

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**“UTILIZACIÓN DE BIODIESEL PRODUCIDO POR ACEITES RESIDUALES DE FRITURAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO EN UN MOTOR EN EL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍA**

**AUTOR:**

Bach. ELMER RAÚL PARIACHI CASHPA

Bach. JAVIER ALEXIS PORTILLA SOCON

**ASESOR:**

M.Sc. ROBERTO CARLOS CHUCUYA HUALLPACHOQUE

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

El presente proyecto de investigación de tesis titulado **“UTILIZACIÓN DE BIODIESEL PRODUCIDO POR ACEITES RESIDUALES DE FRITURAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO EN UN MOTOR EN EL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA”**

Elaborado por :

- ✓ Bach. Elmer Raúl Pariachi Cashpa
- ✓ Bach. Javier Alexis Portilla Socon

Para optar el título profesional de ingeniero en energía, ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de asesor.

---

M.Sc. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**  
**EVALUADOR DE TESIS**

Damos conformidad del presente informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 194-2014-UNS-CFI), titulado:

**“UTILIZACIÓN DE BIODIESEL PRODUCIDO POR ACEITES  
RESIDUALES DE FRITURAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO  
DE CARBONO EN UN MOTOR EN EL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS EN  
LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA”**

<b>AUTORES:</b>	Bach.	Elmer Raúl Pariachi Cashpa
	Bach.	Javier Alexis Portilla Socon

**Revisado y Evaluado por el siguiente Jurado Evaluador:**

\_\_\_\_\_  
Mg. Leónidas Lucas Yauri Garcia  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Mg. Robert Guevara Chinchayan  
Secretario

\_\_\_\_\_  
M.Sc. Roberto Chucuya Huallpachoque  
Integrante



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERIA**

Dirección E.A.P. de Ingeniería en Energía

Teléfono: 310445 - Anexo 1035

"Año de la Promoción de la Industria Responsable y del Compromiso Climático"

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los diecisiete días del mes de julio del año dos mil catorce, siendo las once de la mañana, se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 194-2014-UNS-CFI integrado por los siguientes docentes:

- Mg. Leonidas Yauri García - Presidente
- Mg. Robert Guevara Chinchayán - Secretario
- Mg. Roberto Chucuya Huallpachoque - Integrante
- Mg. Pedro Paredes Gonzales - Accesitario

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada:

*"UTILIZACION DE BIODIESEL PRODUCIDO POR ACEITES RESIDUALES DE FRITURAS PARA LA REDUCCION DE EMISIONES DE DIOXIDO DE CARBONO EN UN MOTOR EN EL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA"*

Elaborado por el Bachiller en Ingeniería en Energía *JAVIER ALEXIS PORTILLA SOCON*


Teniendo como asesor al docente Mg. Roberto Chucuya Huallpachoque


Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

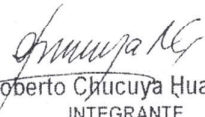
El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con los artículos 39° y 40° del Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
JAVIER ALEXIS PORTILLA SOCON	Diecisiete (17)	Bueno

Siendo las doce horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Mg. Leonidas Yauri García  
PRESIDENTE

  
Mg. Robert Guevara Chinchayán  
SECRETARIO

  
M.Sc. Roberto Chucuya Huallpachoque  
INTEGRANTE





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**Dirección E.A.P. de Ingeniería en Energía**

Teléfono: 310445 - Anexo 1035

"Año de la Promoción de la Industria Responsable y del Compromiso Climático"

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los diecisiete días del mes de julio del año dos mil catorce, siendo las once de la mañana, se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 194-2014-UNS-CFI integrado por los siguientes docentes:

- Mg. Leonidas Yauri Garcia - Presidente
- Mg. Robert Guevara Chinchayán - Secretario
- Mg. Roberto Chucuya Huallpachoque - Integrante
- Mg. Pedro Paredes Gonzales - Accesitario

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada:

*"UTILIZACION DE BODIESEL PRODUCIDO POR ACEITES RESIDUALES DE FRITURAS PARA LA REDUCCION DE EMISIONES DE DIOXIDO DE CARBONO EN UN MOTOR EN EL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA"*

Elaborado por el Bachiller en Ingeniería en Energía *ELMER PARIACHI CASHPA*


Teniendo como asesor al docente Mg. Roberto Chucuya Huallpachoque

Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con los artículos 39° y 40° del Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
ELMER PARIACHI CASHPA	Diecisiete (17)	Bueno

Siendo las doce horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Mg. Leonidas Yauri Garcia  
PRESIDENTE

  
Mg. Robert Guevara Chinchayán  
SECRETARIO

  
M.Sc. Roberto Chucuya Huallpachoque  
INTEGRANTE

## DEDICATORIA

Les dedico este trabajo a dios y a mis padres Julia Cashpa y Domingo Pariachi, que siempre estuvieron presentes en mi formación académica, apoyándome en todo momento.

A mis profesores, gracias por su tiempo y enseñanzas en mi formación profesional, en especial al Ing. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque. Por haberme guiado en el todo el desarrollo de este trabajo.

Bachiller: Elmer Raúl Pariachi Cashpa

Le agradezco a dios en primer lugar por haberme dado las fuerzas para seguir adelante en todo este trayecto, A mis padres Juana Zocón y Marcos Portilla, y hermanos que siempre han estado presentes en mi formación académica dándome su apoyo.

Agradezco a mis amigos y las personas que con su apoyo me dieron el aliento para seguir adelante, A mis profesores por los conocimientos transmitidos, en Especial al Ing. Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque por habernos guiado durante el desarrollo de esta tesis.

Bachiller: Javier Alexis Portilla Socon

## RESUMEN

En el presente trabajo se muestran los procedimientos y parámetros para la generación de biodiesel como la cantidad de alcohol y aceite usadas para la generación del biodiesel y las reacciones químicas que se generan mediante el proceso de transterificación, en la generación del biodiesel se da uso al aceite usado que generalmente es desechado, también se da a conocer los tipos de mezclas de combustible como BD20, BD30, BD50 y las emisiones correspondientes de cada mezcla generada.

Se da a conocer el porcentaje de emisiones que de CO<sub>2</sub> que se reduce en los diferentes tipos de mezcla obteniéndose una reducción de más de 7%, se halla el rendimiento del motor utilizando un software llamado EES.

Este trabajo muestra que el biodiesel es un combustible que se puede generar aprovechando aceites usados y así poder reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> que afectan al cambio climático y cómo afecta a las propiedades del motor.

## **ABSTRACT**

In this paper the procedures and parameters for the generation of biodiesel as the amount of alcohol and oil used for biodiesel generation and chemical reactions generated by transterificacion process in the generation of biodiesel use is given to used oil that is usually discarded, also discloses the types of fuel blends as BD20, BD30, BD50 and corresponding emissions of each mixture generated.

Discloses the percentage of CO<sub>2</sub> emission is reduced by different types of mixture to obtain a reduction of more than 7%, the engine output is found using a software called EES.

This work shows that biodiesel is a fuel that can be generated waste oils advantage and so to reduce CO<sub>2</sub> emissions that affect climate change and how it affects the properties of the motor.

## ÍNDICE

	<b>Pag.</b>
Hoja de conformidad del asesor.	i
Hoja de conformidad del jurado.	ii
Resumen.	iii
Abstract.	iv
Agradecimiento.	v
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.	2
1.2 Justificación e importancia.	6
1.3 Lugar e institución donde se realiza el proyecto.	6
1.4 Formulación del problema.	7
1.5 Formulación de la hipótesis.	7
1.6 Objetivos.	7
1.6.1 General.	7
1.6.2 Especifico.	7
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Biodiesel.	9
2.1.1 Definición de biocarburantes.	9
2.1.2 Que es biodiesel.	9
2.1.3 Características del biodiesel.	10
2.1.4 Procesos químicos.	12
2.1.5 Transesterificación con catalizador básico de un aceite con un metanol.	14
2.1.5.1 Reactantes.	15

2.1.5.2 Alcohol primario.	16
2.1.5.3 Catalizador.	16
2.1.6 Mecanismo químico de la transesterificación.	17
2.1.6.1 Reacción de neutralización de ácidos grasos libres (AGL).	20
2.1.6.2 Reacción de saponificación.	21
2.1.6.3 Etapas del proceso de transesterificación con catálisis básica.	22
2.1.6.4 Reacción de transesterificación.	23
2.1.6.5 Separación.	23
2.1.6.6 Remoción del metanol.	24
2.1.6.7 Lavado metil ester.	24
2.1.6.8 Neutralización de la glicerina.	24
2.1.6.9 Reacción del metanol y el agua.	24
2.1.6.10 Ácidos.	24
2.2 Variables que afectan a la reacción de transesterificación.	25
2.2.1 ácidos y humedad.	25
2.3 Impacto ambiental.	25
2.3.1 Problemática ambiental del uso de los combustibles fósiles.	25
2.3.2 Contaminación atmosférica.	26
2.3.3 Principales contaminantes del aire.	27
2.3.4 Efecto invernadero.	28
2.4 Motores diésel.	28
2.4.1 Ciclo de cuatro tiempos.	29
2.4.2 Ciclo diésel teórico.	30
2.4.3 Trabajo neto del ciclo.	35
2.4.4 Rendimiento térmico ideal del ciclo diésel.	36
2.4.5 Aplicaciones del ciclo diésel.	36
2.4.6 Diferencias entre la carburación y la inyección.	39
2.5 bonos de carbono.	41

2.5.1	Protocolo de Kioto.	41
2.5.2	Mecanismo de desarrollo limpio.	44
2.5.3	Bonos de carbono.	45
2.5.4	Mercado de carbono.	45
2.5.4.1	Instrumentos actuales del protocolo de Kioto. .....	46
2.5.4.2	Poas (programa de actividades bajo el mdl).	49
2.5.4.3	Mercado voluntario de carbono.	52
2.5.4.3.1	Desarrollo del mercado.	53
2.5.4.3.2	Estándares y precios.	54
2.5.4.3.3	Proyectos y sectores.	56
2.5.4.3.4	Oferta por regiones.	56
2.5.4.3.5	Compradores.	58
2.5.4.4	Evolución de precios de los bonos de carbono. .....	59
2.5.4.5	Definición de precios.	60
2.5.4.6	Expectativas futuras.	60

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Materiales.	63
3.2	Procedimiento.	63
3.3	Métodos.	70
3.3.1	Titulación del aceite.	70
3.3.2	Poder calorífico.	70
3.3.3	Acondicionamiento para el aceite y el alcohol.	70
3.3.4	Analizador de gases.	71
3.3.5	Opacímetro.	71
3.3.5.1	Datos técnicos del opacímetro.	71

<b>IV.</b>	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS</b>	
4.1	Cálculos.	78
4.2	Resultados del ciclo diésel.	82
4.3	Resultados del ciclo con el programa ees.	84
4.4	Variación de la potencia suministrada al motor respecto al combustible.	85
4.5	Calculo de los bonos de carbono.	90
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones.	93
5.2	Recomendaciones.	94
<b>VI.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
6.1	Bibliografía.	96
<b>VII.</b>	<b>ANEXOS</b>	
7.1	Anexos.	97



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
FIGURA N° 01. Reacción De Transesterificación.	14
FIGURA N° 02. Mecanismo Químico De Transesterificación De Un Triglicérido.	17
FIGURA N° 03. Reacciones En La Transesterificación.	19
FIGURA N° 04. Estructura De Un Ácido Graso.	20
FIGURA N° 05. Saponificación De Un Ácido Graso.	20
FIGURA N° 06. Saponificación De Un Triglicérido.	21
FIGURA N° 07. Hidrolisis De Un Triglicérido.	22
FIGURA N° 08. Diagrama Del Proceso De Obtención De Biodiesel.	22
FIGURA N° 09. Disminución De La Capa De Ozono.	26
FIGURA N° 10. Principales Contaminantes (Primario y Secundario).	27
FIGURA N° 11. Carrera Del Pistón.	30
FIGURA N° 12. Motor Diesel De Cuatro Tiempos.	31
FIGURA N° 13. Diagrama P-V Del Ciclo Diesel Teórico.	33
FIGURA N° 14. Hidrolisis DE Un Triglicérido.	37
FIGURA N° 15. Compradores De Europa.	57
FIGURA N° 16. Aceite residual	63
FIGURA N° 17. Secado del aceite residual	64
FIGURA N° 18. Etanol	64

