



# **BENERMÉRÍA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

## **“DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN DISPOSITIVO PARA LA PRODUCCION DE BIOCOMBUSTIBLES EN BASE A ACEITES RESIDUALES”**

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el título de:

**Ingeniero Ambiental**

Presenta:

**Valentín Gálvez Salas**

Director de tesis:

**C.DR. Gema Alejandra Carreto Aramburo**

**Puebla, Pue. 2016**



**BUAP**

Oficio No. FIQ/AC/1051/2015  
Asunto: Registro de Tema de Tesis

**C. VALENTÍN GÁLVEZ SALAS  
PASANTE DE LA LICENCIATURA  
EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
P R E S E N T E:**

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental cuyo título es el siguiente:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE  
BIOCOMBUSTIBLES CON BASE EN ACEITES VEGETALES USADOS”**

Con el siguiente contenido:

**INTRODUCCIÓN**

|                   |                               |
|-------------------|-------------------------------|
| <b>CAPÍTULO 1</b> | <b>ANTECEDENTES</b>           |
| <b>CAPÍTULO 2</b> | <b>METODOLOGÍA</b>            |
| <b>CAPÍTULO 3</b> | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> |

**CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFÍA**

Director de Tesis: C. DR. Gema Carreto Aramburo  
Co-Director de Tesis: Dr. Antonio Rivera Tapia

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO.**

**A T E N T A M E N T E**  
**“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”**  
**H. Puebla de Z., 22 de septiembre del 2015**

  
**M.I.C. MA. GPE. TITA VÁZQUEZ E. DE LOS MONTEROS**  
**SECRETARIA ACADÉMICA**



C.e.p. Director de Tesis: C. DR. Gema Carreto Aramburo  
Co-Director de Tesis: Dr. Antonio Rivera Tapia  
Minutario Facultad de Ingeniería Química

Facultad  
de Ingeniería  
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San  
Manuel, Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
01 (222) 229 55 00  
Ext. 7250 y 7251

## Agradecimientos

Dedicatorias

## INDICE

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN</b>                                                                | <b>1</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                                           | <b>3</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES</b>                                              | <b>7</b>  |
| 1.- PROBLEMA                                                                  | 7         |
| 2.- JUSTIFICACIÓN                                                             | 9         |
| 3.- OBJETIVOS                                                                 | 9         |
| 3.1.- OBJETIVO GENERAL                                                        | 9         |
| 3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS                                                   | 9         |
| 4.- HIPÓTESIS                                                                 | 10        |
| 5.- MOTIVACIÓN                                                                | 10        |
| <b>CAPÍTULO 2: MARCO DE REFERENCIA</b>                                        | <b>12</b> |
| 1.- EL FACTOR HUMANO EN LA DEGRADACIÓN DEL PLANETA.                           | 12        |
| 2.- EL CALENTAMIENTO GLOBAL.                                                  | 15        |
| 3.- LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO.                                          | 17        |
| 4.- CONTEXTO INTERNACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.       | 18        |
| 5.- CONTEXTO NACIONAL DEL CAMBIO CLIMATICO Y LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO. | 20        |
| 6.- LOS MOTORES DE TIPO DIESEL                                                | 22        |
| 7.- LOS HIDROCARBUROS                                                         | 24        |
| 8.- HISORIA DEL BIODIESEL                                                     | 27        |
| <b>CAPÍTULO 3: NATURALEZA DEL BIODIESEL</b>                                   | <b>29</b> |
| 1.- BIODIESEL DEFINICIÓN QUÍMICA.                                             | 29        |
| 3.- VENTAJAS DEL BIODIESEL.                                                   | 30        |
| 4.- DESVENTAJAS DEL BIODIESEL.                                                | 32        |
| 5.- INSUMOS PARA LA PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL.                                 | 33        |
| <b>CAPÍTULO 4: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL</b>                         | <b>35</b> |
| 1.- PROCESO GENERAL DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL.                                | 35        |
| 2.- REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN                                           | 36        |

|                                                                         |                  |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b>3.- MECANISMO Y CINÉTICA DE REACCIÓN</b>                             | <b>38</b>        |
| <b>4.- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.</b> | <b>39</b>        |
| <b><u>CAPÍTULO 5: FASE I (EXPERIMENTACIÓN)</u></b>                      | <b><u>44</u></b> |
| <b>1.- PRE TRATAMIENTO</b>                                              | <b>44</b>        |
| <b>2.- CARACTERIZACIÓN</b>                                              | <b>46</b>        |
| <b>3.- RESULTADOS ETAPA DE EXPERIMENTACIÓN.</b>                         | <b>48</b>        |
| <b><u>CAPÍTULO 6: (FASE II) DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</u></b>               | <b><u>51</u></b> |
| <b>1.- REQUERIMIENTOS GENERALES.</b>                                    | <b>51</b>        |
| 1.1.- VOLUMEN DE PRODUCCIÓN.                                            | 51               |
| 1.2.- TIPO DE PROCESO.                                                  | 51               |
| 1.3.- REQUERIMIENTO ENERGÉTICO.                                         | 51               |
| 1.4.- MOVILIDAD.                                                        | 51               |
| <b>2.- DIAGRAMA DE FLUJO.</b>                                           | <b>52</b>        |
| <b>3.- DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.</b>                                  | <b>55</b>        |
| 3.1.- TANQUE DE PRE MEZCLADO.                                           | 55               |
| 3.2.- TANQUE DE METOXIDO.                                               | 56               |
| 3.3.- MEZCLADOR ESTÁTICO                                                | 56               |
| 3.4.- TANQUE DE REPOSO.                                                 | 57               |
| 3.5.- EQUIPOS ELÉCTRICOS.                                               | 57               |
| 5.2.- CONEXIONES.                                                       | 59               |
| <b><u>CAPÍTULO 7: COSTOS DE PRODUCCIÓN.</u></b>                         | <b><u>62</u></b> |
| <b>7.1.- COSTOS VARIABLES.</b>                                          | <b>62</b>        |
| <b>7.2 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.</b>                                      | <b>62</b>        |
| <b><u>CAPÍTULO 9: RESULTADOS Y DISCUSIÓN,</u></b>                       | <b><u>64</u></b> |
| <b><u>CONCLUSIÓN</u></b>                                                | <b><u>67</u></b> |
| <b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b>                                              | <b><u>68</u></b> |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1: DIAGRAMA DE CONSUMO SOCIEDAD-INDUSTRIAL RECURSOS .....                                                                                 | 3  |
| FIGURA 2: ESQUEMA DEL CALENTAMIENTO GLOBAL. ....                                                                                                 | 4  |
| FIGURA 3 GRAFICA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL CON PROYECCIONES HASTA 2085..                                                                        | 13 |
| FIGURA 4: CRECIMIENTO POBLACIONAL DE MÉXICO DESDE EL AÑO 2010, CON<br>PROYECCIONES HASTA 2050.....                                               | 14 |
| FIGURA 5 ANOMALÍA CLIMÁTICA DE 1981-2012 CONTRA EL PROMEDIO DE TEMPERATURA<br>(°C) ENTRE 1951 Y 1980.....                                        | 17 |
| FIGURA 6: EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO 1990, 200 Y 2012 .....                                                                                 | 19 |
| FIGURA 7: CONTRIBUCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR SECTOR EN MÉXICO.<br>.....                                                             | 21 |
| FIGURA 8: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOS DIÉSEL.....                                                                                      | 23 |
| FIGURA 9: EJEMPLOS DE ALCANOS QUE DAN ORIGEN A LOS HIDROCARBUROS .....                                                                           | 24 |
| FIGURA 10: DIAGRAMA REPRESENTATIVO DEL PROCESO DE DESTILACIÓN FRACCIONADA,<br>MÉTODO POR EL QUE SE OBTIENEN LOS HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO. .... | 26 |
| FIGURA 11: REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN .....                                                                                                 | 36 |
| FIGURA 12: MECANISMO DE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN BÁSICA HOMOGÉNEA<br>.....                                                             | 38 |
| FIGURA 13: CALENTAMIENTO DE ACEITE PREVIO A LA PURIFICACIÓN.....                                                                                 | 45 |
| FIGURA 14: PREPARACIÓN DE INSUMOS PREVIO A PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN Y<br>METOXIDO .....                                                    | 45 |
| FIGURA 15: MUESTRAS SOMETIDAS AL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN.....                                                                             | 48 |
| FIGURA 16: DIAGRAMA DEL PROCESOS .....                                                                                                           | 52 |
| FIGURA 17: DIAGRAMA DE LUJO DEL PROCESO.....                                                                                                     | 53 |
| FIGURA 18: MODELO DEL EQUIPO .....                                                                                                               | 54 |
| FIGURA 19: TANQUE DE PRE-MEZCLADO.....                                                                                                           | 55 |
| FIGURA 20: TANQUE PARA MEZCLA ALCOHOL – CATALIZADOR.....                                                                                         | 56 |
| FIGURA 21: TANQUE DE REPOSO, PARA LA SEPARACIÓN DE LAS FASES.....                                                                                | 57 |
| FIGURA 22: BOMBAS ELÉCTRICAS. ....                                                                                                               | 58 |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| FIGURA 23: ESTRUCTURA DE SOPORTE .....       | 59 |
| FIGURA 24: ELECTRO VÁLVULAS UTILIZADAS ..... | 60 |
| FIGURA 25: CONEXIONES DE PVC .....           | 60 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 1: ESPECIFICACIONES DEL BIODIESEL.....                | 30 |
| TABLA 2: COMPARACIÓN DE PROPIEDAD BIODIESEL VS DIESEL ..... | 31 |
| TABLA 3: RESULTADOS DE EXPERIMENTOS .....                   | 48 |
| TABLA 4: DESGLOSE DE COSTOS DE PRODUCCIÓN .....             | 62 |

## RESUMEN

---

Con la presente tesis, se concluye una trayectoria de trabajo comenzada en 2012, retomando los trabajos realizados en el bachillerato enfocados al desarrollo de nuevos bioenergéticos.

Se indago sobre las técnicas conocidas para la producción de biodiesel, los tipos de procesos empleados, la evaluación de su factibilidad técnica y comercial para generar un acercamiento de este combustible alternativo a una sociedad, que cada día muestra comportamientos más críticos de consumo, buscando productos y/o servicios cuyo impacto ambiental sea el menor posible y que de manera urgente debe sumarse a las acciones para mitigar los efectos del calentamiento global.

El trabajo se centró en el diseño y construcción de un dispositivo para la producción de biodiesel empleando como insumo principal aceites degradados de cocina, haciendo uso del proceso de transesterificación, debido a las ventajas que presenta, entre algunas de ellas: mayor uso y bajo costo, en donde la cinética de la reacción se extrajo de literatura especializada.

El trabajo metodológico se dividió en dos fases.

En la fase 1, denominada ensayos experimentales, se efectuaron pruebas de obtención de biodiesel a nivel laboratorio, para determinar los parámetros de producción, bajo los cuales se procedió al diseño del equipo, las variables que se estudiaron fueron:

- Recolección de materia prima.
- Caracterización de los aceites a emplear.
- Determinar las cantidades de reactivos para un mayor rendimiento.
- Tiempo de reacción.

- Temperatura de reacción.

En la fase 2, denominada “diseño y construcción”, con los datos obtenidos de la fase anterior se procedió al diseño del dispositivo, considerando las siguientes características.

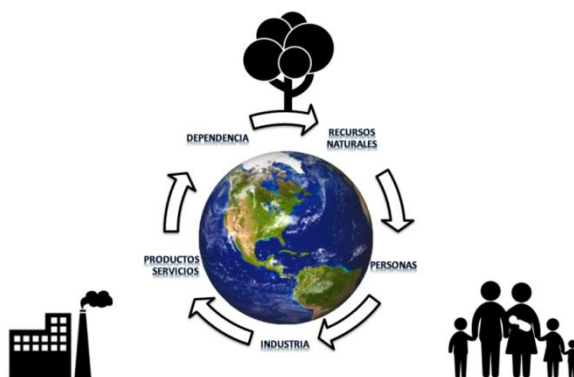
- Volumen de producción.
- Tipo de proceso.
- Movilidad.
- Consumo energético.

Este trabajo es de gran importancia, porque puede sustentar las bases, para el desarrollo de plantas industriales para la producción de biocombustibles, como respuesta a los grandes retos de satisfacer las necesidades que demanda el sector energético, propios de una economía en desarrollo como la Mexicana.

## INTRODUCCIÓN

El gran crecimiento poblacional de los últimos años, pone entre dicho el tema de la sostenibilidad y sustentabilidad, cada día nacen más personas de las que mueren, representando un gran reto para las naciones el satisfacer las necesidades de una población en vías de aumento.

Esto implica satisfacer necesidades de toda esta población, entre las que podemos mencionar: alimento, vestido, transporte y vivienda, cada uno de ellos requieren de procesos para la fabricación de servicios y productos para cubrirlas, convirtiéndose en un círculo de consumo en donde a mayor cantidad de personas, mayor cantidad de productos/servicios, lo que implica mayor cantidad de recursos consumidos para la producción de productos y desarrollo de servicios, viéndose reflejado en un mayor impacto ambiental (Fig. 1), siendo las emisiones de gases de efecto invernadero las principales y que actúan de manera directa sobre el ambiente.



**Figura 1: Diagrama de consumo sociedad-industrial recursos**

**Fuente: Propia**

Los gases de efecto invernadero son gases que tiene la capacidad de absorber parte de la radiación infrarroja emitida por la tierra y los rayos del sol, devolviéndola a la superficie terrestre generando un aumento de la misma (Julio, 2012), dando origen al fenómeno del calentamiento global (Fig. 2), estos gases siempre han estado presentes en la atmosfera terrestre consecuencia de factores

naturales como las erupciones volcánicas, pero el aumento de su presencia se ha disparado en los últimas décadas de la historia como un impacto directo de las actividades antropogénicas, señalando como principales gases de efecto invernadero: Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), Óxidos de nitrógeno ( $\text{NOx}$ ), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) (SEMARNAT, 2013)

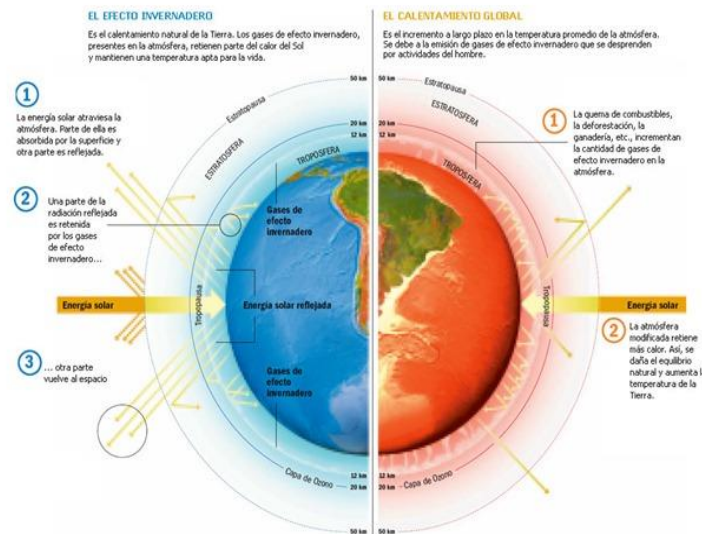


Figura 2: Esquema del calentamiento global.

