peligros reproductivos:** No hay información disponible a este respecto.

### 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 conciente, 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. La arena puede desecharse como basura doméstica.

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:

Para pequeñas cantidades, agregar lentamente y con agitación, agua y hielo. 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.

### REQUISITOS DE TRANSPORTE Y EMPAQUE:

#### Transportación terrestre:

Marcaje:

#### Transportación aérea:

Código ICAO/IATA (No. ONU)



## Anexo 2. Hoja de Seguridad de Hidróxido de Sodio

sólido: 1823. Sustancia corrosiva.  
Disolución: 1824. Sustancia corrosiva.  
HAZCHEM Code: 2R.  
Transportación marítima:  
Número en IMDG: 8125  
Clase: 8  
Marcaje: corrosivo.

sólido: 1823  
disolución: 1824  
Clase: 8  
Marcaje: corrosivo.  
Cantidad máxima en vuelo comercial  
sólido: 15 Kg  
disolución: 1 l  
Cantidad máxima en vuelo de carga:  
sólido: 50 Kg  
disolución: 30 l

### Anexo 3. Hoja de Seguridad de Metóxido de Sodio

#### Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOLATO DE SODIO		ICSC: 0771 Octubre 2006	
CAS: 124-41-4 RTECS: PC3570000 NU: 1431 CE Índice Anexo I: 603-040-00-2 CE / EINECS: 204-699-5		Metóxido sódico Metilato sódico $CH_3ONa$ Masa molecular: 54,0	
			
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con agua.	NO utilizar agua. NO utilizar agentes hídricos. Polvo. Arena seca.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con. agua, aire húmedo, metales.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Dolor de garganta. Tos. Sensación de quemazón. Dificultad respiratoria. Jadeo.	Extracción localizada. Protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar inmediatamente asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras cutáneas graves.	Guantes de protección. Traje de protección.	Aclarar con agua abundante durante 15 minutos como mínimo, después quitar la ropa contaminada y aclarar de nuevo. Proporcionar inmediatamente asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa. Quemaduras profundas graves.	Pantalla facial y protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Quemaduras en la boca y la garganta. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
<b>DERRAMES Y FUGAS</b>		<b>ENVASADO Y ETIQUETADO</b>	
Eliminar toda fuente de ignición. Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración. Cubrir el material derramado con arena seca. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente seco tapado de plástico. Recoger cuidadosamente el residuo, trasladarlo a continuación a un lugar seguro. NO verterlo en el alcantarillado.		Hermético. Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: F, C R: 11-14-34 S: (1/2)-8-16-26-43-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 4.2 Riesgos Subsidiarios de las NU: 8 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Se calienta espontáneamente; puede inflamarse. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares.	
<b>RESPUESTA DE EMERGENCIA</b>		<b>ALMACENAMIENTO</b>	
		Mantener en lugar fresco y seco. A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos, metales y de alimentos y piensos. Bien cerrado. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2007			
			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

### Anexo 3. Hoja de Seguridad de Metóxido de Sodio

#### Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOLATO DE SODIO		ICSC: 0771
<b>DATOS IMPORTANTES</b>		
<p><b>ESTADO FÍSICO; ASPECTO</b> Polvo higroscópico, blanco.</p> <p><b>PELIGROS QUÍMICOS</b> El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. Reacciona violentamente con agua produciendo metanol inflamable e hidróxido sódico corrosivo. La sustancia puede inflamarse espontáneamente en contacto con aire húmedo. La sustancia es un agente reductor fuerte y reacciona violentamente con oxidantes. La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva. Ataca a muchos metales formando un gas combustible (hidrógeno - ver FISQ:0001).</p> <p><b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN</b> TLV no establecido. MAK no establecido.</p>	<p><b>VÍAS DE EXPOSICIÓN</b> Efectos locales graves por todas las vías de exposición.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACIÓN</b> Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN</b> La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación puede causar edema pulmonar, pero sólo tras producirse los efectos corrosivos iniciales en los ojos o las vías respiratorias.</p>	
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>		
<p>Se descompone a &gt; 50°C. Densidad: 1,3 g/cm<sup>3</sup></p> <p>Solubilidad en agua: reacciona</p>	<p>Temperatura de autoignición: &gt;50°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 7,3 - 36</p>	
<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente; debe prestarse atención especial a los organismos acuáticos		
<b>NOTAS</b>		
Esta sustancia es un sólido muy reactivo y es manipulado en disolución en la mayoría de casos. El sólido es muy higroscópico y se descompone rápidamente. Solo es estable en ausencia de aire y humedad. Reacciona violentamente con agentes extintores de incendio tales como agua. Enjuagar la ropa contaminada con agua abundante (peligro de incendio). Otro número NU es NU1289 Solución de metilato sódico en alcohol, clasificación de peligro: 3, riesgo subsidiario: 8, grupo de envasado: II,III. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2010: ver Explosión.		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<b>NOTA LEGAL</b>	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2007		