FIGURA N° 19. Hidróxido De Sodio	65
FIGURA N° 20. Pesado Del Alcohol Isopropilico.	65
FIGURA N° 21. Viraje De La Fenolftaleína.	66
FIGURA N° 22. Metoxido De Sodio.	66
FIGURA N° 23. Calentamiento de la mezcla.	67
FIGURA N° 24. Separación de glicerina y biodiesel	68
FIGURA N° 25. Equipo de Medida de Revolución y Temperatura	74
FIGURA N° 26. Glicéridos.	75
FIGURA N° 27. Diagrama $t_3$ vs relación de combustión	85
FIGURA N° 28 Diagrama trabajo del ciclo vs Relación de combustión.	86
FIGURA N° 29 Calor entrante vs Relación de Combustión	86
FIGURA N° 30 Eficiencia Del Ciclo vs Relación de Combustión	87
FIGURA N° 31 Análisis de la Opacidad Hallados Con el Opacímetro	88
FIGURA N° 32 Gases de la Combustión Generados	89
FIGURA N° 33 Análisis de los Gases de la Combustión con db5	90

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
TABLA N° 01. Emisiones Producto De La Combustión.	27
TABLA N° 02. Gases De Efecto Invernadero.	43
TABLA N° 03. Tipos De Mercados.	54
TABLA N° 04. Compradores De Europa.	57
TABLA N° 05. Mercado Por Continente.	58
TABLA N° 06. Costos De Bonos De Carbono.	61
TABLA N° 07. Datos Técnicos.	65
TABLA N° 08. Resultados Del Ciclo Diesel.	69
TABLA N° 09. Concentración De Opacidad.	73
TABLA N° 10. Gases Producto De La Combustión.	74
TABLA N° 11. Análisis De Opacidad.	75
TABLA N° 12. Gases Producto De La Combustión.	76
TABLA N° 13. Gases Productos De La Combustión Con Bd5.	78
TABLA N° 14. Porcentaje De Reducción De Emisiones Del Biodiesel	78
Respecto Al Bd5.	
TABLA N° 15. Entalpías de combinación de átomos para    varios compuestos orgánicos gaseosos	105
TABLA N° 16. Entalpías de formación, de estado estándar	106
TABLA N° 17. Entalpías de disociación de enlace	108
TABLA N° 18. Entalpías, energías libres y entropías de estado estándar	110
De Combinación de átomos, 298.15 k	

## SIMBOLOGÍA

- ✓ AGL: Ácidos Grasos Libres.
- ✓ AND: Autoridad Nacional Designada.
- ✓ ASTM: American Society for Testing and Material Standard, asociación internacional de normativa de calidad, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales Estándar, Asociación Internacional de Normativa de Calidad.
- ✓ CDM: Clean Development Mechanism, Mecanismo de Desarrollo Limpio.
- ✓ CE: Comité Ejecutivo.
- ✓ CERs: Certified Emission Reductions, Reducciones Certificadas de Emisiones.
- ✓ CERs: Reducciones Certificadas de Emisiones de Gases Efecto Invernadero.
- ✓ CFC: clorofluocarbonos.
- ✓ Cloud Point: Punto de Nube.
- ✓ COC: Carbón Offset Credits, Bonos compensatorios de carbono.
- ✓ CPAs: Componentes del Programa de actividades.
- ✓ CRC: Carbón Reduction Credits, Bonos de Reducción de carbono.
- ✓ EEAs: European Union Allowances, Previsiones de la Unión Europea.
- ✓ EO: Entidad Operacional.
- ✓ ERUs: Emission Reduction Units, Unidades de Reducción de Emisiones.
- ✓ EU ETS: European Union Emission Trading Scheme, Esquema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea.
- ✓ EU ETS: Sistema Europeo de Comercio de Emisiones.
- ✓ GEI: Gases Del Efecto Invernadero.
- ✓ GNC: Gas Natural Comprimido.
- ✓ GS VERs: Reducciones de emisiones voluntarias de patrón oro.
- ✓ GS: Gold Standard, patrón oro.
- ✓ HC: hidrocarburos no quemados.
- ✓ HFC: HidrofluoroCarbonos.

- ✓ HI: hidrocarburos inquemados.
- ✓ Hxcx: hidrocarburo.
- ✓ IC: Mecanismo de Implementación Conjunta.
- ✓ Kj/kg °K: kilo joule por kilo gramo kelvin.
- ✓ km-1: coeficiencia de absorción luminosa.
- ✓ lb/pulg<sup>2</sup>: libra por pulgada cuadrada.
- ✓ LoA: Letter of Approval, Carta de Aprobación.
- ✓ LP: Gas Licuado De Petróleo.
- ✓ MRV: Medición Reporte y Verificación.
- ✓ MtCO<sub>2</sub>e: Millones de toneladas métricas de equivalente de dióxido de carbono.
- ✓ NAMAS: nationally appropriate mitigation actions, acciones de mitigación apropiada a nivel nacional.
- ✓  $\eta_{\text{ciclo}}$ : eficiencia del ciclo.
- ✓ nm: nanómetros.
- ✓ NO<sub>x</sub>: óxido de nitrógeno.
- ✓ NTP: Norma técnica peruana.
- ✓ °K: grados kelvin.
- ✓ OMS: Estadísticas Sanitarias Mundiales.
- ✓ OTC: over the counter , sobre el contador.
- ✓ P: presión.
- ✓ PFC: Perfluorocarbonos.
- ✓ PMI: el punto muerto inferior.
- ✓ PMS: punto muerto superior.
- ✓ PoA: Programas De Actividades.
- ✓  $Q_{\text{entra}}$ : calor suministrado.
- ✓  $Q_{\text{sale}}$ : calor que sale.
- ✓  $r_{\text{comb}}$ : relación de combustión.
- ✓  $r_{\text{comp}}$ : relación de compresión.
- ✓ REDD: Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques.
- ✓ Reserve CAR: Climate Action, Reserva de Acción Climática.
- ✓ SF<sub>6</sub>: Hexafluoruro de azufre.

- ✓ UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático “CMNUCC”.
- ✓ UV: radiación ultravioleta.
- ✓ VCS: Verified Carbon Standard, verificación estándar del carbón.
- ✓ VERs: Verified Emission Reductions, Reducciones de emisiones verificadas.
- ✓  $W_{\text{neto}}$ : trabajo neto.
- ✓ K: constante isoentropica.
- ✓ KCal/Kg: kilo caloría por kilogramo.
- ✓ KJ/Kg: kilo joule por kilogramo.
- ✓ KPa: kilo pascales.
- ✓ R: constante universal de los gases

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Antecedentes

La utilización de los aceites vegetales como combustible no es una novedad, Rudolph Diesel (inventor del motor diesel) ya utilizaba aceite de maní en sus motores en los años 1930. Sin embargo la viscosidad causante del mal comportamiento de los aceites vegetales especialmente en los motores diesel de inyección directa fue limitante en su utilización, no obstante de probar métodos físicos como la dilución o microemulsión para su adaptación como combustible. También el bajo precio que por entonces tenía el petróleo hizo que enseguida ocupase el lugar de aquel. Más de un siglo después, estos motores admiten el uso de biodiesel, que no es sino aceite vegetal modificado, con unas propiedades muy parecidas a las del diesel convencional.

Es posible su utilización directa en motores diesel tanto de inyección directa como indirecta sin modificación. De hecho, este producto se utiliza actualmente en más de 25 países de todo el mundo. El biodiesel es el biocombustible de mayor implantación en el viejo continente, con un porcentaje cercano al 80% del total de la producción, según Eurobserv'eR. De hecho, la Unión Europea es la principal región productora de este producto, que cuenta ya con 11 países de gran producción. En el año 2007 la producción mundial de biodiesel se incrementó en un 29,6%. de la cantidad total producida (47,4 millones de toneladas), 39,5 corresponden a la producción de bioetanol, en la que Estados Unidos se encuentra a la cabeza con 19,5 millones de toneladas, seguido de Brasil con 14,9 millones, la Unión Europea con 1,8 millones y China con 1,27 millones. La producción total de Biodiésel registrada en 2007 fue de 7,9 millones de toneladas, situándose como principal productor Alemania con 2 millones de toneladas, seguido de Estados Unidos con 1,2 millones, Francia con 1,15 millones e Italia con 550.000 toneladas.



Además con el uso de biocombustibles como el biodiesel se tiene valores agregados como el beneficio de la actividad agrícola y la reducción de la contaminación. Como países investigadores del biodiesel están Estados Unidos donde se formó a partir del 2005 un programa llamado '*Recycled cooking oil*' (*aceite de cocina reciclado*), que consiste en una campaña de recolección del aceite usado en las cocinas de las casas que empezó en el condado de *Pinellas Park* en la *Florida* y que rápidamente se propagó a estados como *New Hampshire* y *Hawái* donde el programa ha adoptado características especiales, el aceite recolectado se utiliza para producir biodiesel el cual es mezclado con el diesel normal para mover la mayoría de los buques de la armada y algunos vehículos oficiales.

En Europa se destaca Austria. En Austria, la cadena de comidas rápidas McDonald's desarrolla un proyecto de producción de biodiesel a partir de los aceites de fritura que generan sus 135 locales como desechos de los procesos de producción de alimentos.

En sur América los países que lideran la producción de biodiesel son Argentina y Brasil en Argentina se realizan trabajos sobre aprovechamiento de los aceites residuales como el de La Fundación Biosfera en el cual propone que vecinos y comerciantes acumulen el aceite que desechan de sus cocinas para luego pasar a buscarlo para enviarlo a la planta productora que se levanta en una escuela de la localidad bonaerense de Tres Arroyos. Como primer paso del proyecto la Fundación preguntará quienes son los comerciantes que están dispuestos a participar. Constituido el listado, distribuirá bidones para que depositen en ellos el aceite que hayan utilizado para preparar sus comidas y que ya no pueden volver a usar.

Esos bidones serán recogidos por miembros de la institución que luego depositarán el aceite en un tanque de mayor volumen. Una vez lleno, será llevado a la planta de elaboración de biodiesel que posee la escuela agrotécnica de la localidad bonaerense de Tres Arroyos. El biodiesel obtenido será utilizado como aditivo del combustible diesel en los vehículos de transporte público reduciendo así las emisiones de los vehículos y dando una

muy buena disposición a los aceites residuales que podrían ir a parar a las fuentes hídricas.

Es Brasil el país que lleva la punta en sur América en la producción de biodiesel a partir del 2008 la meta obligatoria de uso de biodiesel será de 800 millones de litros de biodiesel que deberán ser agregados al diesel que se consume en el país carioca. En Río de Janeiro, una experiencia llevada a cabo por el *Instituto Alberto Luiz de Coimbra de Posgrado e Investigación de Ingeniería (Coppe), de la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ)*, en asociación con el gobierno del Estado, probó exitosamente un ómnibus impulsado con biodiesel elaborado a base de aceite reciclado donado por una red de comida rápidas. Este tipo de aceite residual usado en Río también es objeto de estudios en otras partes del país. También se tienen subproyectos que hacen parte del macro proyecto biodiesel Brasil en los cuáles los comedores universitarios y colegiales recolectan el aceite usado el cual posteriormente es transformado en biodiesel para impulsar los vehículos de transporte público.

En Brasil en octubre del 2011 “*Utilización de Co-solventes en la producción de Biodiesel a partir de Óleo Residual y Etanol por Catálisis Enzimática*” En *el Instituto de Ingeniería de Porto*. En este trabajo se presenta la producción de biodiesel por transesterificación del aceite vegetal usado. El alcohol utilizado fue de etanol en lugar de metanol se utiliza convencionalmente en la catálisis homogénea para la actividad de la enzima es inhibida por la presencia de este último. Las mayores dificultades que se presentan en etanólisis residen en la separación de las fases (glicerol y biodiesel) después de la reacción y la velocidad de reacción inferior. Para ayudar a superar esta desventaja se estudió la influencia de los dos disolventes.