Fuente: <http://www.elafter.com/foro/f161/2276479-calentamiento-global-o-edad-de-hielo/>

Contrario a lo que su nombre indica el calentamiento global, es una desestabilización de la temperatura general del planeta, provocando a anomalías climáticas, que van desde grandes periodos de sequía en algunas partes del planeta hasta temporadas de fuertes lluvias en otras.

Se considera que el principal gas de efecto invernadero responsable del calentamiento global es el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), como resultado de un elevado uso de combustibles de origen fósil en diversos procesos como la generación de energía eléctrica y el uso de fuentes móviles (vehículos) aumentando la presencia de este gas en la atmosfera (Gómez, 2010)

Estos problemas han llevado a los gobiernos de la gran mayoría de los países a implementar en conjunto mecanismo de desarrollo que permitan la reducción de GEI, en la atmosfera, como el protocolo de Kioto, un acuerdo donde los países en base a su estatus de desarrollo, se comprometieron a reducir el 5% , como mínimo de las emisiones promedio de gases de efecto invernadero entre los años 2008 y 2012, ( Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2005) entrando en vigor en 2005.

Cada país involucrado ha desarrollado acciones, estrategias y políticas a implementar para y cumplir con los compromisos adquiridos al firmar el protocolo anteriormente mencionado, dando un auge al desarrollo de energías alternas, limpias y biocombustibles, respaldado por nuevas generaciones de consumidores más críticos y reflexivos, informándose sobre el impacto que generaran o generaron los productos/servicios sobre el medio ambiente degradado, en un intento por mitigar los problemas de polución actuales.

En el ámbito de los biocombustibles, podemos señalar a uno en particular, el biodiesel que es un combustible alternativo obtenido a partir de aceites vegetales y grasas animales que ofrece características energéticas comparables con las de los combustibles de origen fósil (Castillo, 2009).

Por todo lo anterior este trabajo se centra en el desarrollo de un dispositivo que permita la obtención de biodiesel de una forma simple y optima, empleando los aceites residuales, revalorando este desecho y que su uso no perjudica otros sectores primordiales para el desarrollo del país.

CAPÍTULO

1

GENERALIDADES

## **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES**

---

### **1.- Problema**

La creciente población de los países principalmente los ubicados bajo la dominación: en vías de desarrollo, cuya característica principal es estar en un proceso de industrialización, lo que demanda una mayor cantidad de recursos tanto energéticos como naturales, en donde las principales consecuencias si en términos de sustentabilidad se habla, es la degradación ambiental, principalmente sufren de una caída en su calidad atmosférica, ubicando a ciudades de estas naciones como las más contaminadas del planeta, Beijín en China, Nueva Deli en India y recientemente la Ciudad de México en México. Esto como consecuencia a la gran cantidad de gases de efecto invernadero que emiten diariamente, como parte de sus actividades, donde una de ellas es la quema de combustibles de origen fósil, empleado en diversos procesos productivos, este crecimiento industrial ha propiciado un aumento en la demografía, implicando una serie de acciones que ponen entre dicho la estabilidad o equilibrio del planeta, a mayor población mayor cantidad de servicios y productos son requeridos, lo que lleva a estas naciones a explotar de modo indiscriminado sus propios recursos naturales, generando pérdidas de bosques, por consiguiente los sumideros naturales del carbono, así como el cambio de uso de sus suelos para la edificación de infraestructura industrial, urbana, agricultura intensiva y de comunicaciones, el aumento de vehículos y el consumo de combustibles de estos, generan una gran cantidad de volumen de desechos diariamente, la generación de energía, todo lo anterior mencionado tiene como consecuencia general el aumento de la concentraciones de gases de efecto invernadero en su aire.

Anudado a esto las políticas pobres o deficiente en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente de algunas de estas naciones contribuyen a que el fenómeno de la corrupción aumente, teniendo como consecuencia, malas prácticas de desarrollo, que de manera directa afectan la economía y el desarrollo social, pues enfrentar estos problemas representan grandes inversiones económicas.

A lo largo de los últimos tiempos hemos podido apreciar en primera persona los cambios que está sufriendo el planeta, principalmente en variaciones climáticas que taren consigo fenómenos meteorológicos cada vez más agresivos y de frecuencia mayor, inundaciones, aumento del nivel del mar, huracanes más potentes y de mayor frecuencia, sequias, tornados, degradación de suelos, extinción de especies animales y vegetales, ligados principalmente a la saturación de gases de efecto.

El mundo se ha vuelto adicto al oro negro (petróleo), ha desarrollado una dependencia muy arraigada, en muchas ocasiones la economía completa de algunos países recae exclusivamente en este recurso no renovable, tal como su nombre lo indica solo existe de manera limitada en el planeta, con cada día que pasa nos acercamos más a la fecha de agotamiento.

Sí los países, no comienzan a buscar, desarrollar o implementar nuevas fuentes de energía que les permitan continuar con su desarrollo y calidad de vida actual que además estas no representen grandes amenazas para el ya debilitado equilibrio ambiental actual, nos estaremos enfrentando a un panorama nada alentador, un gran problema nunca antes visto y si de algo podemos estar seguro, es que no seremos nosotros los afectados directamente si estos problemas continúan con su evolución y serán las futuras generaciones las obligadas a pagar la factura de una existencia irresponsable, egoísta y soberbia.

Reafirmando la creencia popular de que la raza humana es la única especie que tiene la capacidad de auto destruirse, todos somos partes de problemas y con la obligación moral de ser parte de la solución.

Porque será triste responder ante las preguntas de nuestros hijos, nietos cuando cuestionen, ¿que hicimos para evitar estos problemas?, y respondamos: ¡Solo observamos!

## **2.- Justificación**

La necesidad del país de afrontar y desarrollar nuevas tecnologías de obtención de energías (combustibles) que le permitan asegurar el actual desarrollo social, acercando las energías renovables al alcance de todos para la generación de una sinergia de mejoramiento ambiental, económico y social.

## **3.- Objetivos**

Para el desarrollo de la presente tesis se han formulado los siguientes objetivos.

### **3.1.- Objetivo general**

Diseñar y construir una máquina para la producción de biocombustibles (biodiesel), a partir de aceites vegetales usados.

### **3.2.- Objetivos específicos**

- Efectuar pruebas iniciales de la obtención de biodiesel para fijar las variables de producción.
- Caracterización de los aceites residuales que se emplearan como insumo principal para la producción de biodiesel.

- Diseño mecánico del dispositivo.
- Diseño eléctrico del dispositivo de producción.
- Construcción del dispositivo.

#### 4.- Hipótesis

Se plantea el diseño y construcción de una máquina que dé solución a la creciente dependencia de combustibles fósiles a pequeña escala, llevando el proceso industrial de la transesterificación de una forma adecuada y de fácil obtención, con el objetivo de que las familias, personas físicas y morales puedan generar su propio biocombustible.

#### 5.- Motivación

En mi adolescencia logre entender, que la inconciencia de los seres humanos, motivados por la necesidad de tener un estilo de vida “Ideal”, nos está dirigiendo a un inminente desastre ambiental, ya que tanto la sociedad, como el gobierno, ignoran y si conocen, hacen caso omiso de que un correcto desarrollo debe involucrar el equilibrio de los aspectos: Ambiental, Social y Económico, siendo una situación que me preocupa y me ocupa, por lo cual decidí estudiar una carrera que me permitiera de algún modo poder aportar algo a la sociedad que mejorara y reivindicara su camino a un futuro con hábitos de consumo más responsables, en un intento por evitar que seamos responsables de nuestra propia destrucción.



CAPÍTULO

2

MARCO DE  
REFERENCIA

## **CAPÍTULO 2: MARCO DE REFERENCIA**

---

### **1.- El factor humano en la degradación del planeta.**

El crecimiento desmedido de la población humana es uno de los grandes problemas de mayor importancia que existen actualmente, esto se ve reflejado en incremento de la demanda de recursos y energía para satisfacer en forma de productos o servicios las necesidades primordiales de cada uno de los individuos que conforman esta gran población, generando impactos directos, como son las emisiones y residuos, por mencionar algunos, en palabras simples entre más personas hay en el planeta, más recursos se consumen, teniendo como principal consecuencia un aumento en el volumen residuos y emisiones generados.

Al inicio la especie humana se encontraba en equilibrio con el ambiente, pero desde el descubrimiento del fuego y las herramientas aumento la esperanza de vida y la natalidad de la población, esto gracias al desarrollo de innovaciones tecnológicas propias de la era como son la invención de armas para defensa y caza, con el descubrimiento de la agricultura se dejó de lado el estilo de vida nómada, propiciando por una seguridad alimenticia representando un incremento en la población gracias a una mayor disponibilidad de alimentos y finalmente con la llegada de la era industrial trajo consigo otra gran explosión demográfica, la de mayor importancia en la historia, consecuencia de los avances en medicina, construcción, industrialización, mecanización de la agricultura, el nacimiento de la agricultura y ganadería intensiva, por lo tanto en la actualidad ni la falta de alimento ni las enfermedades son causas que limiten el crecimiento de la población humana.

Para finales del año 2015 la población mundial ascendía a 7,349,472,000 habitantes y se estima que para el año de 2055 la población mundial 11,500,000,000 habitantes, teniendo un ritmo de crecimiento de 80 millones de personas por año (Fig. 3), países subdesarrollados son los que tendrán mayor índice de natalidad, por lo que la producción de alimentos, vivienda, vestido y transporte deberán ser mayores (Un population projections: implications for international development, 2015)

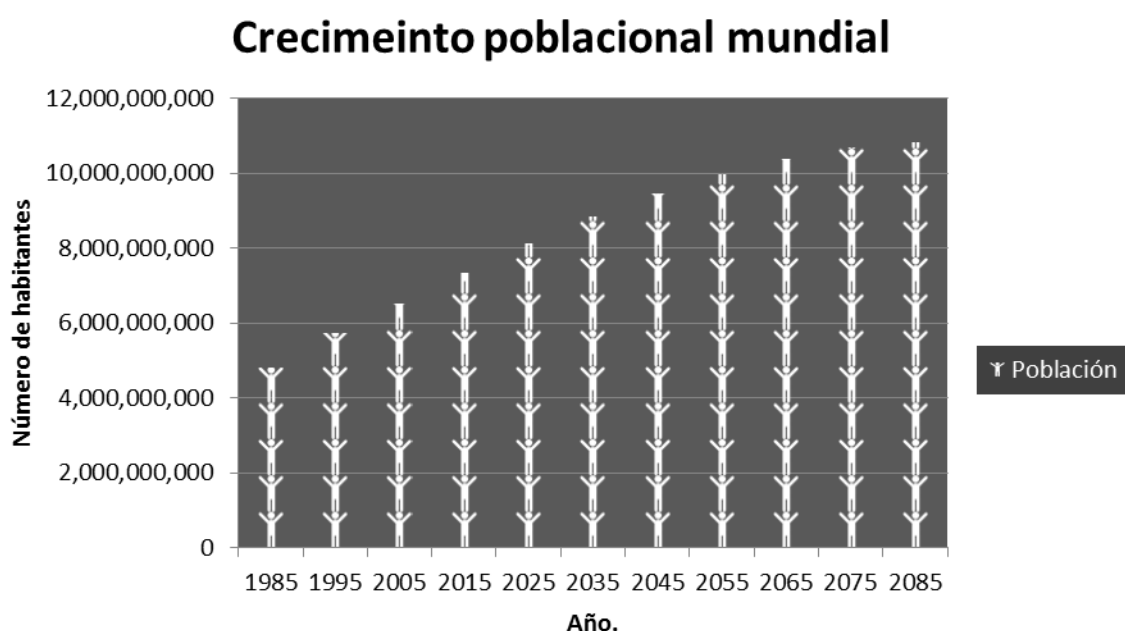
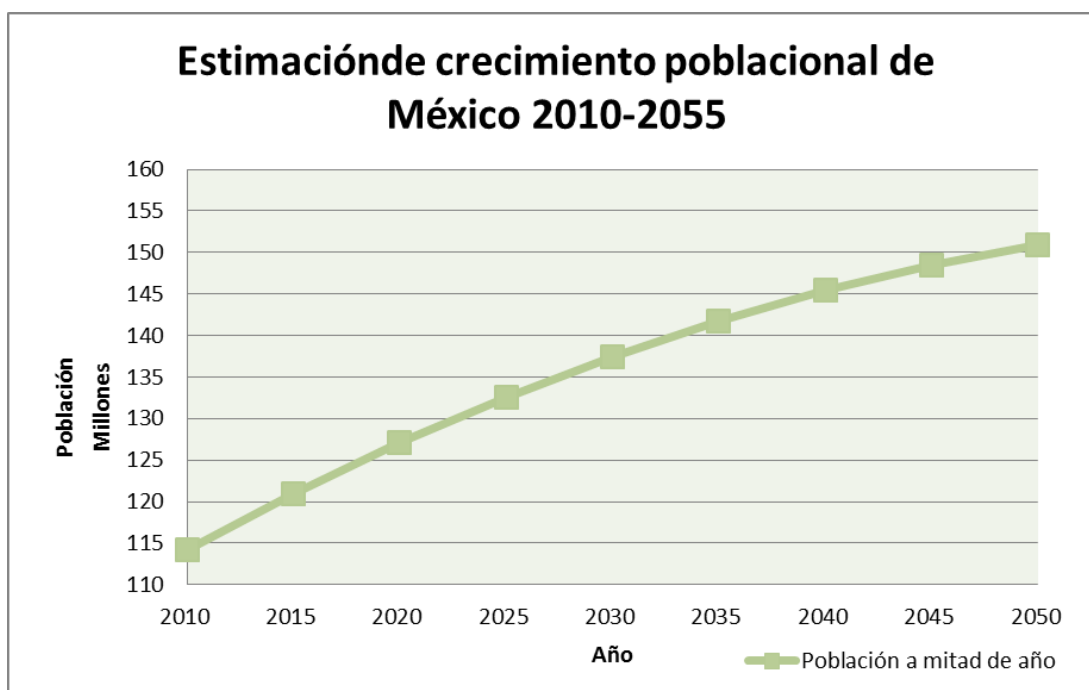


Figura 3 Grafica de crecimiento poblacional con proyecciones hasta 2085.  
Elaboración propia con datos extraídos de: <http://www.cid.org.nz/news/un-population-projections-implications-for-international-development/>

Cuanto mayor es el número de individuos mayor serán sus necesidades implicando consumo de recursos, el consumo de estos recursos tiene una repercusión en el ambiente. En los países en vías de desarrollo la población se comporta como *súper población de individuos* que gasta recursos mientras que los desarrollados se comportan de modo *súper población de consumidores*.