**Anexo 4. Costo de Metanol**



NOMBRE DEL PRODUCTO	<b>ALCOHOL METILICO</b>
DESCRIPCION ADICIONAL	<b>METANOL INDS. LIQ. TEC.</b>

CODIGO	10170018
PRESENTACION	BIN
CANTIDAD POR PRESENTACION	250 GALONES
COSTO	\$ 714.00

CODIGO	10170053
PRESENTACION	TAMBO
CANTIDAD POR PRESENTACION	200 LTS
COSTO	\$ 148.00

CODIGO	10170005
PRESENTACION	CUBETA
CANTIDAD POR PRESENTACION	5 GALONES
COSTO	\$ 41.00

CODIGO	10170021
PRESENTACION	CAJA
CANTIDAD POR PRESENTACION	4 BOTELLAS CON 3.785 LTS CADA UNA
COSTO	\$ 72.25

**PRECIO MENUDEO/RECOGER EN QUINSA/PRECIO TIENDA**

CODIGO	10170001
PRESENTACION	GALON
CANTIDAD POR PRESENTACION	1
COSTO	\$ 16.25

OTRAS NOTAS:	
TIPO DE TAMBO	LAMINA

REGISTRO MODIFICACIONES	FECHAS	Firmas
-------------------------	--------	--------

FECHA ACTUALIZADA	JULIO 11 2013	
AUTORIZADO POR	M4	
MODIFICACION MV		
SUSTITUYE A LA LISTA DE PRECIOS DEL	MAYO 30 2013	

## Anexo 5. Costo de Hidróxido de Sodio

**Química Industrial**  
*del Norte* SA DE CV


NOMBRE DEL PRODUCTO	SOSA CAUSTICA CHAQUIRA
DESCRIPCION ADICIONAL	FORMOSA

CAS Number	1310-73-2
UN ID	1823
Molecular Formula	NaOH
Molecular Weight	40

CODIGO	14471050
--------	----------


PRESENTACION	SACO
LBS POR SACO	50
KILOS POR SACO	22.69

FOTO



PRECIOS:		
COSTO 1 1-2 SACOS	\$	34.00
COSTO 2 2 A 4 SACOS	\$	33.50
COSTO 3 DE 5 A 9 SACOS	\$	33.00
COSTO 4 10 A 20 SACOS	\$	32.00
COSTO 5 20 EN ADELANTE	\$	30.85
COSTO 6	\$	30.25

OTRAS NOTAS:

	<b>HMIS</b>	
	SALUD	3
	FUEGO	0
	REACTIVIDAD	1
	EQUIPO DE PROTECCION	F

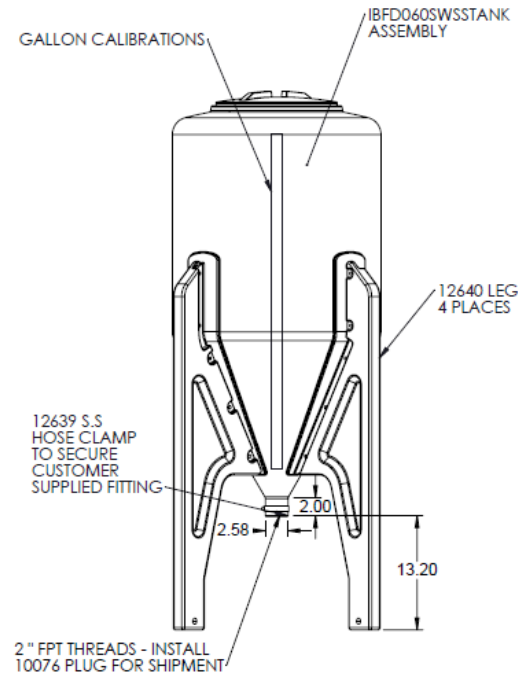
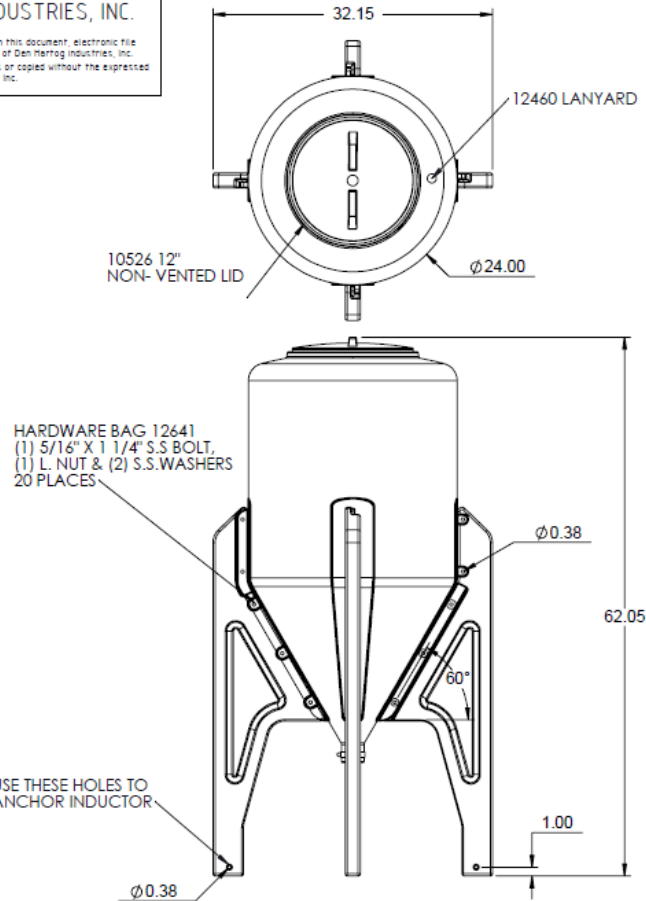
REGISTRO MODIFICACIONES	FECHAS	Firmas
FECHA ACTUALIZADA	DIC 6 2013	
AUTORIZADO POR	MM	
MODIFICACION MV		
SUSTITUYE A LA LISTA DE PRECIOS DEL	AGOSTO 12 2013	


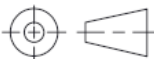
## Anexo 6. Especificaciones de Tanque Inductor 60 galones

DEN HARTOG INDUSTRIES, INC.