En el año 2006 en Curitiba -Brasil se realizó otra investigación llamada ***“producción de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial”***. En ***el instituto de tecnologia para o desenvolvimento lactec instituto de engenharia do paraná***. Este trabajo como propósito evaluar la viabilidad económica de una planta piloto para la producción de biodiesel en la ciudad de Guaratuba tomar aceite de freír los residuos como materia prima, siempre por grandes establecimientos comerciales (restaurantes, cafeterías y hoteles) esa ciudad.

De los resultados obtenidos, se puede concluir que es económicamente viable instalar una producción de biodiesel mini-molino de aceite de freír los residuos en la ciudad de Guaratuba más rentables, sin embargo, los beneficios ambientales son numerosos, estarían ayudando a preservar el medio ambiente y garantizar la calidad de vida en dos aspectos: en primer lugar, este aceite residual no sería descartado en el sistema de alcantarillado la reducción de la contaminación de los ríos y el suelo y en el segundo, estaría contribuyendo a la disminución de la emisión de gases contaminantes.

## **1.2 Justificación e importancia**

En los últimos tiempos los llamados biocombustibles como el bioetanol y el biodiesel han venido siendo muy usados en todo el mundo ya que estos proporcionan unos rendimientos similares a los de los combustibles fósiles y además estos aminoran el impacto ambiental producidos por ellos. El biodiesel, ha sido fuente de múltiples investigaciones que lo han llevado a ser utilizado alrededor del mundo como complemento en mezclas con combustibles fósiles con proyecciones a ser utilizado puro. Este biocombustible que es obtenido de la conversión de un aceite vegetal en metil-esteres por medio de una reacción llamada transesterificación, hecho que hace en gran número de regiones se prueben los diferentes aceites locales para evaluar su rendimiento en motores y su factibilidad económica.

El biodiesel obtenido será utilizado como aditivo del combustible diesel en los vehículos de transporte público reduciendo así las emisiones de los vehículos y dando una muy buena disposición a los aceites residuales que podrían ir a parar a las fuentes hídricas.

- Se desea aprovechar un desecho como el aceite residual de frituras, para la obtención de biodiesel.
- Promover el uso de energías alternativas, para prolongar los combustibles fósiles.
- Reducción de las emisiones de dióxido de carbono.
- Los combustibles fósiles han generado un fuerte impacto ambiental debido a los gases producto de la combustión.

A partir del panorama anterior, queda claro que la exploración de fuentes alternativas de energía, debe ser una de las prioridades mundiales, como el biodiesel.

## **1.3 Lugar e Institución Donde se realiza el Proyecto.**

El proyecto se realizó en la Escuela Académica Profesional De Ingeniería En Energía De La Universidad Nacional Del Santa Nuevo Chimbote.

#### **1.4 Formulación del Problema.**

¿En cuánto se reduciría las emisiones de dióxido de carbono al utilizar biodiesel de aceites residuales de frituras, en relación al diesel usado en un motor del laboratorio de termofluidos de la Universidad Nacional Del Santa?

#### **1.5 Formulación de la Hipótesis**

Al utilizar biodiesel producido por aceites residuales de frituras la reducción de emisiones de dióxido de carbono es de 8% en relación al diesel usado en un motor del laboratorio de termofluidos de la Universidad Nacional Del Santa”

#### **1.6 Objetivos**

##### **1.6.1 General**

- Obtención de biodiesel a partir de aceites residuales de frituras.
- Reducir las emisiones de dióxido de carbono, utilizando biodiesel.
- Realizar pruebas en el motor del laboratorio de termofluidos con diferentes concentraciones de Biodiesel (BD 100, BD 50 y BD 20).

##### **1.6.2 Específicos**

- Analizar el residuo de aceite de frituras, para la obtención de un combustible.
- Obtener biodiesel empleando una reacción de transesterificación por medio del uso de metanol o etanol.
- Analizar los gases de la combustión utilizando biodiesel como combustible en el motor diésel.

# **CAPITULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## 2.1 BIODIESEL

### 2.1.1 Definición De Biocarburantes

Son combustibles producidos a partir de la biomasa y considerados, por tanto, como una energía renovable. Los biocombustibles se pueden presentar en forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales), líquida (bioalcoholes, biodiesel) o gaseosa (biogás, hidrógeno).

#### **Tipos de Biocarburantes:**

- Etanol (destilado de vegetales y residuos).
- Metanol (destilado de la madera y pirólisis de vegetales y residuos).
- Metano (gas que resulta de la descomposición de residuos y fangos de depuradoras).
- Bioaceites (aceites extraídos de plantas como la soja, el girasol, la oliva, etc.).
- Biodiésel (producto que se obtiene de la transesterificación de aceites).

### 2.1.2 Que Es Biodiesel

La definición de biodiesel propuesta por las especificaciones ASTM (*American Society for Testing and Material Standard, asociación internacional de normativa de calidad*) lo describe como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión.

El Biodiesel es un combustible que puede ser usado en cualquier maquinaria diesel. Este combustible es producido por un proceso llamado transesterificación. Este proceso requiere metanol, soda o potasa cáusticas y algo de agitación para producir biodiesel.

El Biodiesel puede ser producido en una variedad de ambientes y procesadores. Puede ser derivado de diversos de aceites y grasas. Lo que mucha gente no sabe es que el motor diesel fue originalmente diseñado para

correr con aceite vegetal. El único problema con la maquinaria diesel existente es que no puede lidiar con la viscosidad de la mayoría de los aceites vegetales. El biodiesel resuelve este problema al crear un combustible que comparte las características de viscosidad de Petro-diesel o del diesel convencional. El biodiesel no sólo funciona en cualquier maquinaria diesel sino que también puede ser combinado con el diesel convencional, *(Las combinaciones son nombradas en términos del porcentaje de biodiesel presentes; una combinación de 20% biodiesel y 80% petro-diesel se llama B20, el biodiesel puro se llama B100)*. Capacitar a una maquinaria diesel convencional para funcionar con biodiesel es un proceso simple que estipula a lo máximo algunos cambios en las líneas y filtros de combustible.

### **2.1.3 Características del Biodiesel**

Las características del biodiesel dependen del tipo de aceite que es utilizado para la obtención de biodiesel como combustible en este caso se utilizara grasa animal (manteca).

- Combustible limpio.
- Es biodegradable.
- No tóxico.
- Alto índice de lubricidad.
- Libre de azufre y aromáticos.
- Mejora la combustión.
- Prolonga la vida de los motores.
- No es excesivamente inflamable.
- No irrita la piel.



### **Las ventajas de la utilización del Biodiésel son las siguientes:**

- ✓ Es un combustible renovable, y por lo tanto tiene un ciclo cerrado de CO<sub>2</sub>, ya que su combustión generará solamente la cantidad del que las plantas fueron capaces de metabolizar mediante la fotosíntesis durante su crecimiento. Además su proceso de producción implica unas emisiones inferiores de CO<sub>2</sub> ya que el contenido en carbono para el biodiésel procedente de las plantas se estima en el 77.8%, y en el procedente de grasas animales el 76.1% mientras que el petrodiesel tiene un 86.7%.
- ✓ Es el único combustible líquido que no presenta efectos nocivos conocidos contra el medio ambiente (*se biodegrada entre el 85 y 88%, en 28 días*).
- ✓ Tampoco afecta a la salud humana ya que no es tóxico, pues el *test LD50 (Lethal Dose)*, da una dosis permitida superior a 17.4 g/kg de peso corporal.
- ✓ Es el único combustible alternativo que puede utilizarse de manera convencional sin necesidad de modificar el motor diesel.
- ✓ Puede ser almacenado en los mismos recipientes que el diesel refinado del petróleo.
- ✓ Puede usarse sólo, o mezclado con el gasóleo en cualquier proporción.
- ✓ Las emisiones de CO respecto del gasoil, también son menores en un 50%.
- ✓ Las emisiones de compuestos sulfurados disminuyen, incluso hasta el 100% en el caso del Biodiésel, clasificado como combustible limpio, en el que el contenido de S es nulo.
- ✓ Las emisiones de *hidrocarburos inquemados (HI)* pueden llegar a reducirse en un total del 90%.
- ✓ Es un combustible oxigenado que posee al menos un 11%, de oxígeno en peso más que el gasoil, lo que implica una mejor combustión, y por tanto la opacidad del humo es menor.
- ✓ Aumenta la vida útil de los motores diesel debido a que tiene mayor capacidad de lubricación.
- ✓ Su transporte y almacenamiento es mucho menos peligroso que el gasóleo, ya que su punto de inflamación está en el orden de los 140 °C.

**Las desventajas más relevantes con relación al diésel de origen fósil son las siguientes:**

- ✓ Su producción es, en principio, más cara siempre y cuando no se superen determinados límites en el precio del barril de petróleo.
- ✓ Necesita más aditivos, sobre todo en climas fríos, debido a su relativamente elevado Punto de Nube (Cloud Point).
- ✓ Tiene una menor estabilidad en almacenamientos prolongados, ya que se enrancia por oxidación atmosférica y bacteriana, formándose productos como aldehídos, cetonas y ácidos, que tienen olores muy fuertes y desagradables.
- ✓ Debido a su menor poder calorífico, se requieren 1.1 Litro de biodiesel por cada litro de petrodiesel reemplazado.
- ✓ Diluye el aceite de lubricación mucho más que el gasóleo, pues parece haber una tendencia del Biodiésel no quemado a mezclarse con el aceite lubricante.
- ✓ Mayor Viscosidad. Debido a que el biodiesel tiene una viscosidad mayor que el diesel pueden existir problemas de pérdidas de flujo a través de los filtros inyectores. Si el spray es alterado por el flujo de combustible se puede generar una coquización del inyector o dilución del lubricante.

#### **2.1.4 Procesos Químicos**

La materia prima que entra en la producción de biodiesel puede ser aceites vegetales, grasas animales o aceites y grasas reciclados. Estos materiales contienen triglicéridos, ácidos grasos libres y otros contaminantes según el tipo de *pre-tratamiento* que recibieron antes de entrar al proceso de transformación en biodiesel. Como el biodiesel es un mono-alquilo éster de ácido graso, el alcohol primario utilizado para formar éster es el otro mayor insumo necesario para generar la reacción química.

### **Existen Tres Formas Básicas De Producir Biodiesel**

- ✓ Transesterificación con catalizador básico de un aceite con metanol o etanol.
- ✓ Esterificación con catalizador ácido de un aceite con metanol o etanol.
- ✓ Conversión del aceite en ácidos grasos, y luego en metil ésteres por catálisis ácida.

Aunque la transesterificación es la reacción más utilizada al nivel mundial, los otros procesos se proponen para tratar aceites que contienen mayor porcentaje de ácidos grasos. El uso de la catálisis ácida sirve como pretratamiento de materia base con alto contenido de ácidos grasos libres, pero la velocidad de reacción para convertir triglicéridos a metil ésteres es muy lenta. La casi totalidad de los metil ésteres que se producen en la actualidad se hacen con el primer método de transesterificación alcali-catalizada, porque este método es el más económico:

- ✓ Proceso con baja temperatura (60-70° C) y presión (1,3 bar).
- ✓ Gran rendimiento de conversión (98%) con reacciones laterales mínimas.
- ✓ Tiempo de reacción corto.
- ✓ La conversión en metil éster es directa, sin pasos intermedios.
- ✓ No se necesitan materiales de construcción exóticos.