Los individuos de un país desarrollado consumen más recursos que los de un país en vías de desarrollo, pero como en el país en vías de desarrollo la población es más, el consumo es mayor.

México no es ajeno a estas circunstancias, ya que está catalogado como país en vías de desarrollo o subdesarrollado, teniendo todas las características propias de una economía en esta situación, pasando de tener una población de 114, 255,555 de habitantes en 2010, a 121, 005,815 en 2015, con un tasa de crecimiento de 1.25% anual, proyectando para el año 2050 una población mexicana de 150, 837,517 (Fig. 4). De acuerdo a las proyecciones realizadas por la CONAPO (consejo nacional de población).



**Figura 4: Crecimiento poblacional de México desde el año 2010, con proyecciones hasta 2050**  
*Elaboración propia con información: Consejo Nacional de Población (CONAPO)*

Entre las consecuencias de lo anteriormente expresado encontramos impactos indirectos, como la pérdida de la productividad de los suelos agrícolas, la degradación de los sistemas forestales, los daños en los cultivos y el aumento del calentamiento global, efectos que se propagan de manera local, regional y mundial.

Estos efectos nocivos imponen costos elevados, moralmente inaceptables a la vez perjudicando principalmente a los grupos más vulnerables de la sociedad como los niños, ancianos, pobres, enfermos, mencionando que dichos costos afectan de manera el potencial desarrollo de los países.

## 2.- El calentamiento global.

Desde la revolución industrial la temperatura del planeta ha aumentado, con mayor resentimiento en la última mitad de siglo, la evidencia científica permite aseverar con total confianza dos conclusiones, la primera que los cambios que muestra el clima, son significativos y la segunda que es provocado por actividades antropogénicas, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles y la deforestación.

El sistema climático depende del equilibrio de varios factores externos e internos. Entre los externos podemos mencionar la radiación solar, la trayectoria de la tierra sobre su propio eje, mientras que los factores internos son la composición química de la atmosfera, los ciclos del agua y del carbono, en los últimos diez años se han podido observar un incremento de los gases de efecto invernaderos (GEI), que altera la composición química de la atmosfera, se estima que la concentración de este tipo de gases ha tenido un aumento del 40%, en comparación con los del ultimo medio millón de años ( Lüthi, y otros, 2008), en consecuencia la temperatura del planeta puede aumentar hasta en 4°C para finales del siglo XXI.

Los posibles efectos que puede ocasionar este creciente de la temperatura superficial de la tierra en 2°C o 3°C, con respecto a las temperaturas registradas antes de la industrialización, son una frecuencia mayor de fenómenos climáticos desastrosos como son sequías, ondas de calor comportamiento oceánico inestables dando lugar a un mayor incremento de huracanes con niveles de intensidad altos.

Actualmente el cambio de la temperatura es evidente, las variaciones de la temperatura en el periodo comprendido entre los años 1981 – 2010 en comparación con las de los años de 1950-1980, son de naturaleza extrema, llegando a un aumento de 2°C en los polos, sobre pasando la media histórica (SEMARNAT, 2012).

Esta situación ha impulsado que los países tomen medidas para evitar el continuo aumento de la temperatura, estos implementando políticas de producción más limpia, normativas nacionales, tratados internacionales como el protocolo de Kioto, los objetivos de desarrollo del milenio, la convención de Montreal, los esfuerzos siguen sin ser suficientes, principalmente por naciones que no han tenido un alto grado de compromiso y de forma paradójica son los de mayor producción de estos gases.

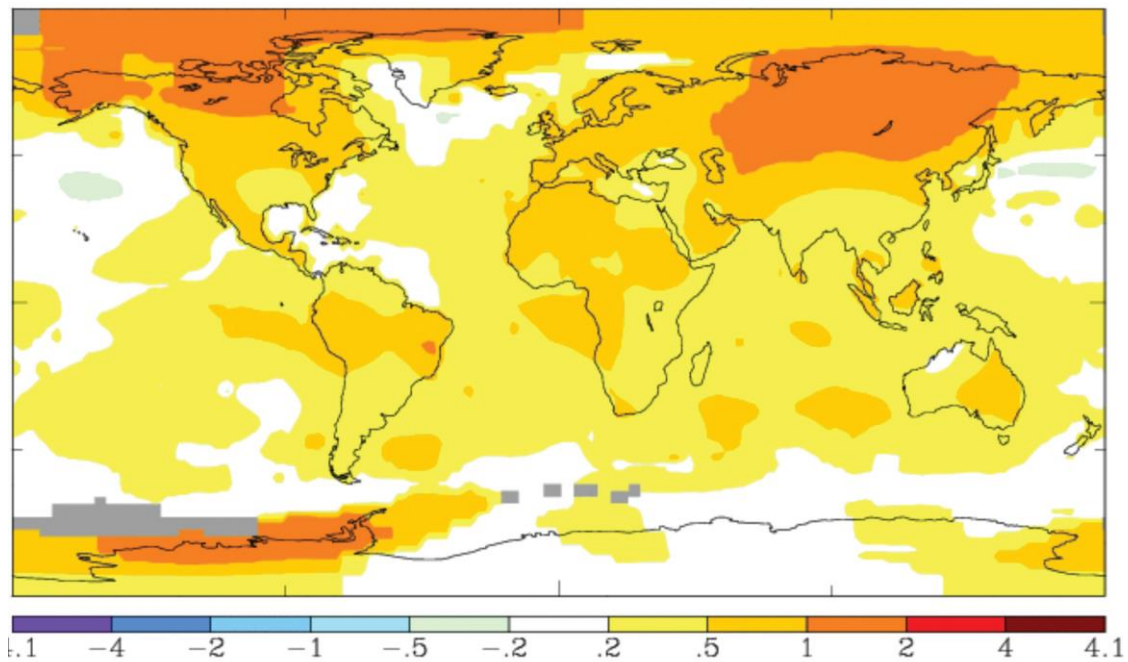


Figura 5 Anomalía Climática de 1981-2012 contra el promedio de temperatura (°C) entre 1951 y 1980.

Fuente: Recuperado de: [http://data.giss.nasa.gov/cgi-bin/gistemp/nmaps.cgi?year\\_last=2013&month\\_last=4&sat=4&sst=3&type=anoms&mean\\_gen=0112&year1=1981&year2=2012&base1=1951&base2=1980&radius=1200&pol=reg](http://data.giss.nasa.gov/cgi-bin/gistemp/nmaps.cgi?year_last=2013&month_last=4&sat=4&sst=3&type=anoms&mean_gen=0112&year1=1981&year2=2012&base1=1951&base2=1980&radius=1200&pol=reg)

### 3.- Los gases de efecto invernadero.

Los gases de efecto invernadero (GEI), son componentes presentes en la atmosfera, proveniente de fuentes naturales como antropogénicas, que tienen la característica de absorber y emitir radiación, en diferentes longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja.

El efecto invernadero hace referencia a que los GEI, tiene la capacidad de absorber y emitir la radiación generada por la tierra ( Benavides Ballesteros & León Aristizabal , 2007), La absorción de energía por un determinado gas tiene lugar cuando la frecuencia de la radiación electromagnética es similar a la frecuencia vibracional molecular del gas. Cuando un gas absorbe energía, esta se transforma en movimiento molecular interno que produce un aumento de temperatura y se clasifican en directos e indirectos.

*Los gases de efecto invernadero directos* son aquellos que de forma inmediata contribuyen al calentamiento global tal cual son emitidos a la atmosfera, en esta clasificación encontramos al vapor de agua, metano, dióxido de carbono, óxido nitroso (Instituto Nacional de Ecología , 2004).

Mientras que los gases de efecto invernadero indirectos son aquellos que se originan como resultados de actividades de producción y operación de plantas de generación de electricidad (Instituto Nacional de Ecología , 2004).

#### **4.- Contexto internacional de emisiones de gases de efecto invernadero.**

Datos ofrecidos por el informe de “*los objetivos de desarrollo del milenio*”, realizado por la organización de las naciones unidas, en 2015 reporta que el objetivo 7 que hace referencia a garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, indica el agotamiento de las sustancias que agotan la capa de ozono desde el año de 1990 y estima que para mediados del siglo es decir entre el año 2050 -2060 la capa de ozono este recuperada en su totalidad, un beneficio indirecto de este logro es la prevención de al redor de dos millones de casos de cáncer de piel anual dicha enfermedad relacionada a la exposición directa de los rayos de sol.

Peor el mundo aun no puede cantar victoria, ya que por otro lado solo queda el 30%, de la superficie del planeta con bosques, gracias al aumento de la deforestación, principalmente en Sudamérica y África, provocando la perdida de los sumideros naturales del CO<sub>2</sub>, y el medio de subsistencia de aproximadamente 1,600 millones de personas que dependen de los bosques de manera directa, el 25%, de la población mundial y el hogar de miles de especies animales y vegetales.

Uno de los factores que más preocupa es el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, en el periodo comprendido entre los años de 1990 – 2012 las emisiones de carbono aumentaron en un 50%, consecuencia del crecimiento de las regiones en desarrollo (Objetivos de desarrollo del milenio, 2015).

A nivel internacional, el crecimiento demográfico y económico siguen siendo los motores más importantes en el aumento de gases de efecto invernadero, como consecuencia de la quema de combustibles fósiles, la contribución del crecimiento poblacional en el periodo comprendido del 2000 – 2010, las emisiones de mantuvieron igual a los últimos 30 años y fueron superiores a las reducciones.

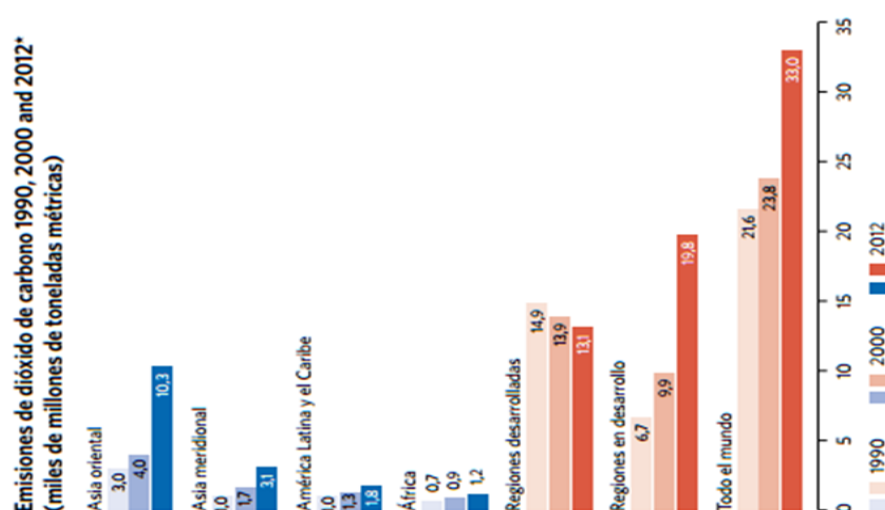


Figura 6: Emisiones de dióxido de carbono 1990, 200 y 2012  
Fuente: Informe objetivos de desarrollo del milenio 2015

## 5.- Contexto Nacional del cambio climatico y los gases de efecto invernadero.

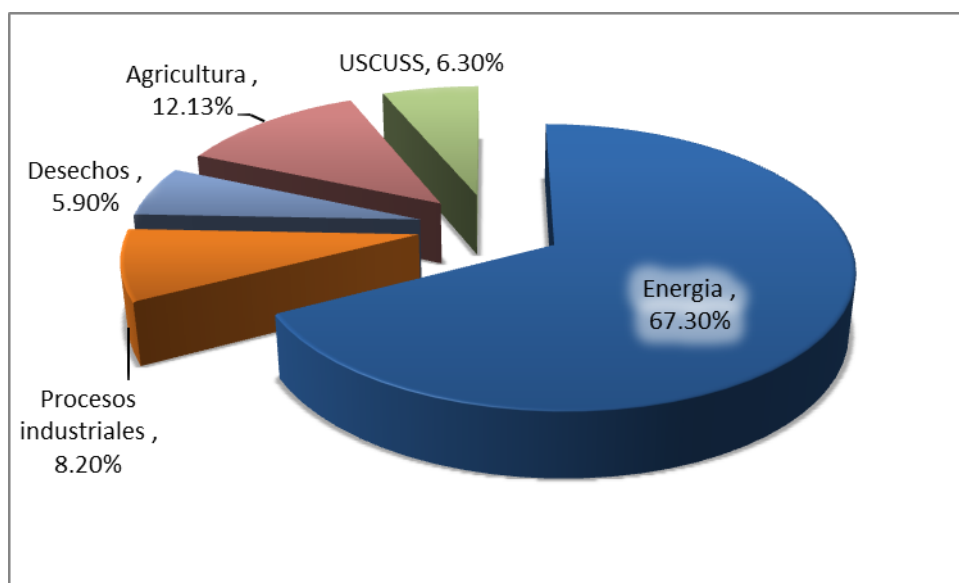
México es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, dado a sus condiciones climáticas, orográficas e hidrológicas, el territorio nacional está expuesto a eventos hidrometeorológicos extremos causando severos daños ecológicos y sociales (PROTEGIDAS, 2015), esto aunado a una actual industrialización y urbanización, así como el uso desmedido de recursos naturales y el consecuente deterioro de estos, representan un gran riesgo ambiental, económico y social, agravado por los efectos del cambio climático (SEMARNAT, 2012). Se prevé que la frecuencia de estos fenómenos será cada vez mayor al igual que su intensidad y como consecuencia sus impactos serán desastrosos.

Calor y frio son los dos escenarios que el país enfrentara, el aumento de la temperatura ha sido de 0.85°C, en la década de los 70's a la actual, siendo los estados del norte los que mayor incremento presentan en su temperatura de 0.25°C a 0.50°C (1960-2010), con una disminución de la precipitación en esa región, y se estima que el aumento seguirá hasta llegar a los 2°C en 2035, y para finales de siglo el aumento será de 3.7°C traduciéndose en periodos de sequía más prologados.

En 2011, México contribuyo con el 1.4% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas principalmente de la quema de combustibles de origen fósil, colocándolo en el puesto 12 de los países más contaminantes (Agencia Internacional de Energía, 2012).

Aunque la contribución de nuestro país no es significativa si realizamos un comparativo con los grandes generadores, como lo es el caso de Japón cuyas emisiones anuales equivalen a las generadas por todo el continente africano (Solis, 2016).