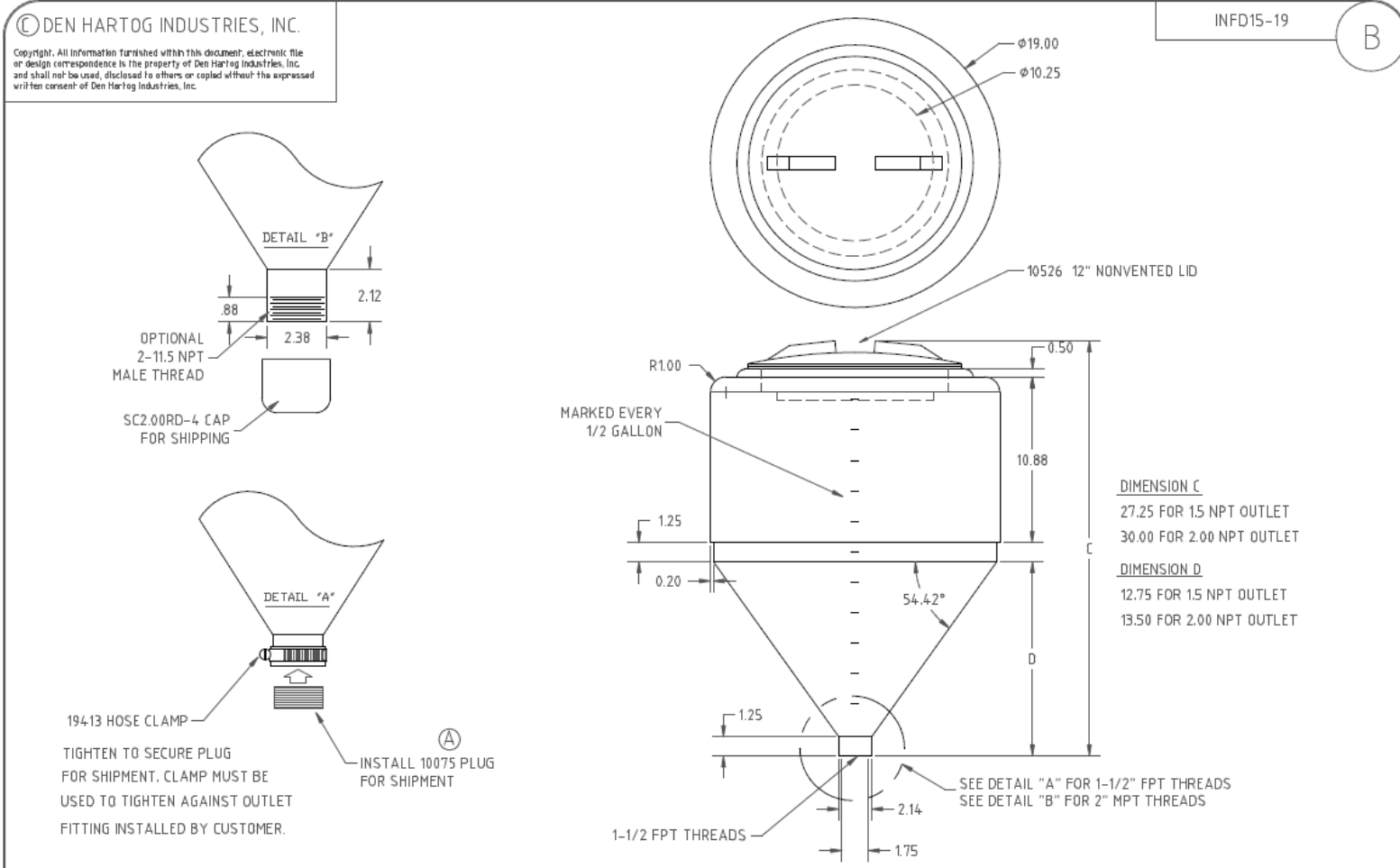
Copyright. All information furnished within this document, electronic file or design correspondence is the property of Den Hartog Industries, Inc. and shall not be used, disclosed to others or copied without the expressed written consent of Den Hartog Industries, Inc.