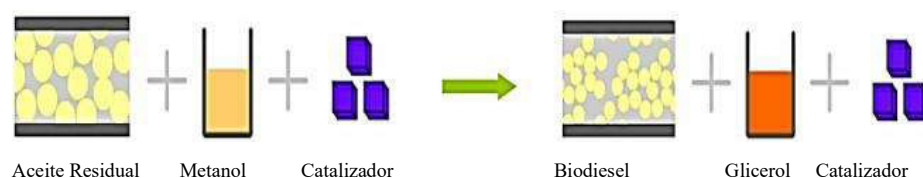
La mayoría de los procesos para fabricar biodiesel utiliza un catalizador para iniciar la reacción. Su uso es necesario porque el alcohol es escasamente soluble en la fase aceitosa. El catalizador crea un aumento de la solubilidad para permitir que la reacción se desarrolle a velocidad razonable. Los catalizadores básicos se usan esencialmente en las plantas que procesan aceites vegetales porque estos tienen generalmente un bajo contenido de ácidos grasos libres y de agua, los dos siendo perjudiciales al buen desarrollo de la reacción de transesterificación. Así, los catalizadores más utilizados son bases minerales fuertes tal como hidróxido de sodio o de potasio. Después de la reacción, estos catalizadores básicos deben neutralizarse con ácidos minerales fuertes.

### 2.1.5 Transesterificación con Catalizador Básico de un Aceite con Metanol

La transesterificación se basa en la reacción de moléculas de triglicéridos (el número de átomos de las cadenas está comprendido entre 15 y 23, siendo el más habitual de 18) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para producir ésteres y glicerina (que puede ser utilizada en cosmética, alimentación, farmacia, etc.).

El contenido máximo de ácidos grasos libres aceptable con el proceso de transesterificación es de 2%, lo mejor siendo inferior a 1%. La catálisis básica es relativamente rápida porque el tiempo de residencia suele ser de 5 minutos a 1 hora, según la temperatura, la concentración, la mezcla y el ratio entre alcohol y triglicérido. Los catalizadores que se ocupan usualmente son el hidróxido de sodio NaOH, el hidróxido de potasio KOH y el metóxido de sodio (obtenido por mezcla del metanol con NaOH).

La reacción de transesterificación básicamente convierte triglicéridos en biodiesel, según la ecuación siguiente:



**Fig. N° 01 Reacción de transesterificación.**

**Fuente: Elaboración Propia**

Las proporciones de productos utilizados en el proceso de fabricación del biodiesel mediante transesterificación son:

- Reactantes:
- Aceite (100 kg).
- Alcohol primario (10 kg, metanol).
- Catalizador: base mineral (0,3 kg de hidróxido de sodio).
- Neutralizante: ácido mineral (0,25 kg de ácido sulfúrico).

### 2.1.5.1 Reactantes

**Aceite:** La palabra aceite es un término genérico para designar numerosos líquidos grasos de orígenes diversos que no se disuelven en el agua y que tienen menor densidad que ésta. *Es sinónimo de óleo (del latín oleum).*

Los aceites, así como las grasas, son triglicéridos de glicerol (también llamado glicerina, 1, 2, 3 propanotriol o sólo propanotriol). El glicerol es capaz de enlazar tres radicales de ácidos grasos llamados carboxilatos. Dichos radicales grasos por lo general son distintos entre sí; pueden ser saturados o insaturados. La molécula se llama triacilglicérido o triacilglicerol, los radicales grasos pueden ser desde 12 carbonos de cadena hasta 22 y 24 carbonos de extensión de cadena. Existen en la naturaleza al menos 50 ácidos grasos.

Algunos radicales grasos característicos provienen de alguno de los siguientes ácidos grasos:

- ✓ Ácido linoleico C18:2
- ✓ Ácido linolénico C18:3
- ✓ Ácido oleico C18:1
- ✓ Ácido palmitoleico C16:1

Estos ácidos son los llamados ácidos grasos insaturados o ácidos grasos esenciales, llamados así porque el organismo humano no es capaz de sintetizarlos por sí mismo, y es necesario por tanto ingerirlos en los alimentos.

Los ácidos grasos saturados son los siguientes:

- ✓ Ácido esteárico C18:0
- ✓ Ácido palmítico C16:0

Para el caso de los aceites los carboxilatos contienen insaturados o enlaces dieno o trieno, que le dan la característica líquida a temperatura ambiente. Los aceites son mezclas de triglicéridos cuya composición les da características particulares.

Los aceites insaturados como los casos ya expuestos, son susceptibles de ser hidrogenados para producir mantecas hidrogenadas industriales de determinado grado de insaturación o índice de yodo, que se destinan para margarinas y mantecas de repostería.

### 2.1.5.2 Alcohol Primario

Su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) el compuesto químico etanol, conocido como alcohol etílico, es un alcohol que se presenta en condiciones normales de presión y temperatura como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de  $78,4\text{ }^\circ\text{C}$ , Se emplea como combustible industrial y doméstico. En el uso doméstico se emplea el alcohol de quemar. Este además contiene compuestos como la pirovidos exclusivamente a alcohol. Esta última aplicación se extiende también cada vez más en otros países para cumplir con el protocolo de Kyoto.

Estudios del Departamento de Energía de (*EUA*) dicen que el uso en automóviles reduce la producción de gases de invernadero en un 85%. En países como México existe la política del ejecutivo federal de apoyar los proyectos para la producción integral de etanol y reducir la importación de gasolinas que ya alcanza el 60%.

### 2.1.5.3 Catalizador

Si el aceite usado tiene un alto grado de ácidos grasos y elevada humedad los catalizadores ácidos son los más adecuados. Estos ácidos pueden ser sulfúrico, fosfórico o ácido sulfónico orgánico. En los procesos de metanólisis alcalina los principales catalizadores usados han sido el hidróxido potásico y el hidróxido de sodio. Se han probado catalizadores de metales alcalino-térreos. El proceso se lleva a cabo si aparecen iones de metóxido en la reacción intermedia. Los hidróxidos alcalino-térreos, alcóxidos y óxidos catalizan la reacción más lentamente.

## 2.1.6 Mecanismo Químico De La Transesterificación

Explica químicamente el proceso de transformación de una de las tres cadenas ácida de un triglicérido, el componente principal del aceite vegetal, en un metil éster (biodiesel). En los siguientes pasos:

- La reacción, el metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) reacciona con el catalizador básico (denominado X). R1 es el grupo alquilo que forma parte de la cadena del ácido graso del triglicérido.
- El radical cargado negativamente ( $\text{CH}_3\text{O}^-$ ) reacciona con el doble enlace del grupo carbonilo del triglicérido.
- Se forma una molécula del éster alquílico ( $\text{R1COO CH}_3$ ) — en nuestro caso específico se trata del metil éster.
- Se regenera el catalizador formándose un diglicérido.

Los pasos (a) al (d) se repiten hasta la desaparición del triglicérido con la formación del mono alquil éster y glicerina como productos finales.

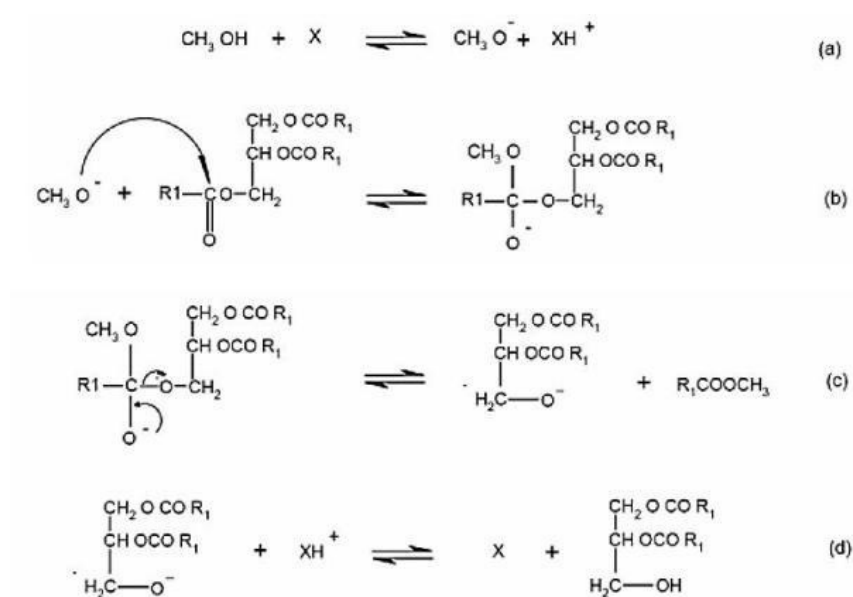


Fig. N° 02 mecanismo químico de transesterificación de un triglicérido

Fuente: E. Lotero, Y. Liu, D. López. "Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis"

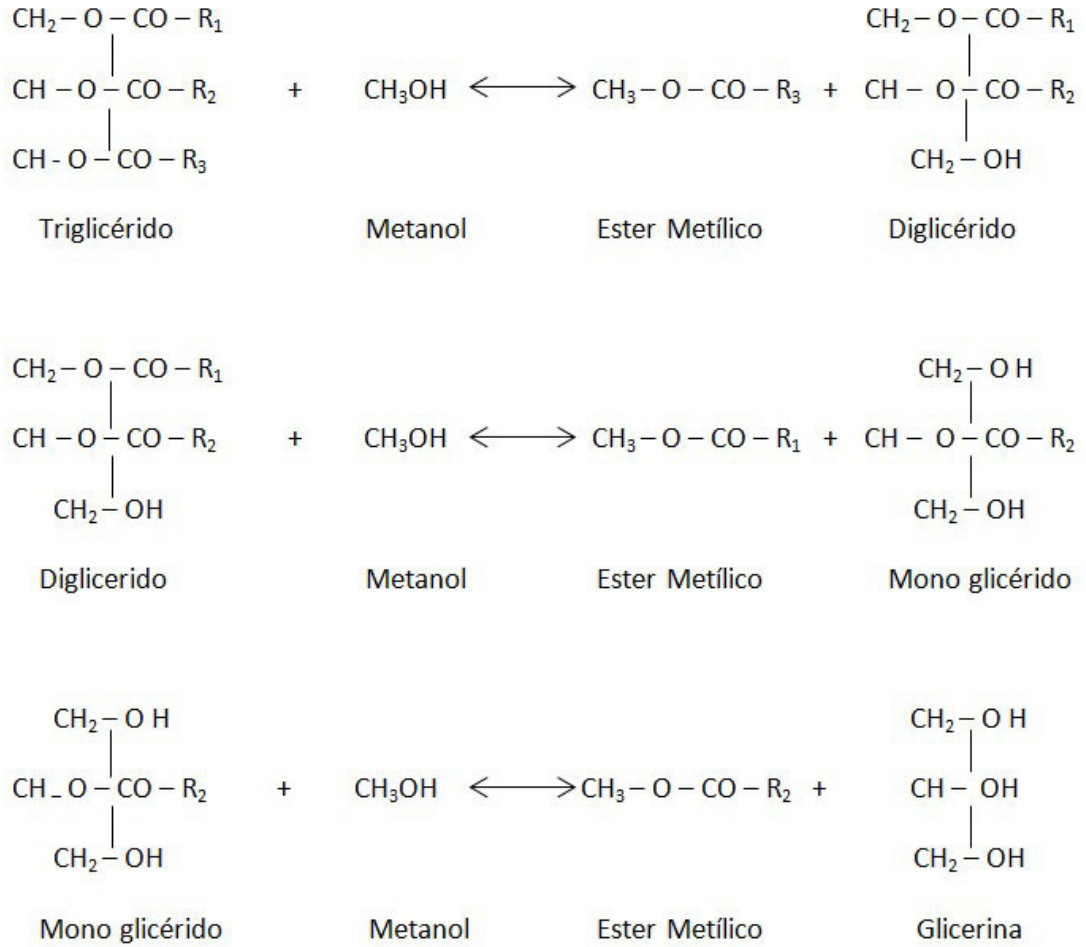
La reacción de transesterificación se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1, reaccionando en la metanólisis 1 mol de

triglicérido con 3 moles de alcohol (aunque se añade una cantidad adicional de alcohol para desplazar la reacción hacia la formación del éster metílico). Además, la formación de la base de la glicerina, inmisible con los ésteres metílicos, juega un papel importante en el desplazamiento de la reacción hacia la derecha, alcanzándose conversiones cercanas al 100%.