Si estudiamos con atención las principales actividades que aportan mayor cantidad de gases de efecto invernadero en México, el sector de la energía aglutina el 67.30% del total de las emisiones, este sector lo componen la generación de energía, manufactura y construcción 7.60%, Transporte 22.20%, Comercial residencial y agropecuario 4.60% y las emisiones fugitivas 11.10% (SEMARNAT, 2013)



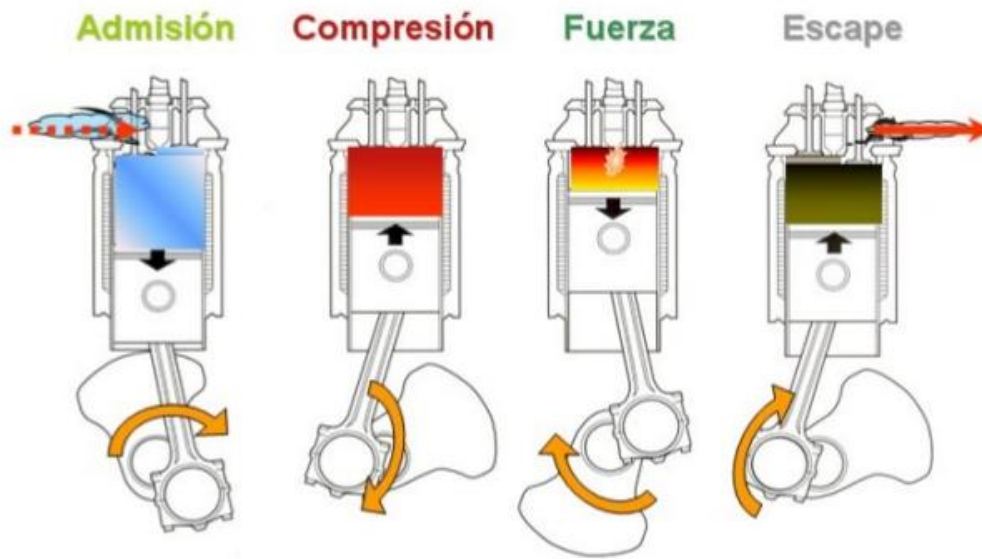
**Figura 7: Contribución de gases de efecto invernadero por sector en México.**  
**Fuente: Inventario nacional de gases de efecto invernadero 2014**

## 6.- Los motores de tipo diesel

La humanidad siempre se ha enfrentado a retos importantes de ingeniería para garantizar su supervivencia, uno en particular es la transformación de las fuentes energéticas, que de modo tan noble nos ofrece la naturaleza en formas que sean más fácilmente aprovechadas por el hombre (Gaviaria Rios, Mora Guzman, & Agudelo, 2002). *Desafortunadamente* la naturaleza provee la energía de una forma que requiere una serie de transformaciones, para tener una energía que pueda desempeñar un trabajo mecánico.

El motor diésel y el biodiesel no son ajenos entre si ya que desde su nacimiento, el motor diésel funcionaba con aceite de cacahuate, su creador Rudolf Diesel tenía la idea de que los aceites desempeñarían un papel importante en su uso como energía, pero debido al desarrollo petroquímico de la época propicio que la obtención de diésel de origen fósil fuera más rentable se dejó de lado la idea de los aceites como combustibles (Gaviaria Rios, Mora Guzman, & Agudelo, 2002).

El motor de tipo diésel tiene una característica bastante importante, al no requerir de la chispa para generar la ignición, de ahí su nombre motor de auto ignición en donde una mezcla de aire y combustible, explota esto debido a la elevada temperatura que hay al interior de la cámara de combustión (Fig. 8).



**Figura 8: Esquema de funcionamiento de un motor diésel**  
Fuente: <http://es.slideshare.net/EdgarVargasMedina/exposicion-motores-diesel>

En cuanto el combustible frío contacta con el aire que se encuentra a gran temperatura, comienza a elevarse su temperatura, formándose vapor alrededor de cada una de las gotas. El aire circundante se enfría y toma calor de la masa de aire comprimido, transmitiéndolo nuevamente a la gota de combustible que vuelve a calentarse hasta alcanzar su temperatura de inflamación.

Cuando esto ocurre, comienza la combustión y el calor producido se pasa a toda la masa de aire y combustible restante, produciéndose su inflamación.

El tiempo que transcurre entre la entrada de las primeras gotas y el inicio de la combustión se llama retardo a la inflamación, el cual representa el tiempo de giro del cigüeñal que transcurre entre el comienzo de la inyección y la inflamación del combustible. Durante este periodo se está inyectando combustible de forma continua.

Este fenómeno produce un picado particular, parecido a la detonación en los motores de gasolina, que aumenta a medida que lo hace el retardo a la inflamación. Para reducir este fenómeno es necesario que la combustión se inicie con el menor intervalo de tiempo respecto a la inyección, por lo que se usa un combustible con un alto grado de cetano así como una buena pulverización del mismo, con relaciones de compresión elevadas y cámaras de alta turbulencia

## 7.- Los hidrocarburos

Los hidrocarburos son una serie de compuestos químicos derivados del petróleo, una de sus características principales es que su composición se basa en átomos de carbono e hidrogeno únicamente (Morrison & Boyd, 1990).

Aunque erróneamente se utilizan los términos hidrocarburos y petróleo como sinónimos, químicamente son diferente, debido a que el petróleo presenta una composición 10 – 15 %(W/W), de compuestos que no son hidrocarburos.

Por su química de poseer enlaces simples C-C y saturación de H, entran en la clasificación de *alcanos*, se presentan en tres estados físicos: sólidos, líquidos y gases, esto depende del número de carbonos en la cadena principal.

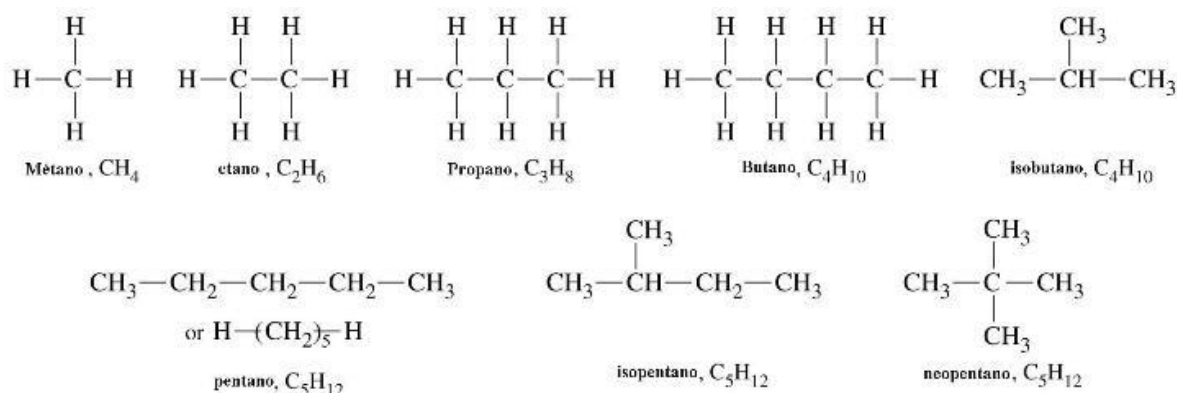


Figura 9: Ejemplos de alcanos que dan origen a los hidrocarburos

Fuente: [http://ejercicios-fyq.com/Formulacion\\_organica/31\\_hidrocarburos.html](http://ejercicios-fyq.com/Formulacion_organica/31_hidrocarburos.html)

Por esta razón los alcanos con bajo peso molecular como son: metano, etano, propano y butano, son gases, pero conforme aumenta la número de carbonos en la cadena principal, los compuestos a temperatura ambiente se presentan en fase líquida, (pentano, hexano, heptano y octano), después de los 18 carbonos los compuestos se presentan en estado sólido, entre mayor sea el tamaño de la molécula, mayor es su punto de fusión, ebullición y densidad.

Son insolubles en agua, solo se pueden disolver en disolventes no polares, poseen baja densidad y conforme aumenta su tamaño la densidad lo hace pero nunca supera la densidad del agua.

Químicamente hablando son poco reactivos, esto a causa de que no poseen electrones libres, ya que sus carbonos se encuentran saturados con hidrogeno, no permitiendo la interacción con metales, ácidos, bases o agentes oxidantes, sin la presencia de energía; Sin embargo son excelentes combustibles, en presencia de oxígeno su reacción es aún más eficiente, dando como sub productos la presencia de  $\text{CO}_2$  y agua.

Esto gracias a la reacción con el oxígeno formando,  $\text{CO}_2$ , agua y liberación de energía en forma de calor, cuando la reacción se conforma con poco oxígeno se forma monóxido de carbono  $\text{CO}$ , un ejemplo coloquial es la estufa de gas natural.

El método de obtención, es mediante la destilación fraccionada del petróleo (Fig. 10), en dicho proceso se separan los diferentes alcanos presentes en el petróleo haciendo uso de sus diferentes temperaturas de ebullición, pero manteniendo su estructura química.

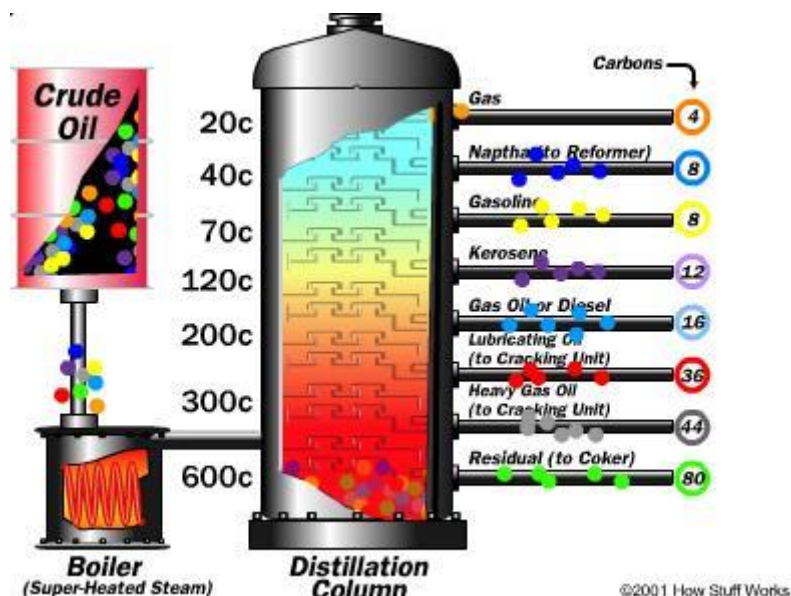


Figura 10: Diagrama representativo del proceso de destilación fraccionada, método por el que se obtienen los hidrocarburos del petróleo.

Fuente:

[http://horno3.ensi.com.mx/apps/newsletter/idem.php?module=Newsletter&action=ReadNewsletter&newsletter\\_id=5512](http://horno3.ensi.com.mx/apps/newsletter/idem.php?module=Newsletter&action=ReadNewsletter&newsletter_id=5512)

Sus usos y aplicaciones se determinan de acuerdo al número de átomos de carbono en la molécula, los primeros alcanos/ hidrocarburos 1-4 carbonos se utilizan como insumo para la calefacción, cocción de alimentos entre otros.

El propano lo localizamos en el gas que utilizan las estufas, el butano se encuentra presente en los encendedores de bolsillo.

Los alcanos de 5 carbonos (Pentano) a 8 carbonos (Octano), se utiliza como combustible en motores de combustión interna, a esta mezcla de moléculas se conoce como gasolina, donde el índice de moléculas/cadenas de 8 carbonos indica la calidad de esta (índice de octanos)

La mezcla de alcanos con moléculas de 9 carbonos (nonano) a 16 Carbonos (hexadecano o cetano), dan origen al combustible diésel, donde el parámetro de calidad lo indica el índice de presencia de este último.

Después las moléculas con número mayor a 17 carbonos dan origen a otros productos entre ellos los aceites lubricantes, asfalto, base para polímeros y productos impermeabilizantes.

## 8.- Hisotoria del Biodiesel

Desde que el hombre, apareció por primera vez en la tierra ha hecho uso de sus recursos, tanto los renovables como los no renovables, con el inicio de la civilización, se comenzó con el desarrollo de herramientas, agricultura y desde luego la energía.

En la era antigua encontramos el precursor del biodiesel y de los combustibles, en su forma más humilde, pues fueron las grasas y aceites vegetales utilizadas por primera vez con fines energéticos principalmente en los sistemas de iluminación, desde las antorchas, palos cubiertos de material inflamable impregnados de aceites, pasando por las famosas lámparas de aceites, también se usó como medio empleándose como fuente de energía inicialmente cumpliendo la función de iluminar y calentar los hogares, la historia no indica la presencia de estos artefactos y tecnología en casi todas las eras y cultura, desde la prehistoria, la romana, la edad media, en las culturas aztecas, incas, egipcias y asiáticas (Orozco, 2015).

Los aceites de mayor uso en esas épocas fueron, el de oliva, pescado, ballenas y nueces, los egipcios utilizaban aceite de reicno para alimentar a sus candiles, los indio emplearon aceites de semillas como el sésamo para el mismo fin (Orozco, 2015).

Hasta la llegada de los motores de combustión interna pasando por el descubrimiento accidental del biodiesel como lo conocemos actual, este descubrimiento se le atribuye a los científicos E. Duffy y J. Patrick que en el año de 1853, efectuaron por vez primera la reacción de transesterificación, en un intento por obtener glicerina de aceites vegetales para la producción de jabón, dando como resultado Biodiesel (Gaviaria Rios, Mora Guzman, & Agudelo, 2002)

CAPÍTULO

3

# NATURALEZA DEL BIODIESEL

## CAPÍTULO 3: NATURALEZA DEL BIODIESEL

---

### 1.- Biodiesel definición química.

El biodiesel está constituido por esteres mono alquilados de ácidos grasos de cadena larga, presentes en los aceites vegetales y las grasas animales, lo que lo transforma en un combustible alternativo de combustión limpia, el cual es sometido a un proceso por el cual se extrae la glicerina (Nelson, 2009). Esto bajo las especificaciones que maneja la *ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials)* y lo denomina con las abreviación B100.

La definición de biodiesel proviene de la unión de dos palabras *bio-*, del griego (βίος-bios) significa vida; y *diesel*, que proviene del apellido del inventor alemán Rudolph Diesel, por lo que se puede clasificar como biocombustible, y las características que debe cumplir cualquier combustible para poder entrar el dicha clasificación, es un combustible que se obtuvo mediante el tratamiento físico y químico, de cualquier materia vegetal, residuos orgánico, es decir cualquier tipo de biomasa (J.Y. Zhu, 2010), no solo restringiéndose a especies vegetales sino también a los residuos animales.

El termino biomasa hace referencia a todo material orgánico de origen biológico que gracias a diversos procesos que pueden ser físicos o químicos que dan como resultado un material idóneo para su uso como combustible, además de que estos materiales resultantes no debieron pasar por de proceso de fosilización, anexando que no todo material orgánico es apto para su uso en la producción de biodiesel, ya que para la transformación en este combustible hay una serie de características más que se deben cumplir (Tabla 1).