IBFD60-SET



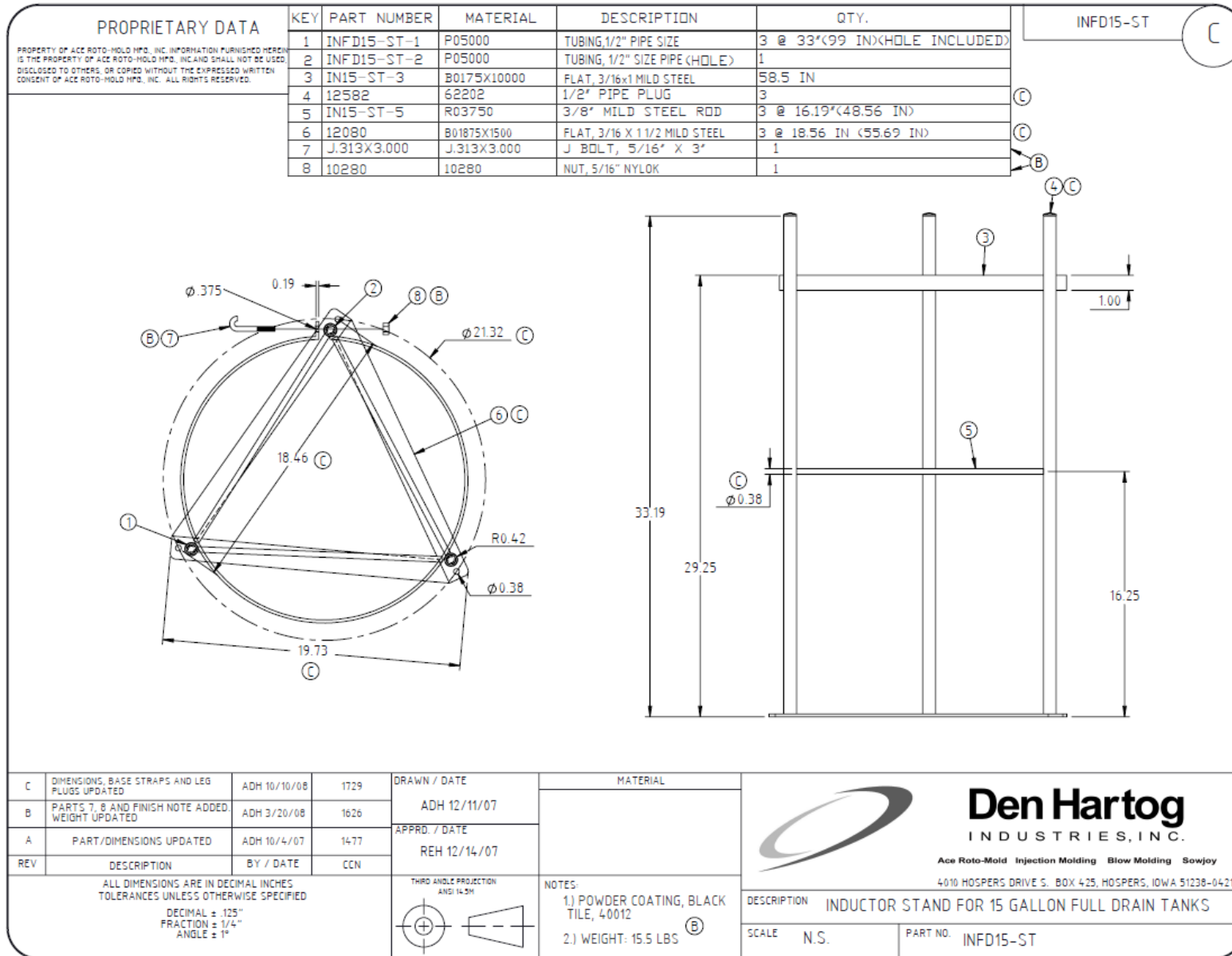
				DRAWN / DATE ADH 8/25/08	MATERIAL	 <p><b>Den Hartog</b> INDUSTRIES, INC.</p> <p>Ace Roto-Mold Injection Molding Blow Molding Sowjoy</p> <p>4610 HOSPERS DRIVE S. BOX 425, HOSPERS, IOWA 51238-0421</p>
				APPROD / DATE REH 6/10/09		
REV	DESCRIPTION	BY / DATE	CCN			
ALL DIMENSIONS ARE IN DECIMAL INCHES TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		THIRD ANGLE PROJECTION ANSI 14.5M		SHOT WEIGHT:	NOTES:	DESCRIPTION 60 GALLON BLOW MOLDED INDUCTOR
POLYETHYLENE ±1% @ 68° F		METAL DECIMAL ± .125" FRACTION ± 1/4" ANGLE ± 1°		SHIPPING WEIGHT:		SCALE N.S.
				FINISH:		PART NO. IBFD60-SET

## Anexo 7. Especificaciones de Tanque Inductor 15 galones



		DRAWN / DATE DHJ 2/7/07		MATERIAL MEDIUM DENSITY POLYETHYLENE	 <p><b>Den Hartog</b> INDUSTRIES, INC.</p> <p style="font-size: small;">Ace Roto-Mold Injection Molding Blow Molding Saw/Joy 4010 HOSPERS DRIVE S. BOX 425, HOSPERS, IOWA 51238-0425</p>	
B ADDED 2 INCH MALE THREAD OPTION		DHJ 8/15/11	2269			APPROD. / DATE REH 6/29/06
A 10075 PLUG WAS 194-12 PLUG		ADH 1/28/08	1579			
REV	DESCRIPTION	BY / DATE	CCN			
ALL DIMENSIONS ARE IN DECIMAL INCHES TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		THIRD ANGLE PROJECTION ANSI 14.5M		SHOT WEIGHT: 10 LBS.	NOTES: 1. 20 WALL	
POLYETHYLENE				SHIPPING WEIGHT: 12 LBS.		
±1% @ 68° F				FINISH:	DESCRIPTION 15 GALLON INDUCTOR FULL DRAIN	
					SCALE N.S.	
					PART NO. INFD15-19	