Para resumir, se puede añadir que en la transesterificación tienen lugar tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado.

En la reacción de transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final. Es importante destacar que sin él, no sería posible esta reacción. Los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos ( $H_2SO_4$ , HCl,  $H_3PO_4$ ,  $RSO_3$ ), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas,  $SO_4/ZrO_2$ ,  $WO_3/ZrO_2$ ), básicos heterogéneos ( $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na/NaOH/Al_2O_3$ ), básicos homogéneos (KOH, NaOH) o enzimáticos (Lipasas: *Candida*, *Penicillium*, *Pseudomonas*). De todos ellos, los catalizadores que se suelen utilizar a escala comercial son los catalizadores homogéneos básicos ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. En el caso de la reacción de transesterificación, cuando se utiliza un catalizador ácido se requieren condiciones de temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos, lo que limita su interés.





*Fig. N° 03 En la transesterificación.*

*Fuente: E. Lotero, Y. Liu, D. López. "Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis"*

Sin embargo, la utilización de álcalis, que como se ha comentado es la opción más utilizada a escala industrial, implica que los glicéridos y el alcohol deben ser anhidros (<0,06 % v/v) para evitar que se produzca la saponificación.

Además, los triglicéridos deben tener una baja proporción de **Ácidos Grasos Libres (AGL)** para evitar que se neutralicen con el catalizador y se formen también jabones. De esta manera las reacciones secundarias parasitas que se pueden dar son las siguientes:

- ✓ Reacción de saponificación.
- ✓ Reacción de neutralización de **Ácidos Grasos Libres (AGL)**.

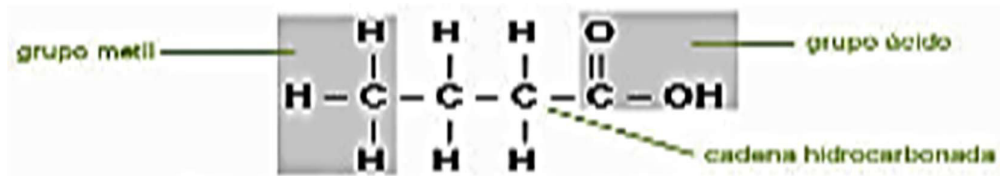


Fig. N° 04 Estructura de un Ácido graso.

Fuente: P. Siegfried, W. Ekhard. *Process for the transesterification of fat and/or oil by means of alcoholysis*

### 2.1.6.1 Reacción De Neutralización De Ácidos Grasos Libres (AGL)

Los ácidos grasos libre (AGL) presentes en el aceite vegetal pueden reaccionar con el catalizador básico en presencia de agua, ocurriendo asimismo una reacción indeseable, produciendo jabón (Fig.N°5). Esta reacción se considera parasita porque pone el catalizador en una forma en que no contribuye a acelerar la reacción. Además, el exceso de jabón puede inhibir el proceso posterior del biodiesel, por ejemplo en las etapas de separación del éster y del glicerol y durante el lavado por agua del éster. En efecto, los jabones de ácidos grasos libres tienden a solidificarse a temperatura ambiente así que una mezcla de productos con exceso de jabón podría gelificar y formar una masa media sólida que sería difícil de remover.

Existen entonces dos maneras de neutralizar los *AGL*. Se puede dejar ocurrir esta reacción de saponificación y luego se recuperan los jabones. Otra manera de eliminarlos es mediante una reacción de esterificación con un catalizador ácido con lo que se formaría el éster metílico.

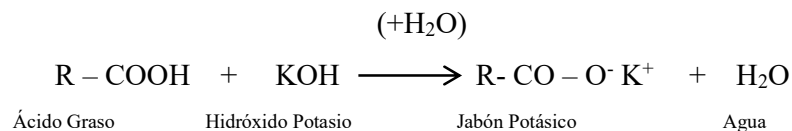
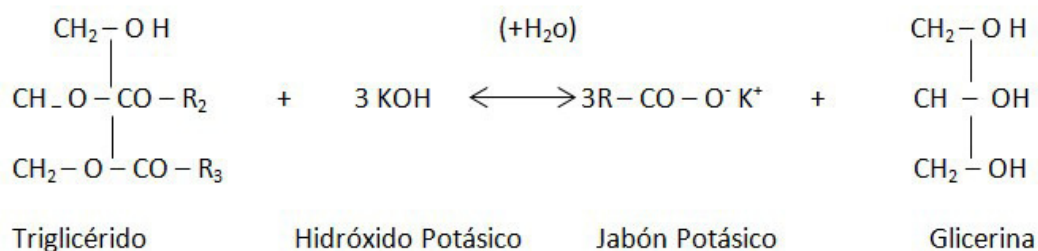


Fig. N° 05 Saponificación de un ácido graso.

Fuente: E. Lotero, Y. Liu, D. López. *"Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis"*

### 2.1.6.2 Reacción De Saponificación

En presencia de agua y particularmente a altas temperaturas, el triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo éste y dando lugar a la formación de jabones (reacción de saponificación), como se puede ver en la (Fig. N° 6).

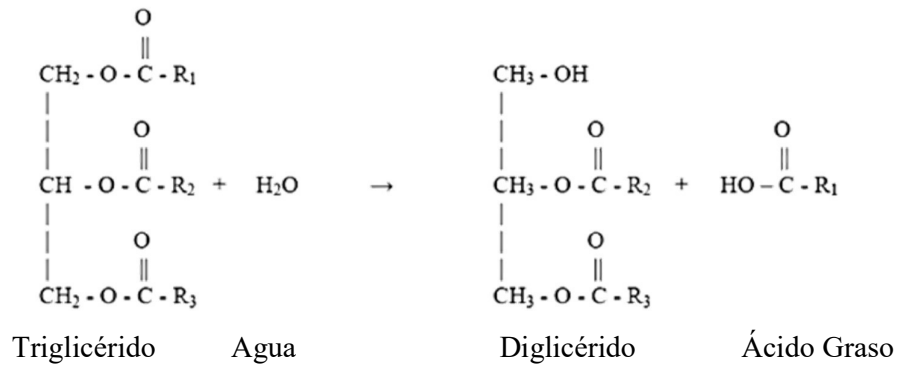


*Fig. N° 06 Saponificación de un Triglicérido.*

*Fuente: Ascensión Sanz Tejedor. "Tecnología de grasas, aceites y ceras"*

Este fenómeno se explica por la formación intermedia de AGL que ocurre en presencia de agua. En condiciones tales como descritas, el agua puede hidrolizar el triglicérido en diglicérido y formar un AGL (fig.N°7). Cuando un catalizador básico está presente, el AGL reacciona para formar jabón, como en la reacción expuesta en Fig. N° 6.

Así, cuando se utilizan estos catalizadores, se debe tener precaución con las condiciones de reacción, especialmente la temperatura y la cantidad de catalizador básico, para reducir al máximo la saponificación. Sin embargo, los metóxidos sólo contienen el grupo OH como impureza, por lo que su utilización no produce prácticamente jabones por saponificación. En cualquier caso, se deben utilizar aceites y alcoholes esencialmente anhidros, ya que el agua favorece la formación de jabones por saponificación. Por este motivo, se debe eliminar el agua, mediante evaporación, en los aceites con altos contenidos en humedad antes de llevar a cabo la transesterificación.

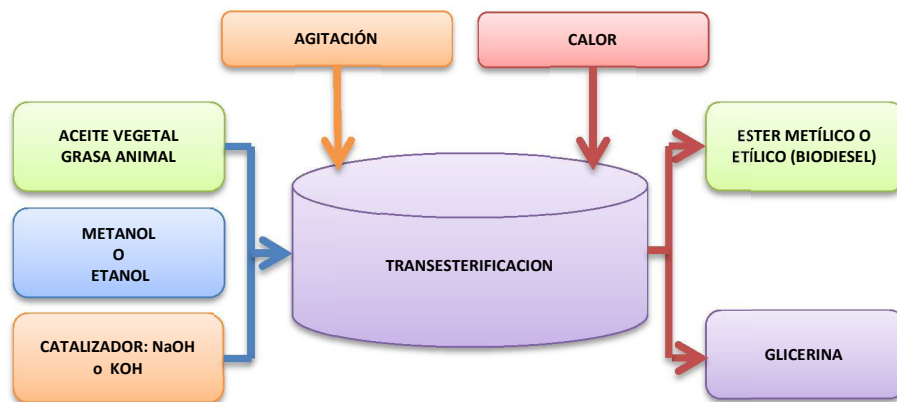


*Fig. N° 07 Hidrolisis de un Triglicérido*

*Fuente: Ascensión Sanz Tejedor. "Tecnología de grasas, aceites y ceras"*

### 2.1.6.3 Etapas del Proceso de Transesterificación con Catálisis Básica

El proceso de transesterificación tiene muchas variantes según los tratamientos que se hacen y el orden de los subsistemas en el proceso. Sin embargo, el diagrama expuesto en fig. N° 8 es un buen ejemplo de un proceso clásico. Este diagrama muestra de manera esquemática los procesos involucrados en la producción de biodiesel a partir de materia base con bajo contenido de ácidos grasos libres (AGL). Están concernidos los aceites de soja y los aceites usados de mejor calidad. A continuación, se describen de manera breve las diferentes etapas del proceso de transesterificación, desde la recepción del aceite hasta la producción del biodiesel terminado.



*Fig. N° 08 Diagrama del proceso de obtención de biodiesel*

*Fuente: Anabell del Valle Rivas Jiménez. "modelado del comportamiento dinámico del reactor de una planta de biodiésel"*

#### 2.1.6.4 Reacción de Transesterificación

La mezcla de metanol y catalizador es cargada en un reactor, ya sea en forma continua o por lotes, y se adiciona el aceite. La mezcla se mantiene aproximadamente una hora a 65 °C. El exceso de metanol es usado normalmente para asegurar la conversión total del aceite o la grasa en metil éster. El catalizador reaccionará primero con cualquier ácido graso libre en el aceite para formar jabón. Debe haber suficiente catalizador adicional, para catalizar la reacción tanto como para reaccionar con los ácidos grasos libres. Si el nivel de ácidos grasos libres es demasiado elevado (0,5% a 1%) o si hay agua presente, el jabón formado empieza a generar *emulsiones* con el metanol y el aceite, impidiendo que la reacción ocurra. En algunos casos la emulsión puede ser tan fuerte que forma un producto irrompible de apariencia similar al queso. En este caso el producto debe ser removido físicamente del sistema, y luego puede ser defragmentado. Por estas razones, el aceite es tratado para remover ácidos grasos y todas las corrientes de alimentación se mantienen libres de agua.

La reacción se hace a veces en dos etapas en los procesos de producción continuos, donde el 80% del alcohol y del catalizador se agrega en la primera etapa. Después, los productos de esta reacción pasan por un separador de glicerol y entran al segundo reactor. Los otros 20% de alcohol y catalizador son agregados en esta segunda etapa. Este sistema provee una reacción muy completa, con la posibilidad de utilizar menos alcohol que en un proceso en una etapa.

#### 2.1.6.5 Separación

Una vez que la reacción se ha completado y el metanol ha sido removido, existen dos productos principales: el metil éster y el glicerol. Debido a la diferencia de densidades entre la glicerina y el *Metil Éster (Biodiesel)*, los dos pueden ser separados por gravedad o centrifugación. Cualquier capa difusa puede ser reciclada o enviada a un tratamiento de efluentes.

#### **2.1.6.6 Remoción del Metanol**

En algunos sistemas el exceso de metanol se remueve por un simple proceso de destilación. En otros sistemas el metanol se remueve después de que la glicerina y los reactantes hayan sido separados.

#### **2.1.6.7 Lavado del Metil Éster**

Los jabones serán removidos durante el lavado por agua y los ácidos grasos quedarán en el biodiesel. El lavado por agua sirve para remover todo catalizador, jabón, metanol o glicerol libre quedando el biodiesel. Neutralizar antes de lavar reduce el agua necesaria y minimiza la potencialidad de emulsiones durante el lavado.