**Tabla 1: Especificaciones del biodiesel**  
Fuente: norma ASTM

|                                                           | Test Method    | Limits             | Units              |
|-----------------------------------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| Water and Sediment                                        | ASTM D2709     | 0.05 max           | % volume           |
| Kinematic Viscosity @ 40o C                               | ASTM D445      | 1.9 - 6.0          | mm <sup>2</sup> /s |
| Sulfated Ash                                              | ASTM D874      | 0.02 max           | % mass             |
| <b>Sulfur</b>                                             |                |                    |                    |
| S 15 Grade                                                | ASTM D5453     | 0.0015 max         | % mass             |
| S 500 Grade                                               | ASTM D5453     | 0.05 max           | % mass             |
| Copper Strip Corrosion                                    | ASTM D130      | No 3 max           |                    |
| <b>Alcohol Content (One of the following must be met)</b> |                |                    |                    |
| Methanol Content                                          | EN 14110       | 0.20 max           | % volume           |
| Flash Point, Closed Cup                                   | D93            | 130 min            | o C                |
| Cetane Number                                             | ASTM D613      | 47 min.            |                    |
| Cloud Point                                               | ASTM D2500     | Report to Customer | o C                |
| Carbon Residue                                            | ASTM D4530     | 0.05 max           | % mass             |
| Acid Number                                               | ASTM D664      | 0.50 max           | mg KOH/g           |
| Free Glycerin                                             | ASTM D6584     | 0.02               | % mass             |
| Total Glycerin                                            | ASTM D6584     | 0.24               | % mass             |
| Phosphorus                                                | ASTM D4951     | 10 max             | ppm                |
| Vacuum Distillation End Point                             | ASTM D1160     | 360 o C max        | o C                |
| Oxidative Stability                                       | EN 14112       | 3 min              | hours              |
| Cold Soak Filtration                                      | Annex to D6751 | 360 max            | seconds            |
| Calcium & Magnesium (combined)                            | EN 14538       | 5 max              | ppm                |
| Sodium & Potassium (combined)                             | EN14538        | 5 max              | ppm                |

### 3.- Ventajas del biodiesel.

Entre las principales ventajas que ofrecen la producción y uso de biodiesel son:

- Único combustible alternos que funciona en cualquier motor del tipo diésel con el mínimo de modificaciones al motor.
- No representa un riesgo de almacenamiento mínimo en comparación de los de origen fósil.
- Puede usarse de manera directa o en mezcla con el diésel convencional B10, B20, B40, B60, B80.
- Reducción de emisiones de GEI.
- De manera indirecta previene las enfermedades respiratorias asociadas a la mala calidad el aire.

- Al usar biodiesel puede ser extendida la vida útil de los motores porque posee mejores cualidades lubricantes en comparación con el combustible diesel fósil, mientras el consumo, encendido, rendimiento y torque del motor se mantienen prácticamente en sus valores normales (Tabla 2).
- Presenta cualidades de seguridad, debido a su poca volatilidad y no reacciona con chispa.
- Para su producción se puede recurrir a diversos cultivos oleaginosos, grasas animales y para esta tesis aceites residuales de cocina.

**Tabla 2: Comparación de propiedad Biodiesel VS Diesel**  
Fuente: <http://www.envirafuels.com/info.html>

| Propiedades                                | Biodiesel  | Diésel   |
|--------------------------------------------|------------|----------|
| <b>Metil éster 95.5-&gt;98 % -</b>         | 95.5->98 % | -        |
| <b>Carbono (% peso)</b>                    | 77         | 86.5     |
| <b>Azufre (% peso)</b>                     | 0.0024     | 0.05 máx |
| <b>Agua (ppm)</b>                          | 0.05%      | máx 161  |
| <b>Oxígeno (% peso)</b>                    | 11         | 0        |
| <b>Hidrógeno (% peso)</b>                  | 12         | 13       |
| <b>Número de cetano</b>                    | 48-55      | 48-55    |
| <b>Viscosidad cinemática (40° C)</b>       | 1.9-6.0    | 1.3-4.1  |
| <b>Punto de inflamación (° C)</b>          | 100-170    | 60-80    |
| <b>Punto de ebullición (° C)</b>           | 182-338    | 188-343  |
| <b>Gravedad específica (KG/L) (60 ° C)</b> | 0.88       | 0.85     |
| <b>Relación aire/combustible</b>           | 13.8       | 15       |
| <b>Poder Calorífico (MJ/Kg)</b>            | 37.8       | 43       |
| <b>Poder Calorífico (MJ/L)</b>             | 33.2       | 36       |
| <b>Densidad (Kg/m3)</b>                    | 878        | 837      |
| <b>Densidad (Kg/L)</b>                     | 0.878      | 0.837    |

#### 4.- Desventajas del biodiesel.

Al igual que todo el biodiesel, presenta una serie de desventajas que se mencionan a continuación:

- Una cantidad elevada de NOx producida, cuando se utiliza de modo puro.
- Su costo de producción es aun elevado este parámetro está ligado principalmente al precio de los insumos que se requiere para su fabricación, esto puede contrarrestarse gracias a la alza continua de los combustibles de origen fósil.
- Impacto directo sobre otros sectores como el de la agricultura, en caso de emplear aceites puros de laguna semilla esto traería como consecuencia mayor cantidad de superficie para el cultivo de granos destinados a la producción de biocombustibles, pudiendo generar un desabasto para los granos destinados al consumo humano, encarecimiento de estos a la vez del deforestación por el cambio de uso de suelo a agrícola y de forma indirecta el aumento de pesticidas, herbicidas, fertilizante de origen químico que contaminando el suelo y alterando los ciclos biogeoquímicos de los principales elementos.
- Su tiempo de vida, es relativamente corto, de aproximadamente 6 meses.
- Poca compatibilidad con algunos materiales del motor (plásticos) generando corrosión en ellos, por lo que se recomienda una revisión previa del motor evaluando la compatibilidad de sus componentes con el biodiesel (CASTAÑO, 2010).

## 5.- insumos para la producción del biodiesel.

El insumo principal en la fabricación del biodiesel es el aceite, el cual puede provenir de diversas fuentes desde grasas animales hasta los aceites residuales de cocina, pasando por los obtenidos de semillas oleaginosas, de diversos cultivos, pero el simple hecho de plantear el uso de estos, contradice el objetivo de generar una alternativa enfocada a la producción de bio-energéticos, que permitan un desarrollo equilibrado, debido a que de manera indirecta se afectan otros sectores, siendo la estabilidad alimentaria la más afectada, en el sentido estricto de que el promover el desarrollo de cultivos energéticos compromete el abastecimiento de alimentos, lo que trae como consecuencia de esto alza en el precio de las semillas, la pérdida de zonas forestales, selvas entre otras, por el cambio de uso de suelo para satisfacer las necesidades alimentarias de una población, que está en constante crecimiento.

CAPÍTULO

# 4

## PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL

## CAPÍTULO 4: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

### **1.- Proceso general de obtención de biodiesel.**

La transesterificación de ácidos grasos usando metanol y un catalizador alcalino ha sido el método comúnmente empleado en la modificación de aceites vegetales para su implementación como biodiesel en motores de combustión interna. Las variables que intervienen en la reacción de transesterificación de ácidos grasos para la obtención del biodiesel son: tipo de materia prima, alcohol, catalizador y concentración del mismo, entre otras (Acosta, Castro, & Cortijo, 2008).

Las propiedades y la calidad del biodiesel, no solo están determinadas por las variables del proceso de producción sino también por el perfil de ésteres alquílicos de ácidos grasos que componen el biocombustible (Grey C. Castellar Ortega, 2014).

El biodiesel se obtiene como resultado de una serie de procesos físicos y químicos, los cuales se pueden resumir en 4 pasos fundamentales:

1. Recolección de aceite.
2. Tratamiento previo.
3. Transesterificación.
4. Caracterización final.

Siendo la transesterificación el proceso fundamental, pues es en donde los aceites se convierte en biodiesel.

## 2.- Reacción de transesterificación

Conocida como alcoholólisis la transesterificación es el proceso químico por el cual una grasa o aceite entra en contacto con un alcohol y con la ayuda de un catalizador se obtiene ésteres (biodiesel) y glicerol debido a su naturaleza de reversibilidad se debe emplear alcohol en exceso para el desplazamiento del equilibrio de lado de los productos.

Los alcoholes deben ser primarios y secundarios con número de carbonos que oscilan entre 1- 8 carbonos siendo los de mayor uso en este proceso el etanol y metanol, este último posee grandes ventajas de costo, propiedades químicas, físicas, su rápida reacción con las moléculas de triglicéridos, convirtiéndolo en el alcohol ideal para este proceso. Estequiométricamente hablando la reacción de transesterificación debe tener una relación molar de 3:1 es decir por cada tres moles de triglicéridos se requiere un mol de alcohol, esto varía en el proceso práctico se requiere de un exceso de este para poder desplazar el equilibrio (D. Leung, 2010).

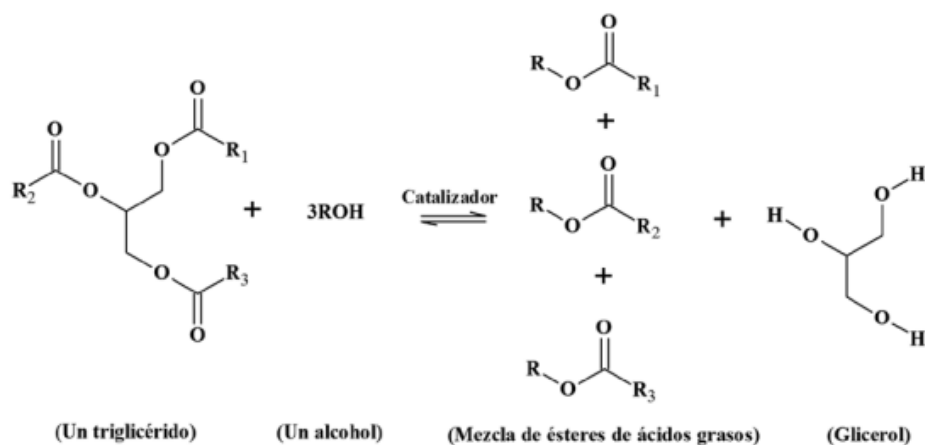


Figura 11: Reacción de transesterificación

Fuente: <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2009/07/31/122559>

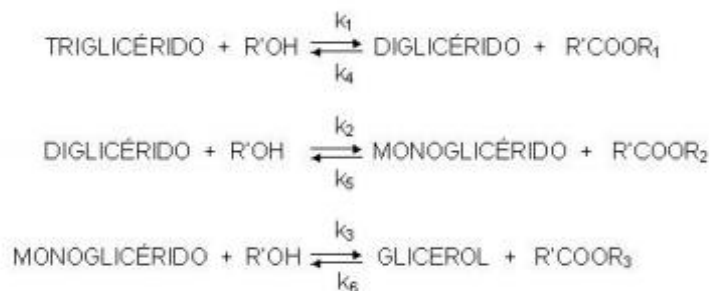
Frecuentemente se emplea un catalizador para agilizar la reacción como son el NaOH (hidróxido de sodio) y el KOH (hidróxido de potasio) gracias a su alta solubilidad con el metanol, la reacción puede ser catalizada mediante alcalisis, el empleo de enzimas o ácidos, siendo la más empleada por su factibilidad comercial la transesterificación con catalizador alcalino.

La velocidad de la reacción también se verá afectada de acuerdo a la cantidad de triglicéridos libres presentes en el aceite, por lo que se busca que estos estén presentes en la menor medida posible. Anudado a esto los alcoholes y aceites usados deben ser sustancias de naturaleza anhidra, esto como consecuencia a que el agua induce a un cambio parcial de reacción de saponificación cuyo producto principal es jabón. Los principales productos que se obtiene una vez realizada la reacción son una mezcla que contiene ésteres, glicerol, alcohol, catalizador y ácidos grasos libres.

Obtener biodiesel (ésteres) con un alto nivel de pureza es complejo ya que se puede presentar turbidez en el producto final, como resultado de la presencia de monoglicéridos, un subproducto obtenido de esta reacción es el glicerol, con alto potencial de comercialización la ser un químico empleado en la fabricación de diversos productos, por tal motivo debe separarse por diversos medios de separación por métodos físicos aprovechando que posee una densidad más alta que la de los ésteres obtenidos como decantación, gravedad o centrifugación.

### 3.- Mecanismo y cinética de reacción

La transesterificación consiste de un número de reacciones reversibles consecutivas. El triglicérido es convertido paso a paso a diglicérido, monoglicérido y finalmente glicerol.



Un mol de éster es liberada a cada paso. Las reacciones son reversibles, aunque el equilibrio se desplaza hacia la producción de ésteres de ácidos grasos y glicerol.

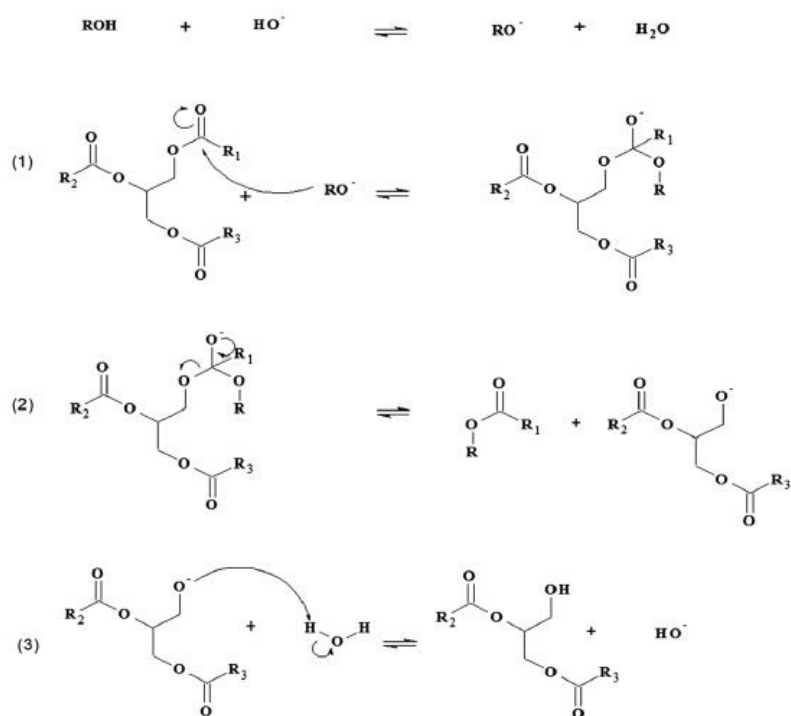


Figura 12: Mecanismo de la reacción de transesterificación básica homogénea

Fuente: [http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-82612014000200010&lng=es&nrm=is](http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612014000200010&lng=es&nrm=is)

Dónde: R-OH diglicérido

R1 grupo alquilo de cadena larga

R2 grupo alquilo corto

El mecanismo de reacción para la transesterificación con catalizador alcalino fue formulado en tres pasos. El primer paso es un ataque sobre el átomo de carbono carbonilo de la molécula de triglicérido sobre el anión del alcohol (ion metóxido) para formar un intermedio tetraédrico (ROMERO, 2003).