### Anexo 8. Especificaciones de base de Tanque Inductor 15 galones



## Anexo 9. Precio al público de productos petrolíferos



### Indicadores petroleros

#### Precio al público de productos petrolíferos<sup>a</sup> (pesos por litro)

	Gas Iluminado <sup>b</sup>	Gasolinas automotrices				Turboelina <sup>d</sup>	Pemex Diesel	Combustóleo <sup>e</sup>
		Frontera norte		Resto del país <sup>c</sup>				
		Pemex Magna	Pemex Premium	Pemex Magna	Pemex Premium			
2009	8.30	7.80	8.18	7.77	8.67	7.88	8.18	8.84
2010	10.00	8.78	8.71	8.78	10.10	8.82	8.12	7.02
2011	10.71	8.73	10.20	8.73	10.68	12.23	10.08	8.74
2012	11.77	10.81	10.88	10.81	11.37	11.81	11.17	8.76
Enero	10.81	9.82	10.25	9.82	10.64	12.34	10.18	10.59
Febrero	10.53	9.91	10.30	9.91	10.69	13.17	10.27	10.33
Marzo	11.02	10.00	10.35	10.00	10.74	12.93	10.36	10.49
Abril	11.11	10.09	10.40	10.09	10.79	13.00	10.45	10.18
Mayo	11.13	10.18	10.45	10.18	10.84	12.60	10.54	9.84
Junio	11.22	10.27	10.50	10.27	10.89	11.42	10.63	9.18
Julio	11.31	10.36	10.56	10.36	10.95	12.06	10.72	8.83
Agosto	11.40	10.45	10.63	10.45	11.02	13.15	10.81	9.39
Septiembre	11.39	10.54	10.71	10.54	11.10	12.52	10.90	9.52
Octubre	11.43	10.63	10.80	10.63	11.19	12.11	10.99	9.00
Noviembre	11.66	10.72	10.89	10.72	11.28	12.24	11.08	8.76
Diciembre	11.77	10.81	10.98	10.81	11.37	11.91	11.17	8.75
2013	12.84	12.13	12.30	12.13	12.88	12.28	12.48	8.70
Enero	11.88	10.92	11.09	10.92	11.48	12.35	11.28	8.98
Febrero	11.98	11.03	11.20	11.03	11.59	12.73	11.39	9.17
Marzo	12.09	11.14	11.31	11.14	11.70	11.17	11.50	8.78
Abril	12.19	11.25	11.42	11.25	11.81	10.29	11.61	8.14
Mayo	12.29	11.36	11.53	11.36	11.92	10.70	11.72	8.09
Junio	12.39	11.47	11.64	11.47	12.03	11.69	11.83	8.17
Julio	12.49	11.58	11.75	11.58	12.14	11.57	11.94	8.31
Agosto	12.57	11.69	11.86	11.69	12.25	12.20	12.05	8.31
Septiembre	12.66	11.80	11.97	11.80	12.36	11.56	12.16	8.78
Octubre	12.73	11.91	12.08	11.91	12.47	11.86	12.27	8.76
Noviembre	12.84	12.02	12.19	12.02	12.58	11.60	12.38	8.58
Diciembre	12.94	12.13	12.30	12.13	12.69	12.29	12.49	8.70
2014	13.81	12.77	13.46	12.77	13.46	11.87	13.28	8.86
Enero	13.26	12.32	12.90	12.32	12.90	12.23	12.73	8.55
Febrero	13.37	12.41	13.01	12.41	13.01	12.40	12.84	8.61
Marzo	13.47	12.50	13.12	12.50	13.12	11.46	12.95	8.50
Abril	13.59	12.59	13.23	12.59	13.23	11.99	13.06	8.43
Mayo	13.70	12.68	13.34	12.68	13.34	11.58	13.17	8.81
Junio	13.81	12.77	13.45	12.77	13.45	11.97	13.28	8.85

a. Al cierre del periodo. Incluyen IVA.  
b. Pesos por kilogramo. Promedio de los precios autorizados.  
c. Se excluye Valle de México.  
d. Aeropuerto Ciudad de México.  
e. LAB centros de venta.