#### **2.1.6.8 Neutralización de la Glicerina**

La glicerina resultante contiene catalizador que no ha sido utilizado y jabón, el cual se neutraliza con un ácido formando sales, y se envía al almacenamiento como glicerina cruda. En algunos casos el catalizador hidróxido de potasio (*K-OH*). La mayoría de las veces, sin embargo, se usa ácido clorhídrico y soda cáustica (*hidróxido de sodio NaOH*), que forman cloruro de sodio el cual es dejado simplemente en la glicerina.

La glicerina resultante es separada del metanol que contenga por medio de arrastre por vapor y la glicerina final tiene generalmente una pureza de entre 80% y 88% y puede ser vendida como glicerina cruda.

#### **2.1.6.9 Reciclado del Metanol Y del Agua**

El metanol y el agua provenientes de los procesos de recuperación de glicerina y de purificación del metil éster se envían a una columna de destilación para recuperar el metanol. Este será reutilizado en el proceso. Se debe tener cuidado para asegurarse que no se acumule agua en las corrientes de recuperación del metanol.

#### **2.1.6.10 Acidez**

Se entiende por índice de acidez, o valor ácido, los miligramos de NaOH necesarios para saturar los ácidos grasos libres contenidos en gramo de muestra. El resultado de la titulación en presencia de fenolftaleína se puede

expresar también como porcentaje de **Ácido Oleico (C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub>)** determina el grado de ácidos grasos libres generados por degradación, por lo tanto es útil para determinar el estado del aceite después de tiempos de almacenamiento y se determina según la Norma técnica peruana NTP 321.125

## **2.2 Variables Que Afectan A La Reacción De Transesterificación**

### **2.2.1 Acidez y humedad**

Los contenidos de ácidos grasos y de humedad son los parámetros determinantes de la viabilidad del proceso de transesterificación del aceite vegetal. Para que se realice la reacción completa se necesita un valor de ácidos grasos libres, del inglés *Free Fatty Acid (FFA)*, menor al 3%. Cuanto más alto es la acidez del aceite, menor es la conversión. Además, tanto el exceso como la deficiencia de catalizador pueden. Producir la formación de jabón, sumado a la presencia de humedad que disminuye el rendimiento de la reacción, pues el agua reacciona con los catalizadores formando jabones.

Si las grasas animales o los aceites vegetales, con valores altos de **FFA**, se quieren utilizar para producir biodiesel, es necesario refinarlos con una neutralización, utilizando una solución de NaOH para eliminar los ácidos grasos libres. Igualmente, el proceso de catálisis ácida también se puede usar para la esterificación de estos ácidos grasos y en un segundo paso se realiza

## **2.3 Impacto Ambiental**

### **2.3.1 Problemática ambiental del uso de los combustibles fósiles**

La principal problemática ambiental que se deriva del uso de combustibles fósiles consiste en que la combustión de éstos genera contaminación atmosférica (o del aire), del agua y suelo (por el desecho de aceites quemados), y el fenómeno del calentamiento global.

La contaminación atmosférica es un gran problema ambiental ya que es ocasionado por el mismo hombre, habiendo diferentes causas que ocasionan este problema, pero las más importantes son por las actividades industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias.

La contaminación del aire, ocasionada por la quema de combustibles fósiles en plantas de energía, humos industriales y vehículos automotores, es responsable de la muerte de alrededor de medio millón de personas en el

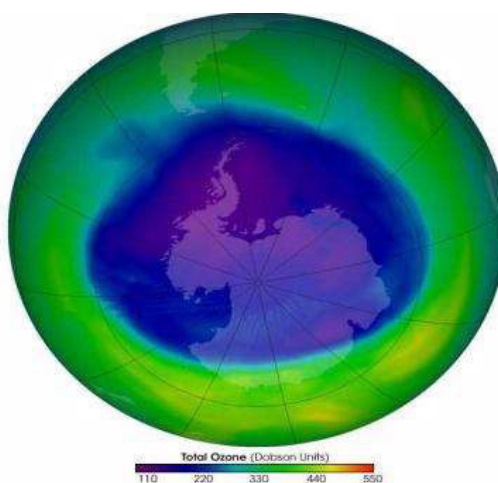
mundo y también causa entre 4 y 5 millones de casos de bronquitis crónica, así como millones de casos de otras enfermedades graves. Según la OMS (Estadísticas Sanitarias Mundiales 2011).

### 2.3.2 Contaminación Atmosférica

La capa de ozono actúa como un potente filtro solar evitando el paso de una pequeña parte de la radiación ultravioleta (UV) llamada B que se extiende desde los 280 hasta los 320 nanómetros (nm).

La radiación UV-B puede producir daño en los seres vivos, dependiendo de su intensidad y tiempo de exposición; estos daños pueden abarcar desde irritación a la piel, conjuntivitis y deterioro en el sistema de defensas. Los principales agentes de destrucción del ozono estratosférico, son mayormente el cloro y el bromo libres, que reaccionan negativamente con ese gas.

El cloro, en las proporciones existentes, debe su presencia en la atmósfera a causas antropogénicas, especialmente desde la aparición de los clorofluorocarbonos (CFC) sintetizados por el hombre para diversas aplicaciones industriales.



*Fig. N° 09 Disminución de capa de ozono.*

*Fuente: NASA. "cambios en la capa de ozono"*



### 2.3.3 Principales contaminantes del aire

Se clasifican en primarios y secundarios:

- ✓ Los primarios permanecen en la atmósfera y son emitidos por la fuente, como los óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos y partículas.
- ✓ Secundarios están sujetos a cambios químicos, entre los que destacan los oxidantes fotoquímicos y algunos radicales de corta existencia como el ozono, debiendo destacar que donde encontramos más contaminación atmosférica son aquellos lugares con alta industria.

Tabla N° 1 Emisiones producto de la Combustión

COMBUSTIBLE	CO		Total HC		NOx		PARTÍCULAS	
	g/Kg	Dif.(%)	g/kg	Dif.(%)	g/kg	Dif.(%)	g/kg	Dif.(%)
Gasoil	0.63		0.14		0.98		0.08	
BD 20	0.57	-12	0.12	-20	0.99	2	0.07	-12
BD 100	0.49	-48	0.05	-67	1.02	10	0.07	-47

Fuente: ampliación de combustibles. etsimo (2008).

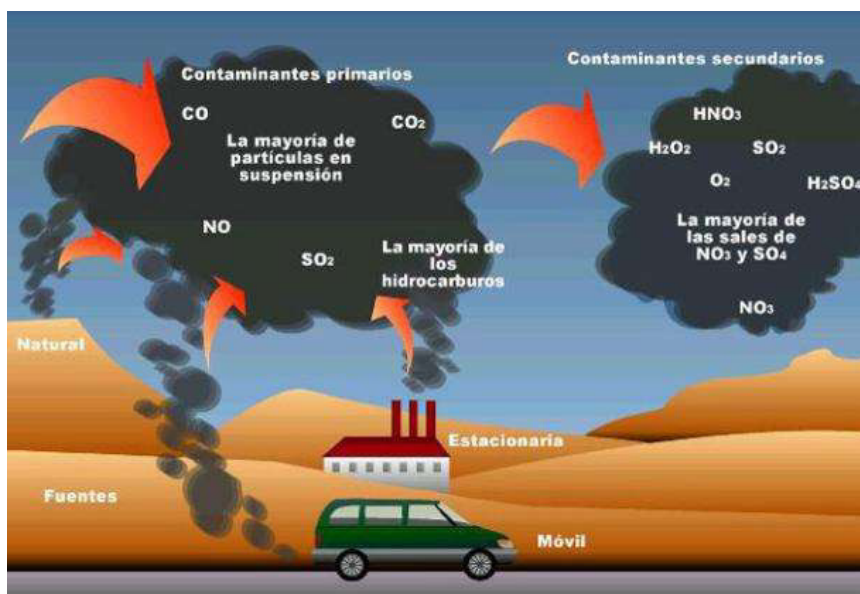


Fig. N° 10 Principales contaminantes (primario y secundario).

Fuente: WordPress.com "Principales contaminantes del aire"

#### 2.3.4 Efecto Invernadero

El dióxido de carbono, agua, ozono y nitrógeno forman una capa que permite el paso de los rayos del sol a la corteza terrestre, pero impiden su salida cuando rebotan en la superficie de la tierra, produciendo un calentamiento de la atmósfera más cercana a la tierra.

Este efecto puede verse multiplicado por los gases contaminantes que pueden elevar de forma alarmante la temperatura media ambiental de determinados puntos de la corteza.

Esto conllevaría a la destrucción de los polos. El hielo se fundiría y aumentaría la cantidad de agua, inundando las costas, los valles. Estos son los efectos del llamado *efecto invernadero*.

#### 2.4. Motores Diesel

El motor diésel es un motor térmico de combustión interna en el cual el encendido se logra por la temperatura elevada producto de la compresión del aire en el interior del cilindro. Fue inventado y patentado por Rudolf Diésel en 1892, por lo que a veces se denomina también motor Diésel, utilizando su motor originalmente un biocombustible: aceite de Palma, coco.

*(Pero incluso Diésel reivindicó en su patente el uso de polvo de carbón como combustible, pero no se utiliza por lo abrasivo que es).*

Un motor diésel funciona mediante la ignición de la mezcla aire-gas sin chispa. La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo motor, compresión.

El combustible diésel se inyecta en la parte superior de la cámara de compresión a gran presión, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión. Como resultado, la mezcla se quema muy rápidamente.

Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación. Para que se produzca la auto inflamación es necesario emplear combustibles más pesados que los empleados en el motor de gasolina, empleándose la fracción de destilación del petróleo comprendida entre los 220 y 350 °C, que recibe la denominación de gasóleo.

La principal ventaja de los motores diésel comparados con los motores a gasolina estriba en su menor consumo de combustible, el cual es, además, más barato. Debido a la constante ganancia de mercado de los motores diésel en turismos desde los años noventa (en muchos países europeos ya supera la mitad), el precio del combustible tiende a acercarse a la gasolina debido al aumento de la demanda. Este hecho ha generado grandes problemas a los tradicionales consumidores de gasóleo como transportistas, agricultores o pescadores.

En automoción, las desventajas iniciales de estos motores (principalmente precio, costos de mantenimiento y prestaciones) se están reduciendo debido a mejoras como la inyección electrónica y el turbocompresor. No obstante, la adopción de la precámara para los motores de automoción, con la que se consiguen prestaciones semejantes a los motores de gasolina, presenta el inconveniente de incrementar el consumo, con lo que la principal ventaja de estos motores prácticamente desaparece.

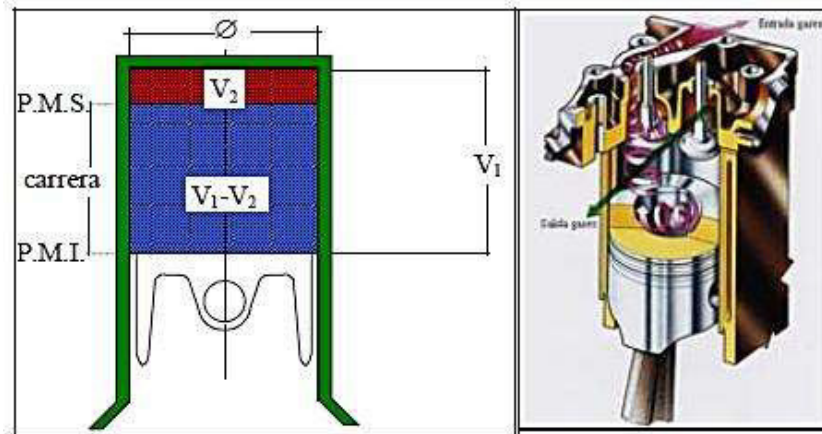
Actualmente se está utilizando el sistema Common-rail en los vehículos automotores pequeños, este sistema brinda una gran ventaja, ya que se consigue un menor consumo de combustible, mejores prestaciones del motor, menor ruido (característico de los motores Diésel) y una menor emisión de gases contaminantes.