En el segundo paso, el intermedio tetraédrico reacciona con un alcohol (metanol) para regenerar el anión del alcohol (ion metóxido). En el último paso, un reacomodamiento del intermedio tetraédrico resulta en la formación de un éster de ácido graso y un diglicérido (ROMERO, 2003).

Cuando NaOH, KOH,  $K_2CO_3$  u otro catalizador similar son mezclados con alcohol, el catalizador actual, el grupo alcóxido se forma. Una pequeña cantidad de agua, generada en la reacción, puede causar formación de jabón durante la transesterificación (ROMERO, 2003).

#### **4.- Factores que influyen en la reacción de transesterificación.**

La transesterificación con aceites de origen vegetal, depende en gran medida de las condiciones del proceso, como son la temperatura, el tiempo de reacción, la concentración de catalizador, el tipo de alcohol así como la presencia de ácidos libres y el contenido de humedad (GÓMEZ, 2010).

Temperatura de reacción

El proceso químico de alcoholisis transcurre en un rango de temperaturas este varía dependiendo del aceite y alcohol a utilizarse. Técnicamente una aumento de

la temperatura incrementa el rendimiento de manera haciendo que el tiempo de reacción se reduce, pero sin llegar a la temperatura de ebullición para evitar la evaporación del alcohol limitando las interfaces presentes en la reacción (Liu X., 2008).

#### Relación molar alcohol: aceite vegetal

“En la alcoholisis química se utilizan relaciones molares mayores a la estequiométrica ( $> 3:1$ ), alimentando un exceso de alcohol. Sin embargo, esto puede generar problemas de separación de las fases, disminuye el rendimiento y aumenta los costos de producción. La relación molar óptima en catálisis básica es 6:1 (rendimientos  $> 93\%$ ) en la metanólisis de aceite de soya, girasol y algodón. En la alcoholisis en dos etapas del aceite de tabaco se utilizó una relación molar de 18:1 en la 1ra. etapa, y 6:1 en la 2da.[27], y para aceite de jatropha se empleó una relación volumétrica de 0.28:1 en la 1ra. etapa, y de 0.16:1 en la 2da.. Esto indica que la catálisis ácida requiere mayor relación molar que la catálisis básica.” (GÓMEZ, 2010)

#### Tipo de alcohol

“Comercialmente el metanol es el alcohol más utilizado, aunque se pueden utilizar otros como: etanol, propanol, isopropanol, butanol, isobutanol, pentanol e isopentanol. La selección del alcohol depende de los costos, del desempeño en la etapa de separación, y que provenga de fuentes renovables. Se ha encontrado que durante la reacción se forma una emulsión que desaparece formando dos fases líquidas cuando se utiliza metanol, pero dicha emulsión permanece al emplear etanol, evitando la separación y purificación de las fases. Esto se puede evitar evaporando el alcohol al terminar la reacción. Se ha reportado que la etanólisis mejora cuando se utiliza NaOH, debido a que se incrementa la solubilidad del alcohol en el aceite.

El contenido de ácidos grasos libres y la humedad son parámetros fundamentales para determinar la viabilidad del proceso de transesterificación de aceites vegetales. Para llevar la reacción catalizada a la terminación se necesita un valor de ácidos grasos inferior al 3%.” (GÓMEZ, 2010)

#### Tipo de catalizador

“El tipo de catalizador depende de la naturaleza del aceite utilizado (contenido de AGL y humedad) y de su precio. Si el aceite tiene un alto contenido de AGL y humedad se recomienda emplear catalizadores ácidos, ya que la catálisis básica favorece las reacciones de saponificación . Sin embargo, los catalizadores básicos son los más utilizados en la industria por que se requieren temperaturas y relación molar alcohol:aceite bajas, tiempos cortos de reacción, y corroen menos los equipos y tuberías. Los catalizadores básicos más eficientes son los alcóxidos de sodio, pero por su elevado costo son industrialmente menos utilizados. El metóxido de sodio ha sido reportado como más eficaz que el hidróxido de sodio, porque una pequeña cantidad del agua es producida sobre la mezcla NaOH y MeOH. Sin embargo, el hidróxido de sodio e hidróxido de potasio son también capaces de catalizar la transesterificación y debido a que son muy baratos, extensamente son usados en la industria de producción de biodiesel.” (GÓMEZ, 2010)

#### Concentración de catalizador

“Este parámetro afecta el rendimiento hasta ciertos valores, ya que promueve la formación de sales, la emulsificación de la mezcla, y genera costos adicionales por su consumo. Se ha encontrado que los mayores rendimientos en la metanólisis de aceite de soya con KOH se obtienen a una concentración de 1% peso (relación molar de 6:1, 20 °C, 0.5 hora); mientras que con Ca (OCH<sub>3</sub>) al 4% peso se alcanza un rendimiento del 98%, en 3 horas”. (GÓMEZ, 2010)

### Tiempo de reacción

“Se ha encontrado que el rendimiento aumenta con el tiempo de reacción[34]. Se ha reportado que la conversión aumenta de 87.81% a 88.90%, con tiempos de reacción de 50 y 90 minutos, respectivamente, cuando se transesterifica aceite de ricino (catalizador al 0.5% peso, relación molar 3:1, a 63 °C)[32]. También se ha encontrado que se requiere menor tiempo de reacción cuando se emplea metanol en lugar de etanol, con similares condiciones de operación, ya sea en catálisis ácida o alcalina, para alcanzar el mismo rendimiento” (GÓMEZ, 2010)

### Contenido de AGL y humedad

“Estos parámetros son fundamentales para determinar la viabilidad de la alcoholisis del aceite vegetal, dado a que altas concentraciones de uno de ellos o de los dos favorecen el proceso de saponificación. Se reporta que empleando aceites vegetales crudos se obtiene una conversión entre el 65% y el 84%, mientras que con aceites refinados, bajo las mismas condiciones, el rendimiento está entre 94% y 97%. Se ha encontrado que con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1,43% peso) se reduce el contenido de AGL del 14% al 1% en peso de aceite de jatrofa. En otro trabajo se redujo la concentración de AGL en aceite de tabaco de 35% a menos del 2% empleando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1% y 2% peso. Por lo tanto, para obtener rendimientos altos el alcohol y catalizador deben ser anhidros (alcohol al 99%; NaOH o KOH al 99% de pureza), y el aceite se debe purificar o refinar para reducir el contenido de agua y AGL por debajo del 1% y 3%, respectivamente” (GÓMEZ, 2010)

CAPÍTULO

5

FASE I

(EXPERIMENTACIÓN)

## CAPÍTULO 5: FASE I (EXPERIMENTACIÓN)

Para el comienzo de la experimentación y como se menciona en capítulos anteriores, fue la selección del aceite base que será el principal insumo de producción.

Para la recolección de muestras se realizó una campaña de recolección de aceites de cocina usados, en la facultad de ingeniería química, con ayuda de las organizaciones estudiantiles que operan al interior de ella, teniendo como principal resultado la recolección de un total de 2 galones de 10 litros cada uno, esto se realizó con la finalidad de poder trabajar con aceites con diferentes grados de degradación.

### **1.- Pre tratamiento**

El pre tratamiento contempla las fases de homogenización, purificación y caracterización de aceites.

La fase de homogenización se desarrolló al unir todas las muestras en 5 diferentes lotes, la cual consistió en realizar una mezcla compuesta con las sub muestras.

Una vez que se consiguieron las 5 muestras compuestas, estas fueron sometidas a un proceso de purificación dividió en dos partes.



**Figura 13: Calentamiento de aceite previo a la purificación**  
Fuente: Valentín Gálvez

Parte 2: una vez filtradas las muestras se volvieron a someter a un proceso de calentamiento esta vez a una temperatura superior a los  $100^{\circ}\text{C}$ , con lo que se consiguió la evaporación del agua presente en el aceite.



**Figura 14: Preparación de insumos previo a proceso de transesterificación y metoxido**  
Fuente: Valentín Gálvez

## 2.- Caracterización

Una vez realizado la purificación se procedió a la caracterización de las muestras para determinar la cantidad de catalizador que se requerirá para el proceso de transesterificación.

Este paso es muy importante para saber qué cantidad de catalizador es necesaria para la reacción.

El equipo que se utilizó para esta prueba fue:

- Equipo para titulación: bureta, soporte, vaso pequeño, matraz.
- Pipetas de 1 ml y 10 ml.
- Solución al 0.1% de NaOH en agua destilada (1 gr de NaOH diluido en 1 l de agua destilada).
- Fenolftaleína.
- Etanol.
- Muestra de aceite.

Procedimiento:

- Se tomó 1 ml de muestra de aceite con la pipeta y se colocó en el matraz.
- Se diluyo 10 ml de etanol. Mezclar bien. Si no se diluye totalmente, calentar ligeramente.
- Se aplicaron 5 gotas de fenolftaleína y se volvió a mezclar
- Se llenó la bureta con solución de NaOH 0.1%.
- Dejo caer la solución de la bureta a la mezcla de aceite y alcohol gota a gota hasta que el color se torne rosado (este procedimiento se denomina titulación).
- Anotar el gasto de NaOH.
- La prueba se realizó por triplicado.

Significado de la prueba:

- La cantidad X de NaOH gastado en la titulación indica la acidez del aceite, causada por la presencia de ácidos grasos libres, liberados cuando se fríe en exceso. Esta es también la cantidad de catalizador necesaria para neutralizar la acidez del aceite, la cual se expresa de esta manera: “X gramos de NaOH/ litro de aceite”.
- Si X es menor a 2 gr NaOH/litro, entonces se puede hacer la transesterificación directamente.
- Si X es mayor a 2 gr NaOH/litro, puede haber problemas de formación de jabones, lo cual interferiría en la producción de biodiésel. Se requerirá entonces neutralizar el aceite.

Neutralización del aceite

- Se pone el aceite en un recipiente grande, de preferencia de acero inoxidable, y nunca de aluminio, pues este se corroe de forma rápida con el KOH o el NaOH.
- Por cada litro de aceite a procesar, disolver X gramos de NaOH en 20 ml de agua. Este procedimiento debe hacerse con cuidado, utilizando guantes y lentes de protección, pues el KOH es irritante y podría quemar las manos.
- Cuando la solución esté completamente disuelta, esta se debe agregar lentamente y con mucho cuidado al aceite, removiendo con constancia.
- Se verá que se empiezan a formar pequeños grumos, que son jabones producidos al reaccionar el NaOH con los ácidos grasos libres.
- Después de que todo esté bien mezclado, filtrar nuevamente el aceite a fin de separar el jabón que se formó.
- Por último, volver a titular el aceite para determinar si disminuyó la acidez. Si esta es menor a 2 gr NaOH/litro, se procederá a la transesterificación.

Posteriormente las muestras se sometieron al proceso de transesterificación para evaluar la temperatura de reacción así como el tiempo de reacción, teniendo en como resultado una media de tiempo de 30 minutos por lote y una temperatura óptima para el máximo rendimiento de que oscile entre 55°C y 65°C.



Figura 15: Muestras sometidas al proceso de transesterificación  
Fuente: Valentín Gálvez

### 3.- Resultados etapa de experimentación.

Tabla 3: Resultados de experimentos  
Fuente: Propia

| Muestra | Sub Muestra | Temperatura (°C) | catalizador (g/lt) | Tiempo de reacción (min) | Rendimiento (%) |
|---------|-------------|------------------|--------------------|--------------------------|-----------------|
| 1       | 1-1         | 55               | 3.5                | 30                       | 80%             |
| 1       | 1-2         | 50               | 3.2                | 30                       | 82%             |
| 1       | 1-3         | 60               | 4                  | 30                       | 79%             |
| 2       | 2-1         | 55               | 5.5                | 30                       | 85%             |
| 2       | 2-2         | 50               | 3.5                | 30                       | 75%             |
| 2       | 2-3         | 60               | 4                  | 30                       | 82%             |
| 3       | 3-1         | 55               | 3.6                | 30                       | 83%             |

|          |     |    |     |    |     |
|----------|-----|----|-----|----|-----|
| <b>3</b> | 3-2 | 50 | 4   | 30 | 82% |
| <b>3</b> | 3-3 | 60 | 5   | 30 | 80% |
| <b>4</b> | 4-1 | 55 | 3.6 | 30 | 84% |
| <b>4</b> | 4-2 | 50 | 5   | 30 | 75% |
| <b>4</b> | 4-3 | 60 | 4   | 30 | 78% |
| <b>5</b> | 5-1 | 55 | 3.5 | 30 | 83% |
| <b>5</b> | 5-2 | 50 | 5.2 | 30 | 85% |
| <b>5</b> | 5-3 | 60 | 4.5 | 30 | 70% |

CAPÍTULO

6

FASE II

(DISEÑO Y

CONSTRUCCIÓN)

## CAPÍTULO 6: (FASE II) DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

### **1.- Requerimientos generales.**

#### **1.1.- Volumen de producción.**

Se planteó que el volumen mínimo de producción sea de 200 litros por hora, para aumentar su factibilidad técnica, dejando atrás el proceso por lotes que representaba una limitante considerable al momento de su aplicación en condiciones reales de funcionamiento.

#### **1.2.- Tipo de proceso.**

El proceso bajo el cual operara el dispositivo debe ser continuo, a modo de aumentar su viabilidad técnica, pensando que se pueda comercializar en un futuro y esto le confiera ventajas competitivas frente a otros dispositivos.

#### **1.3.- Requerimiento energético.**

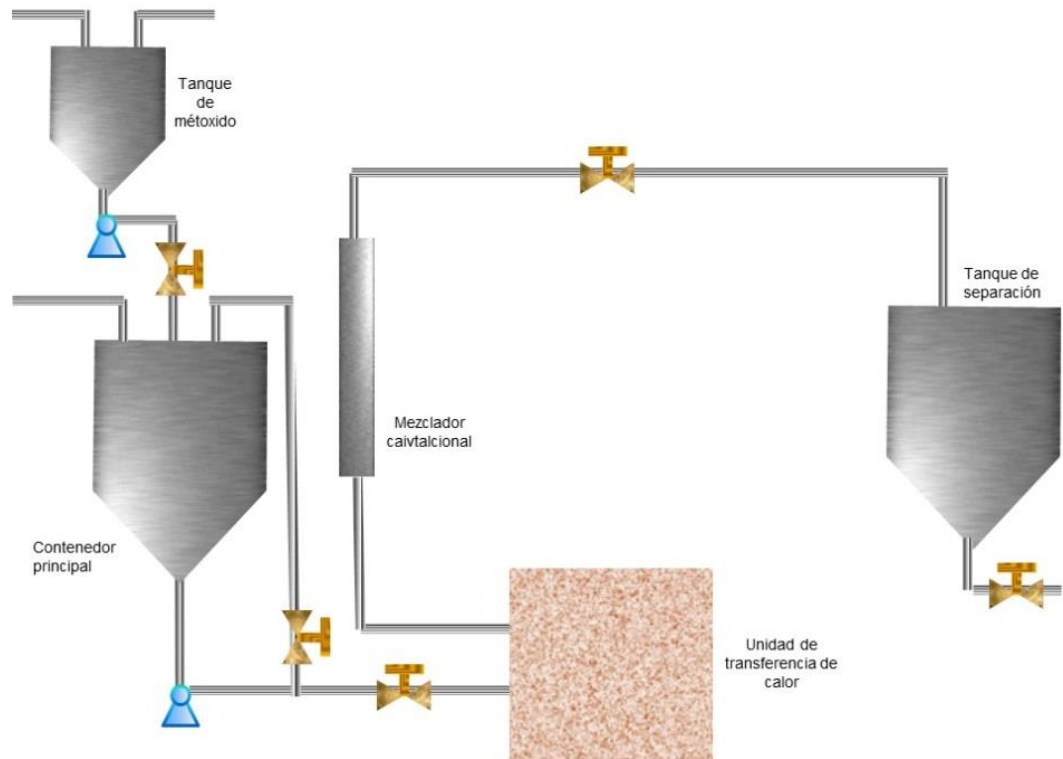
El dispositivo deberá de funcionar con un óptimo uso de la energía, tanto eléctrica como calorífica, es decir que su consumo sea mínimo para poder tener un balance de energía positivo.

#### **1.4.- Movilidad.**

El dispositivo debe tener dimensiones que le permitan un fácil transporte, para poder ser llevado a lugares donde el acceso a los combustibles sea limitado o áreas de desastre natural, por lo cual debe tener facilidad de movimiento.

## 2.- Diagrama de flujo.

El diagrama bajo el cual operara el dispositivo junto al diagrama de flujo se presenta continuación.



**Figura 16: Diagrama del Procesos**  
**Fuente: Valentín Gálvez**

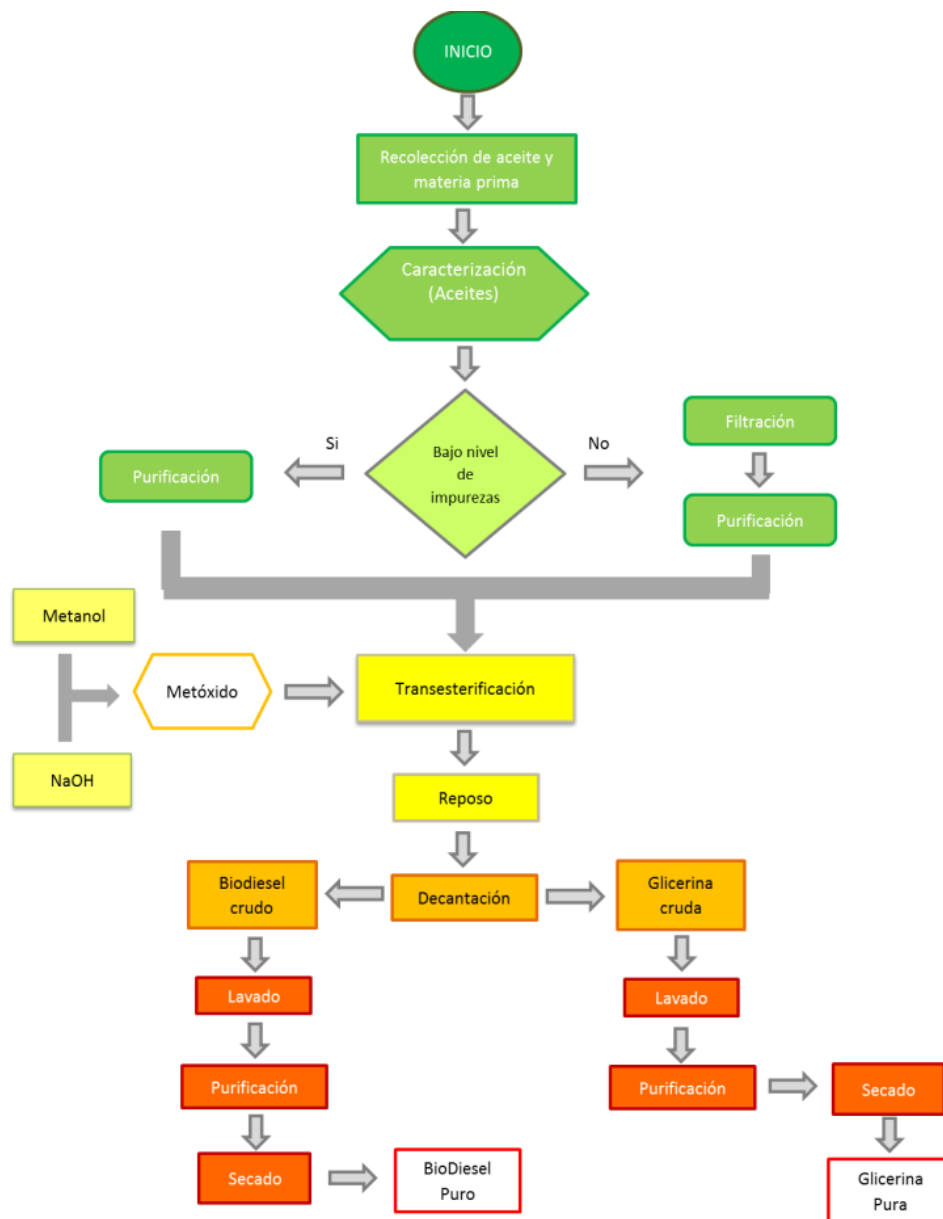
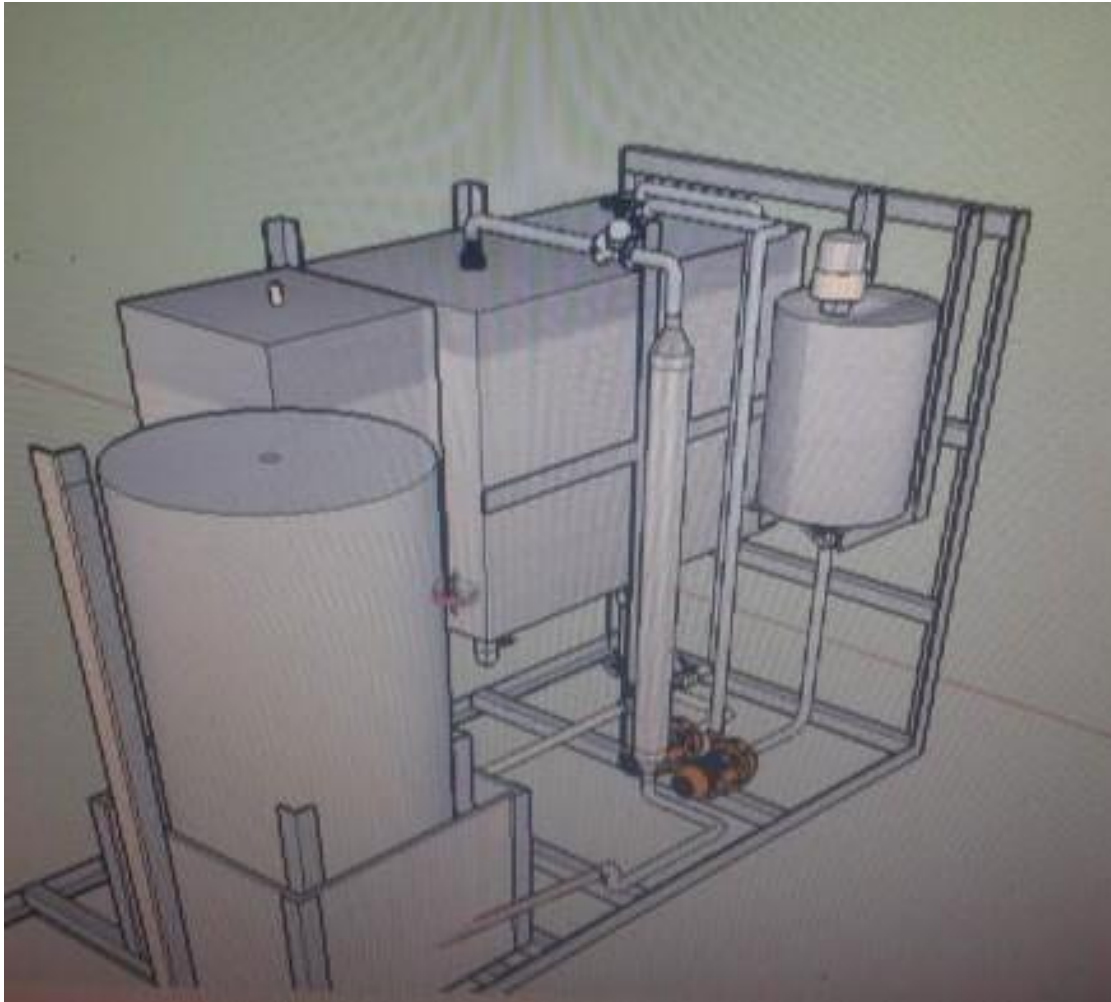


Figura 17: Diagrama de flujo del proceso  
Fuente: Valentín Gálvez



**Figura 18: Modelo del equipo**  
**Fuente: Valentín Gálvez**

### 3.- Descripción de los equipos.

Los equipos que conformaran el dispositivo son:

- Tanque de premezclado: en donde se homogenizara el aceite a ser procesado.
- Tanque de metoxido: en donde se realizara la mezcla entre el catalizador (NaOH) y el alcohol metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )
- Mezclador estático: donde se llevara a cabo la mezcla de aceite-alcohol
- Tanque de reposo: donde se llevara a cabo la separación de las dos fases finales (biodiesel y Glicerol)

#### 3.1.- Tanque de pre mezclado.

El tanque de pre mezclado tendrá la tarea de homogenizar el aceite, para posteriormente recibir la mezcla de alcohol y aceite, para su previo mezclado antes de ingresar a la cámara térmica, su capacidad es de 260 litros, cuyas medidas son de 1 metro de alto, por .8 metros de ancho y .8 metros de largo, con capacidad de 250 litros.



Figura 19: Tanque de Pre-Mezclado  
Fuente: Valentín Gálvez

### 3.2.- Tanque de metoxido.

EL tanque de metoxido se elaboró en acero inoxidable de calibre 80, de forma cilíndrica, con altura de .80 metros y un diámetro de .30 metros, lo que le confiere una capacidad de 50 litros de la mezcla dotada de un agitador y un motor para su uso como promotor mecánico de mezclado.



Figura 20: Tanque para mezcla alcohol – catalizador  
Fuente: Valentín Gálvez

### 3.3.- Mezclador estático

El mezclador estático es fundamental en el dispositivo, el emplear este tipo de mezclador en sustitución al agitador convencional es debido a que mediante el diseño interno del mismo permite tener un aumento en la excitación de las partículas y un área de contacto superior con el fin de acelerar el proceso de reacción.

### 3.4.- Tanque de reposo.

Este tanque tiene la función de recibir la mezcla proveniente del mezclador estático en donde se llevara a cabo la separación de las dos fases finales su capacidad es de 260 litros, cuyas medidas son de 1metro de alto, por .8 metros de ancho y .8 metros de largo, con capacidad de 250 litros.



**Figura 21: Tanque de reposo, para la separación de las fases**  
**Fuente: Valentín Gálvez**

### 3.5.- Equipos eléctricos.

Para el transporte de los diferentes fluidos que maneja el equipo se emplearán dos bombas hidráulicas de  $\frac{1}{4}$  de caballo de fuerza.



**Figura 22: Bombas eléctricas.**  
**Fuente: Valentín Gálvez**

#### **4.- Chasis principal.**

Para el chasis principal que será el encargado de soportar el peso de los equipos además de la materia prima se construyó la estructura principal empleando ángulo de 5 pulgadas



Figura 23: Estructura de soporte  
Fuente: Valentín Gálvez

## 5.2.- Conexiones.

Para las conexiones se emplearon electroválvulas de  $\frac{1}{2}$ " normalmente cerradas con un voltaje de activación de 110 volts y el sistema de flujo por donde pasara el fluido se empleo tubo de PVC cedula 80, esto debido a que es un material que muestra ventajas económicas frente a otras de mayor costo y técnicas.



Figura 24: Electro Válvulas utilizadas  
Fuente: Valentín Gálvez



Figura 25: Conexiones de PVC  
Fuente: Valentín Gálvez

CAPÍTULO

7

COSTOS

---

## CAPÍTULO 7: COSTOS DE PRODUCCIÓN.

### 7.1.- Costos variables.

Los costos variables de operación del dispositivos radica en los insumos y el de mayor importancia de el del aceite residual, en consecuencia de que la adquisición de este puede ser donado lo que no representa gasto en este insumo o su compra directa con los generadores en donde los precios pueden oscilar en un rango de \$3.00.00 a \$5,00.00 pesos mexicanos.

El costo de los demás insumos también puede generar una variable en los costos totales, dependiendo del grado de reactivos a utilizar, donde insumos de grado analítico pueden encarecer el producto hasta 5 veces en comparación al emplear los de grado industrial.