#### **2.4.1 Ciclo de Cuatro Tiempos**

El motor Diésel de cuatro tiempos funciona con cuatro carreras de los pistones: admisión de aire, compresión, potencia y escape. Las válvulas de admisión y de escape abren y cierran en momentos exactos en relación con el pistón. El árbol de levas, impulsado desde el cigüeñal abre y cierra las válvulas.

Por razón de sencillez, en los siguientes párrafos se considerará que las válvulas abren o cierran en el *punto muerto superior (PMS)* o en el *punto muerto inferior (PMI)*.

En realidad, no están sincronizadas abrir y cerrar en estos puntos exactos sino que abren antes o después de PMS o PMI para permitir la entrada de aire del exterior al cilindro y para el escape de los gases de combustión con la mayor eficacia posible.

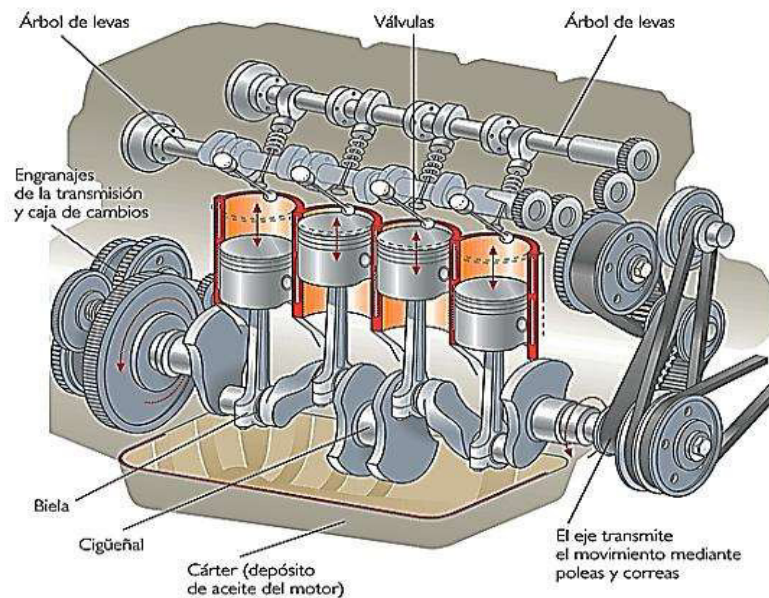


*Fig. N° 11 Carrera del pistón.*

*Fuente: Santander, J. R. "Combustión Interna"*

#### 2.4.2 Ciclo Diésel Teórico

El motor Diésel de cuatro tiempos tiene una estructura semejante a los motores de explosión, salvo ciertas características particulares. El pistón desarrolla cuatro carreras alternativas mientras el cigüeñal gira  $720^\circ$ . Como el motor de ciclo Otto realiza el llenado y evacuación de gases a través de dos válvulas situadas en la culata, cuyo movimiento de apertura y cierre está sincronizado con el cigüeñal a través del sistema de distribución por el árbol de levas.



*Fig. N° 12 Motor diesel de cuatro tiempos.*

*Fuente: Santander, J. R. "Combustión Interna"*

#### **2.4.2.1 Primer Tiempo: Admisión**

En este primer tiempo el pistón efectúa su primera carrera o desplazamiento desde el PMS al PMI, aspirando sólo aire de la atmósfera, debidamente purificado a través del filtro. El aire pasa por el colector y la válvula de admisión, que se supone se abre instantáneamente y que permanece abierta, con objeto de llenar todo el volumen del cilindro. Durante este tiempo, la muñequilla del cigüeñal gira 180°.

Al llegar al PMI se supone que la válvula de admisión se cierra instantáneamente.

#### **2.4.2.2 Segundo Tiempo: Compresión**

En este segundo tiempo y con las dos válvulas completamente cerradas el pistón comprime el aire a gran presión, quedando sólo aire alojado en la cámara de combustión. La muñequilla del cigüeñal gira otros 180° y completa la primera vuelta del árbol motor.

La presión alcanzada en el interior de la cámara de combustión mantiene la temperatura del aire por encima de los 600 °C, superior al punto de inflamación del combustible, para lo cual la relación de compresión tiene que ser del orden de 22.

#### **2.4.2.3 Tercer Tiempo: Trabajo**

Al final de la compresión con el pistón en el PMS se inyecta el combustible en el interior del cilindro, en una cantidad que es regulada por la bomba de inyección. Como la presión en el interior del cilindro es muy elevada, para que el combustible pueda entrar la inyección debe realizarse a una presión muy superior, entre 150 y 300 atmósferas.

El combustible, que debido a la alta presión de inyección sale finalmente pulverizado, se inflama en contacto con el aire caliente, produciéndose la combustión del mismo. Se eleva entonces la temperatura interna, la presión mientras dura la inyección o aportación de calor se supone constante y, a continuación, se realiza la expansión y desplazamiento del pistón hacia el PMI. Durante este tiempo, o carrera de trabajo, el pistón efectúa su tercer recorrido y la muñequilla del cigüeñal gira otros 180°.

#### 2.4.2.4 Cuarto Tiempo: Escape

Durante este cuarto tiempo se supone que la válvula de escape se abre instantáneamente permanece abierta. El pistón, durante su recorrido ascendente, expulsa a la atmósfera los gases remanentes que no han salido, efectuando el barrido de gases quemados lanzándolos al exterior.

La muñequilla del cigüeñal efectúa otro giro de 180°, completando las dos vueltas del árbol motor que corresponde al ciclo completo de trabajo.

El diagrama de distribución correspondiente a esta carrera. Representando en un sistema de ejes coordenados P-V el funcionamiento teórico de estos motores queda determinado por el diagrama de la siguiente figura:

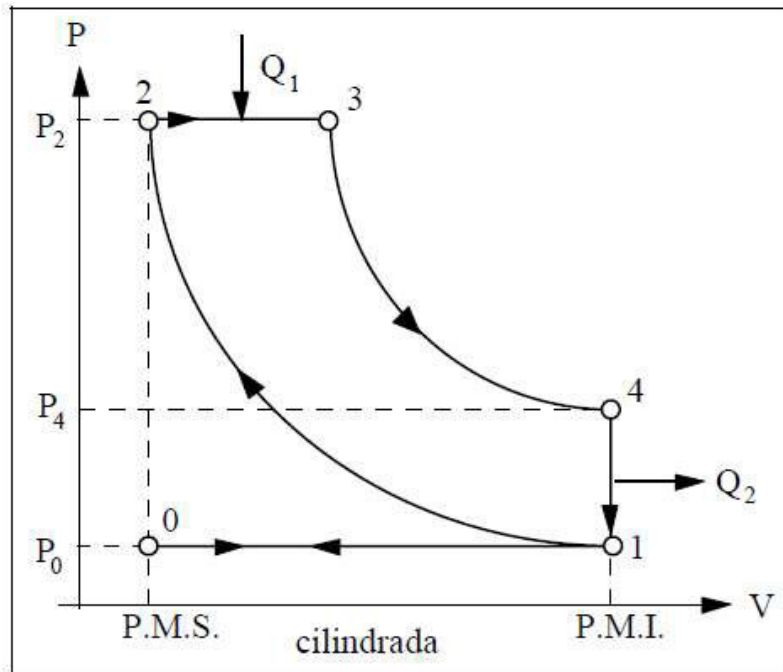


Fig. N° 13 Diagrama p-v del ciclo diesel teórico.

Fuente: Santander, J. R. "Combustión Interna"

**0-1. Admisión (Isóbara):** Durante la admisión se supone que el cilindro se llena totalmente de aire que circula sin rozamiento por los conductos de admisión, por lo que se puede considerar que la presión se mantiene constante e igual a la presión atmosférica. Es por lo que esta carrera, Puede ser representada por una transformación isóbara, ( $K=1.4$ ).

$$P_1 \dots \dots (KPa)$$

$$T_1 \dots \dots (^\circ K)$$

**1-2. Compresión (Adiabática):** Durante esta carrera el aire es comprimido hasta ocupar el volumen correspondiente a la cámara de combustión y alcanza en el punto (2) presiones del orden de 50 kPa/cm<sup>2</sup>. Se supone que por hacerse muy rápidamente no hay que considerar pérdidas de calor, por lo que esta transformación puede considerarse adiabática. La temperatura alcanzada al finalizar la compresión supera los 600 °C, que es la temperatura necesaria para producir el auto inflamación del combustible sin necesidad de chispa eléctrica.

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{K-1/K} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{K-1} \dots\dots\dots (1)$$

**Relación de compresión:**  $r = \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots (2)$

**2-3. Inyección y combustión (Isóbara):** Durante el tiempo que dura la inyección, el pistón inicia su descenso, pero la presión del interior del cilindro se supone que se mantiene constante, transformación isóbara, debido a que el combustible que entra se quema progresivamente a medida que entra en el cilindro, compensando el aumento de volumen que genera el desplazamiento del pistón. Esto se conoce como retraso de combustión.

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} \dots\dots\dots (3)$$

**Relación de combustión:**  $r_c = \frac{V_3}{V_2} \dots\dots\dots (4)$

**3-4. Terminada La Inyección Se Produce Una Expansión:** la cual como la compresión se supone que se realiza sin intercambio de calor con el medio exterior, por lo que se considera una transformación adiabática. La presión interna desciende a medida que el cilindro aumenta de volumen.

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{K-1/K} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{K-1} \dots\dots\dots (5)$$

**4-1. Primera Fase del Escape (Isócora):** En el punto (4) se supone que se abre instantáneamente la válvula de escape y se supone que los gases quemados salen tan rápidamente al exterior, que el pistón no se mueve, por lo que se puede considerar que la transformación que experimentan es una isócora. La presión en el cilindro baja hasta la presión atmosférica y una cantidad de calor  $Q_2$  no transformado en trabajo es cedido a la atmósfera.

Como la sustracción del calor  $Q_2$  se realiza como en el ciclo Otto a volumen constante, se puede expresar que

$$Q_2 = C v \cdot (T_4 - T_1) \dots \dots (KW) \dots \dots (6)$$

**1-0. Segunda fase del escape (Isóbara):** Los gases residuales que quedan en el interior del cilindro son expulsados al exterior por el pistón durante su recorrido (1-0) hasta el PMS. Al llegar a él se supone que de forma instantánea se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión para iniciar un nuevo ciclo. Como se supone que no hay pérdida de carga debida al rozamiento de los gases quemados al circular por los conductos de escape, la transformación (1-0) puede ser considerada como isóbara. En los motores de ciclo Diesel el calor introducido, por ser una transformación a presión constante, se puede calcular mediante la variación de entalpía del fluido operante considerado como gas perfecto, por lo que:

$$Q_1 = Cp \cdot (T_3 - T_2) \dots \dots (KW) \dots \dots (7)$$

Es interesante recordar que en una transformación a presión constante el calor puesto en juego se calcula mediante la variación de la entalpía del fluido activo, mientras que en el caso de una transformación a volumen constante se calcula mediante la variación de la energía interna del fluido.