### 7.2 Costos de construcción.

Para efectos de esta tesis, solo se reportaran los gastos solventados por parte de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, mediante el estímulo financiero otorgado por parte del 2do. Concurso de Prototipos de Innovación Tecnológica 2015, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 4: Desglose de costos de producción**  
**Fuente: Valentín Gálvez**

| Proveedor              | Fecha      | Numero de Factura | Articulo         | Especificaciones | Costo unitario | Piezas | Total    |
|------------------------|------------|-------------------|------------------|------------------|----------------|--------|----------|
| Ferretería el Charrito | 10/08/2015 | 7528              | Angulo           | 1 1/2*1/8        | \$125.86       | 3      | \$377.58 |
| Ferretería el Charrito | 10/08/2015 | 7528              | Disco de corte   | 4 1/2            | \$22.91        | 1      | \$22.91  |
| Ferretería el Charrito | 10/08/2015 | 7528              | disco laminado   | 4 1/2            | \$30.57        | 1      | \$30.57  |
| Ferretería el Charrito | 10/08/2015 | 7528              | Soldadura        | 1./8             | \$30.17        | 2      | \$60.34  |
| Ferretería el Charrito | 10/08/2015 | 7528              | Iva de la compra | 16%              | \$78.62        | 1      | \$78.62  |
| Ferre Center           | 11/08/2015 | FBI7322           | Escuadra         | 16*24            | \$127.99       | 1      | \$127.99 |
| Pysesa                 | 11/08/2015 | MCON03714 9       | tubo             | pvc-c80 1"       | \$24.43        | 6      | \$146.58 |
| Pysesa                 | 11/08/2015 | MCON03715 0       | codo             | pcv-c80 1"       | \$15.36        | 20     | \$307.20 |
| Pysesa                 | 11/08/2015 | MCON03715 1       | reducción        | pvc-c80 3"-1"    | \$103.71       | 2      | \$207.42 |

|                               |            |             |                            |                  |            |              |                    |
|-------------------------------|------------|-------------|----------------------------|------------------|------------|--------------|--------------------|
| Pysesa                        | 11/08/2015 | MCON03715 2 | Tee                        | pvc-c80 1"       | \$27.37    | 1            | \$27.37            |
| Pysesa                        | 11/08/2015 | MCON03715 3 | cemento                    | 500 ml           | \$84.72    | 1            | \$84.72            |
| Pysesa                        | 11/08/2015 | MCON03715 4 | limpiador                  | 500 ml.          | \$45.06    | 1            | \$45.06            |
| Pysesa                        | 11/08/2015 | MCON03715 5 | adaptador                  | pvc-c80 3"       | \$169.01   | 2            | \$338.02           |
| Pysesa                        | 11/08/2015 | MCON03715 6 | Niple inox                 | 3" * 40"         | \$587.45   | 1            | \$587.45           |
| Pysesa                        | 11/08/2015 | MCON03715 7 | Iva de la compra           | 16%              | \$279.01   | 1            | \$279.01           |
| Tronillos y herraje<br>angeló | 11/08/2015 | 230         | rueda                      | Rueda con freno  | \$134.00   | 4            | \$536.00           |
| Ferreheramienta de<br>puebla  | 12/08/2015 | A891        | bomba                      | 1/2 hp 120 volts | \$410.00   | 2            | \$820.00           |
| Ferreheramienta de<br>puebla  | 12/08/2015 | A891        | escuadra para<br>soldar    | "-"              | \$99.00    | 2            | \$198.00           |
| Ferretería el Charrito        | 12/08/2015 | 7634        | Angulo                     | 2"* 1/4          | \$364.99   | 2            | \$729.98           |
| Ferretería el Charrito        | 12/08/2015 | 7634        | Disco de corte             | 4 1/2            | \$22.91    | 2            | \$45.82            |
| Ferretería el Charrito        | 12/08/2015 | 7634        | Iva de la compra           | 16%              | \$124.13   | 1            | \$124.13           |
| Chester                       | 18/08/2015 |             | Disco de corte             | 4.5"             | \$175.00   | 1            | \$175.00           |
| El talismán                   | 19/08/2015 | 76071       | Bascula                    | 5 kg.            | \$200.00   | 1            | \$200.00           |
| Electro Válvulas              | 20/08/2015 | A337        | electroválvula             | 1/2"             | \$1,276.00 | 5            | \$6,380.00         |
| El charrito                   | 21/08/2015 | 79978       | Tanques                    | 4 tanques        | \$2,480.00 | 1            | \$2,480.00         |
| Pysesa                        | 22/08/2015 | M052391     | niple                      | 1/2" pvc-c80     | \$10.02    | 10           | \$100.24           |
| Pysesa                        | 22/08/2015 | M052385     | Adap. Macho PVC            | 1" pvc-c80       | \$34.53    | 4            | \$138.13           |
| Pysesa                        | 22/08/2015 | M052385     | Reducción                  | 1"-1/2" pvc-c80  | \$14.48    | 10           | \$144.77           |
| Pysesa                        | 22/08/2015 | M052385     | cople pvc                  | 1" pvc-c80       | \$21.73    | 10           | \$217.27           |
| Comex                         | 28/08/2015 | FFACAJ 880  | Pintura                    | Negra            | \$61.00    | 1            | \$61.00            |
| Comex                         | 28/08/2015 | FFACAJ 881  | Pintura                    | Verde            | \$61.00    | 1            | \$61.00            |
| Comex                         | 28/08/2015 | FFACAJ 882  | Brocha                     | 2"               | \$43.99    | 1            | \$43.99            |
| Comex                         | 28/08/2015 | FFACAJ 883  | Lija                       | 120              | \$9.00     | 1            | \$9.00             |
| Comex                         | 28/08/2015 | FFACAJ 884  | Lija                       | 220              | \$8.00     | 1            | \$8.00             |
| Comex                         | 28/08/2015 | FFACAJ 885  | Thiner                     | Estándar         | \$29.00    | 1            | \$29.00            |
| El charrito                   | 26/08/2015 | 8144        | Disco laminado             | 4.5"             | \$38.00    | 1            | \$38.00            |
| El charrito                   | 26/08/2015 | 9144        | Tapas                      | 4 tapas          | \$680.00   | 1            | \$680.00           |
| Concta tores                  | 05/08/2015 | 9853        | Contacto res               | Monofásicos      | \$400.00   | 5            | \$2,000.00         |
| Botones                       | 05/08/2015 | 9853        | Botones                    | 110 Volts        | \$100.00   | 10           | \$1,000.00         |
| Gabinete                      | 05/08/2015 | 9853        | Gabinete de control        | 60*60            | \$1,000.00 | 1            | \$1,000.00         |
|                               | 05/08/2015 | 9853        | Cable trifásico industrial | 15 mt            | \$65.00    | 1            | \$65.00            |
|                               |            |             |                            |                  |            | <b>Total</b> | <b>\$20,005.17</b> |

Imagen 1



CAPÍTULO

9

RESULTADOS

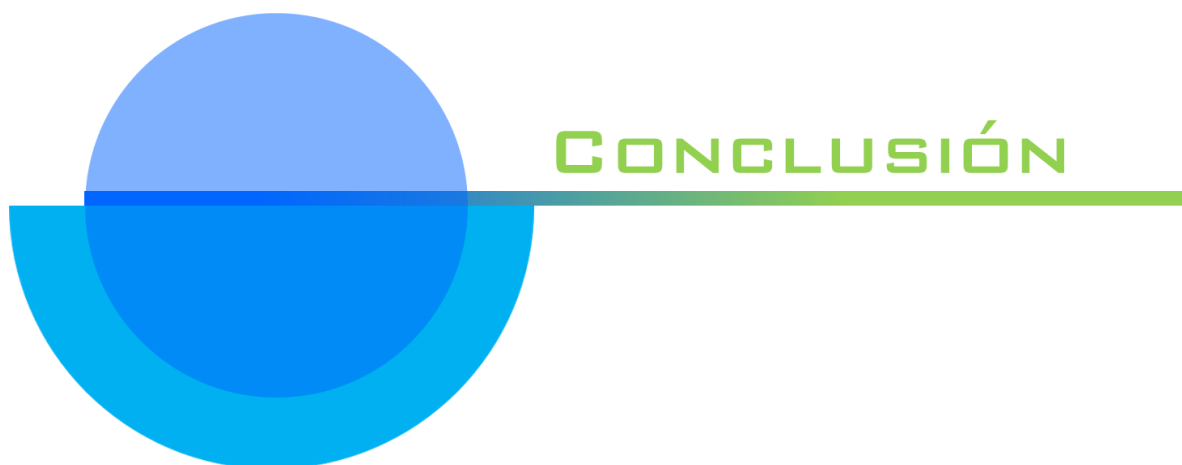
CAPÍTULO 9: RESULTADOS Y DISCUSIÓN,

Se logró la construcción de un dispositivo para la producción de biodiesel con las siguientes características:

Medidas: 2 metros de largo, 1.80 metros de ancho, 1.60 metros de altura, con la con una capacidad de producción de 200 litros de biodiesel por hora, con consumo energético tanto eléctrico como térmico bajo en comparación con otros procesos, de ser capaz de operar en una jornada laboral de 8 horas podrá generar el combustible necesario para el funcionamiento de 40 unidades de transporte público con una demanda de 100 litros de combustible por día.

Los demás insumos utilizados como son el catalizador y alcohol son de nivel industrial lo que reduce los costos de producción, mientras que los aceites son de origen residual pueden variar los costos finales de producción dependiendo la naturaleza financiera de su obtención.

Por escasez de recurso financiero, se impidió la automatización del mismo por lo que actualmente cuenta con un control semiautomático, lo que puede abrir una nueva futura línea de desarrollo en cuanto automatización se refiere.



## Conclusión

---

La gran demanda de combustibles originada por la necesidad de satisfacer la gran demanda de productos y servicios que requiere una sociedad como la mexicana, cuya población se encuentra en un gran crecimiento tanto de índole industrial como demográfico,

El biodiesel ofrece una nueva alternativa más responsable y factible a largo plazo, esto dependerá no solo del desarrollo tecnológico para su producción sino también de la implementación de políticas que promuevan el desarrollo y uso de estos.

Los gobiernos en especial el mexicano deben comenzar a buscar fuentes de energía ante el inminente agotamiento de las reservas mundiales de petróleo.

Comercialmente hablando estamos ante una convergencia verde es decir cada día nacen más consumidores críticos que prefieren la adquisición de producto y servicios que sean amables con el medio ambiente lo que garantiza un futuro prometedor no solo para el biodiesel si no para todas aquellas energías alternas que siguen en desarrollo.

Sociablemente hablando los beneficios de utilizar este tipo de combustibles supone una mitigación a los problemas ambientales y que tienen impacto directo en salud pública negativo, principalmente los asociados a una mala calidad del aire que se respira, que es un problema que no solo impacta en los sectores más vulnerables, debido a que el mismo aire contaminado lo respira un indigente, una ama de casa, un investigador, un estudiante, un empresario, un presidente.

También se debe ser cuidadoso en elegir los aceites que se emplearan para su producción, intentando evitar los cultivos energéticos que de uno u otro modo puede afectar la estabilidad alimentaria de la sociedad o la integridad de las áreas verdes (selvas, bosques, ect.).

## Bibliografía

---

- Benavides Ballesteros , H. O., & León Aristizabal , G. E. (2007). *INFORMACIÓN TECNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Bogota: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2005). Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático. *Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático*. Kioto: ONU.
- Lüthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J.-M., Siegenthaler, U., y otros. (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature*, pp 379-382.
- Acosta, F., Castro, P., & Cortijo, E. (2008). *Reactor para producción de biodiésel a pequeña escala*. Lima: Soluciones Prácticas-ITDG.
- Agencia Internacional de Energía. (2012). *CO Emissions from Fuel Combustion*. Paris : OCDE/AI.
- Álvarez Flóres, J. A. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*. Cataluña: UPC.
- Camara de diputados del H. congreso de la union . (04 de 02 de 2015). LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO. *LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO*. Ciudad de México , Mexico : Diario oficial de la federación .
- CASTAÑO, A. M. (2010). ESTUDIO Y OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE RESIDUOS GRASOS DE. *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA* , pp 19-22.
- Castillo, D. (2009). *Vialidad de los biocombustibles y bioetanol*.
- D. Leung, X. W. (2010). "A review on biodiesel production using catalyzed transesterification". *Appl. Energy*, pp 1083–1095.
- Flores, J. A. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*. Cataluña: UPC.
- Garritz Ruiz, A., & Chamizo Guerrero, J. A. (2001). *Tu y la química*. Ciudad de Mexico: Prentice Hall.

- Gaviaria Rios, J. E., Mora Guzman, J. H., & Agudelo, J. R. (2002). Historia de los motores de combustion interna. *Facultad de ingenieria*, pp. 68-78.
- GÓMEZ, M. U. (2010). “SIMULACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESIQIE”. Distrito Federal, MExi: Instituto Politecnico Nacional.
- Gómez, M. U. (2010). *SIMULACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL*. Mexico D.F.
- Gonzalez Merino, A., & Castañeda Zavala, Y. (2008). Biocombustibles, biotecnología y alimentos. Impactos sociales para México. *Argumentos (MEX)*, pp.55-83.
- Grey C. Castellar Ortega, E. R. (2014). Transesterification vegetable oils using heterogeneous catalysts. *Prospect, Vol 12, N° 2,,* 90-104.
- Instituto Nacional de Ecologia . (2004). Los gases de efecto invernaderos y sus emisiones en México. En *Cambio climatico una vision desde México* (págs. 109-117). México D.F: .
- (2010). Pretreatment of woody biomass for biofuel production: energy efficiency, technologies, and recalcitrance, *Applied microbiology and biotechnology*. En X. P. J.Y. Zhu.
- Julio. (09 de Julio de 2012). *Revista digital sobre cultura ecologica*. Recuperado el 23 de Junio de 2016, de <http://www.concienciaeco.com/2012/04/09/que-es-el-efecto-invernadero/>
- Knothe, G. (2010). Biodiesel fuel quality and the astm standard. *National Center for Agricultura*, pp 162-171.
- Limon, C. F. (2013). Refinacion del petroleo. *Horno 3*, 67.
- Liu X., P. W. (2008). Calcium methoxide as a solid base catalyst for the transesterification of soybean oil to biodiesel with methano.
- Maciel, C. A. (2009). *Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico*. México D.F.: UNAM.

- Morrison , R. T., & Boyd, R. N. (1990). *Quimica organica* . Nueva York : PEARSON.
- Murillo, H. (1961). *Quimica Organica*. Ciudad de México : Porrúa S.A.
- Nelson, K. (Enero de 2009). *ASTM international* . Recuperado el 21 de Julio de 2016, de [http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/nelson\\_spjf09.html](http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/nelson_spjf09.html)
- Objetivos de desarrollo del milenio. (2015). *Objetivos de desarrollo del milenio*. Nueva York: Catharine Way.
- Orozco, F. D. (2015). Biodiesel: Estudios Analíticos y Desarrollo de Métodos de Análisis. En F. D. Orozco. *Nahía blanca*.
- PROFECO. (2010). Estudio de la calidad de aceites vegetales comestibles. *REVISTA DEL CONSUMIDOR* , pp 39-42.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2000). *Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono*. Kenya: ONUN.
- PROTEGIDAS, C. N. (2015). *ESTRATEGIA DE CAMBIO CLIMÁTICO DESDE LAS AREAS NATURALES PROTEGIDAS UNA CONVOCATORIA PARA LA RESILIENCIA DE MÉXICO 2015-2020*. México D.F.: SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES.
- Ralbovsky, E. (1999). *Motores diésel*. Paraninfo.
- (2003). CINÉTICA DE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA EN LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL. En F. E. ROMERO. Universidad Nacional de Colombia.
- Sandoval, M. V. (2012). Los hidrocarburos y le gas natural en Bolivia . *Presupuesto y construcción* , pp 58-61.
- Secretaria de energía. (12 de 2012). *Informe Cero*. Obtenido de [www.fondohidrocarburos.energia.gob.mx](http://www.fondohidrocarburos.energia.gob.mx)
- SEMARNAT. (2012). *Estrategia nacional de cambio climatico*. Ciudad de Mexico .
- SEMARNAT. (2013). *Inventario nacional de emisiones de efecto invernadero 1990-2010*. Ciudad de México: CO2, Creative Desing.

Solis, A. (24 de 06 de 2016). *Los 10 países que más contaminan por consumir petróleo*. Obtenido de <http://www.forbes.com.mx/los-10-paises-que-mas-contaminan-por-consumir-petroleo/>

Un population projections: implications for international development. (11 de 05 de 2015). *The Council for International Development*. Recuperado el 25 de 05 de 2016, de <http://www.cid.org.nz/news/un-population-projections-implications-for-international-development/>