### 2.4.3 Trabajo Neto Del Ciclo

El trabajo está definido por la diferencia de calor suministrado menos el calor que entrega el ciclo al exterior.



$$w_{neto} = Q_1 - Q_2 \dots \dots (KW) \dots \dots (8)$$

#### 2.4.4 Rendimiento Térmico Ideal Del Ciclo Diesel Teórico

$$n_t = \frac{\text{calor suministrad} \quad \text{sustraido}}{\text{calor suministrado}} = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} \dots \dots (9)$$

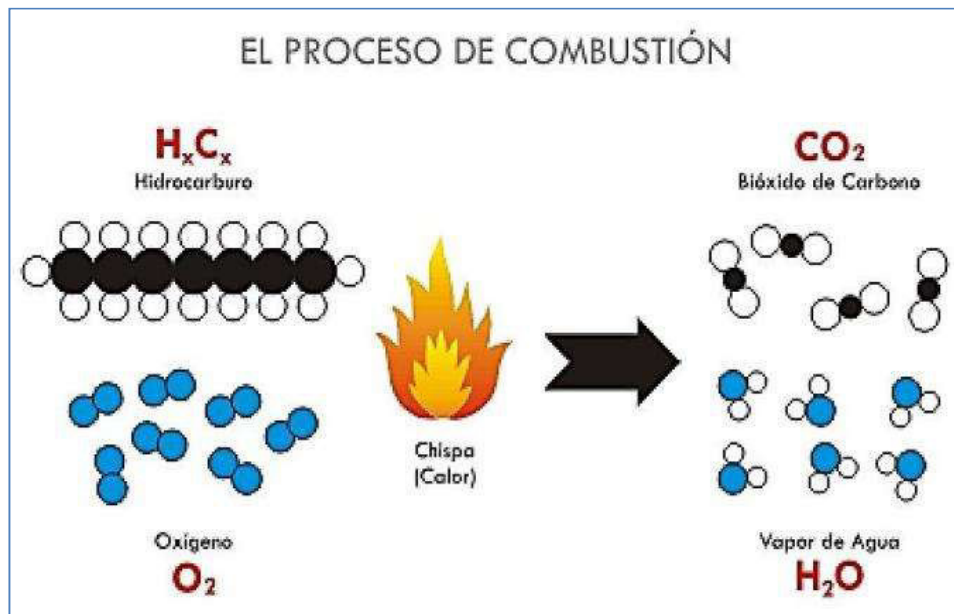
#### 2.4.5 Aplicación de los Motores Diésel

- ✓ Maquinaria agrícola (tractores, cosechadoras).
- ✓ Propulsión ferroviaria.
- ✓ Propulsión marina.
- ✓ Automóvil y camiones.
- ✓ Grupos generadores de energía eléctrica (centrales eléctricas y de emergencia).
- ✓ Accionamiento industrial (bombas, compresores, etc., especialmente de emergencia).
- ✓ Propulsión aérea.

El combustible es el elemento necesario para producir la potencia que mueve a un vehículo.

En la actualidad son varios los combustibles que pueden ser utilizados en los motores; el diésel y la gasolina son los más comunes pero también se pueden utilizar el *Gas Licuado De Petróleo (LP)*, *Gas Natural Comprimido (GNC)*, el, el propano, el metanol, el etanol y otros.

Para obtener el máximo aprovechamiento de la energía del combustible se requiere mezclar con oxígeno, el cual es obtenido del aire y así generar la combustión.



*Fig. N° 14 Proceso de combustión.*

*Fuente: Gilardi, J. "Motores de Combustión Interna"*

Tres son los factores que influyen en el fenómeno de combustión y éstos son:

✓ **La Temperatura**

La temperatura de la cámara de combustión es fundamental para generar una buena combustión. Generalmente a mayor temperatura se tiene una mejor combustión, sin embargo esto afecta las emisiones de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) las cuales se incrementan al tener mayores temperaturas. Las temperaturas bajas generan una mala combustión y generalmente provocan altas emisiones de hidrocarburos no quemados (HC) y de monóxido de carbono (CO).

✓ **La Turbulencia**

Se refiere a la forma en la cual se mezclan el aire y el combustible. En este sentido los fabricantes han tratado por diferentes medios de incrementar la turbulencia, algunas veces a través del diseño del múltiple de admisión, otras en la cabeza del pistón, otras en la forma de la cámara, etc.

### ✓ **El Tiempo de Residencia**

Se refiere al tiempo que la mezcla aire/combustible permanece dentro de la cámara de combustión. En este tiempo, la mezcla aire/combustible debería quemarse completamente.

Un sistema de combustible que no cumpla los requisitos necesarios puede producir los siguientes efectos:

- ✓ Sobre consumo de combustible.
- ✓ Desgaste prematuro de partes por contaminación del lubricante con combustible y provocar adelgazamiento de la película lubricante.
- ✓ Falta de potencia.
- ✓ Daño al convertidor catalítico.
- ✓ Fugas de combustible.
- ✓ Conatos de incendio.

Por todo esto es importante conocer cómo trabaja el sistema de combustible y las acciones que puedan llegar a afectar de manera negativa al desempeño del vehículo.

El sistema de combustible tiene varios objetivos; entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

- ✓ Proporcionar la mezcla adecuada de aire/combustible acorde a las condiciones de operación del vehículo.
- ✓ Mezclar aire con combustible para el mejor aprovechamiento del combustible.
- ✓ Dosificar el combustible o la mezcla aire/combustible en la cámara de combustión.

Para cumplir con estos objetivos existen diferentes sistemas de combustible entre ellos, se tienen los sistemas carburados o de admisión natural y los sistemas de inyección electrónica.

#### **2.4.6 Diferencias Entre La Carburación Y La Inyección**

El sistema de admisión natural cuenta con un carburador el cual se encarga de dosificar la mezcla aire combustible a la cámara de combustión utilizando el principio de tubo Venturi, es decir, generando un vacío en la parte más estrecha del tubo lo cual provoca la succión del combustible al pasar el aire

por este estrechamiento. El control de la dosificación se lograba en los primeros sistemas utilizando únicamente medios mecánicos, (palancas, émbolos, diafragmas, etc.) sin embargo en los últimos carburadores se contaba ya con controles electrónicos.

Estos sistemas tienen las siguientes características:

- ✓ El principio de funcionamiento es por la depresión que se genera en el tubo Venturi que es la parte fundamental del diseño
- ✓ La velocidad del aire es mayor que la del combustible, por lo cual el combustible es arrastrado por el aire
- ✓ Generalmente proporcionan mezclas ricas de aire/combustible
- ✓ Son fáciles de instalar
- ✓ Son de precio bajo
- ✓ No permiten un control estricto de las emisiones contaminantes
- ✓ No permiten una dosificación homogénea a todos los cilindros
- ✓ La presión del sistema de combustible es del orden de 5 lb/pulg<sup>2</sup>.

#### **Al Sistema Carburado Lo Forman:**

1. Tanque o depósito de combustible.
2. Filtro de combustible.
3. Líneas de combustible.
4. Bomba de combustible mecánica (de diafragma).
5. Múltiple de admisión.
6. Carburador.
7. Ahogador o “choke”.
8. Válvula de aceleración.
9. Línea de retorno.
10. Filtro de aire.

Desde hace algunos años, sin embargo, aumentó la tendencia a preparar la mezcla por medio de la inyección de combustible en el colector de admisión. Esta tendencia se explica por las ventajas que supone la inyección de combustible en relación con las exigencias de potencia, consumo, comportamiento de marcha, así como de limitación de elementos contaminantes en los gases de escape. Las razones de estas ventajas residen en el hecho de que la inyección permite una dosificación muy precisa del combustible en función de los estados de marcha y de carga del motor;

teniendo en cuenta así mismo el medio ambiente, controlando la dosificación de tal forma que el contenido de elementos nocivos en los gases de escape sea mínimo.

Además, asignando una electroválvula o inyector a cada cilindro se consigue una mejor distribución de la mezcla. También permite la supresión del carburador; dar forma a los conductos de admisión, permitiendo corrientes aerodinámicamente favorables, mejorando el llenado de los cilindros, con lo cual, se favorece el par motor y la potencia, además de solucionar los conocidos problemas de la carburación, como pueden ser la escarcha, la percolación y las inercias de la gasolina.

Los sistemas de inyección de combustible presentan las siguientes características:

- ✓ Son sistemas más complicados y tienen más componentes.
- ✓ El principio de funcionamiento es por la presión con la que se inyecta el combustible, lograda por la bomba de alimentación y el regulador de presión del sistema.
- ✓ La velocidad del aire es menor que la del combustible, por lo cual el combustible es mezclado mejor con el aire.
- ✓ Generalmente proporcionan mezclas aire/combustible pobres.
- ✓ Son de precio medio y alto.
- ✓ Permiten un control estricto de las emisiones contaminantes.
- ✓ Permiten una dosificación homogénea a todos los cilindros, la presión del sistema de combustible es del orden de 35 a 70 lb/pulg<sup>2</sup> en motores de gasolina y mucho mayores en motores diésel (mayores de 3,000 lb/pulg<sup>2</sup>).

### 2.4.7 El Proceso de Combustión

Cuando tiene lugar una reacción química, los enlaces de las moléculas de los reactivos se rompen, y los átomos y electrones se reagrupan para formar los productos. En los productos reacciones de combustión, la oxidación rápida de los elementos reactivos del combustible trae como consecuencia la liberación de energía al formarse los productos de la combustión. Los tres elementos activos más importantes en los combustibles habituales son El carbono, el hidrogeno y el azufre. En general, el azufre contribuye poco a la energía Liberada pero es la causa de problemas importantes de contaminación y corrosión.

#### a) Combustión completa

La combustión es completa si todo el carbono presente en el combustible se ha transformado En dióxido de carbono, todo su hidrógeno en agua, todo su azufre en dióxido de Azufre y todos los demás componentes se han oxidado completamente. Si estas condiciones No se cumplen, la combustión es incompleta.

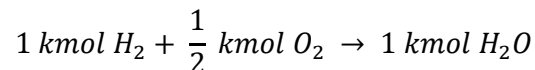
En este capítulo tratamos con las reacciones de combustión expresadas por las ecuaciones Químicas de la forma.

Reactivos - » productos

o

Combustible + comburente -> productos

Al considerar reacciones químicas hay que recordar que la masa se conserva, de manera que la masa de los productos es igual a la de los reactivos. La masa total de cada elemento químico debe ser igual en ambos miembros de la ecuación, aunque los elementos existan en compuestos químicos diferentes en reactivos y los productos. Sin embargo, el número de moles de los productos puede ser distinto del de los reactivos.



*Fig. N° 15 Coeficiente Estequiométricos*

*Fuente: Yunus, A. Cengel. "Termodinamica"*

## **b) Combustibles**

Un combustible es simplemente una sustancia susceptible de ser quemada. En este capítulo se pone énfasis en los hidrocarburos, que contienen carbono e hidrógeno. Pueden contener también azufre y otros elementos químicos. Estos combustibles pueden existir en estado sólido, líquido o gaseoso.

Los hidrocarburos líquidos se extraen normalmente del petróleo crudo mediante procesos de craqueo y destilación. Ejemplos son la gasolina, el gasóleo, el keroseno y otros tipos de combustibles petrolíferos. La mayor parte de estos combustibles líquidos son mezclas de hidrocarburos cuya composición se da habitualmente en términos de sus fracciones de masa. Para mayor sencillez de los cálculos, la gasolina se considera frecuentemente

Como octano,  $C_8H_{18}$ , y el gasóleo como dodecano,  $C_{12}H_{26}$ .

Los hidrocarburos gaseosos se obtienen de los pozos de gas natural o se producen en ciertos procesos químicos. El gas natural consiste habitualmente en una mezcla de varios hidrocarburos diferentes cuyo constituyente mayoritario es el metano,  $CH_4$ . La composición de los combustibles gaseosos se da habitualmente en función de las fracciones molares. Los hidrocarburos gaseosos y los líquidos se pueden sintetizar a partir de carbón, de arenas asfálticas y de esquistos bituminosos.

El carbón es un combustible sólido familiar. Su composición varía considerablemente

con el yacimiento. Para cálculos de combustión la composición del carbón se expresa habitualmente como análisis elemental. Este tipo de análisis elemental da la composición en base másica en términos de las cantidades relativas de los elementos químicos (carbono, azufre, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno) y ceniza.

## **c) Modelo para el aire de combustión**

El oxígeno es necesario en toda reacción de combustión. El oxígeno puro se utiliza solamente en aplicaciones especiales tales como el corte y la soldadura. En la mayoría de las aplicaciones de la combustión es el aire el que proporciona el oxígeno necesario. La composición de una muestra típica de aire seco se da en la Tabla 12.1. Sin embargo, para los cálculos de combustión de este libro se utiliza el siguiente modelo simplificado:

- Todos los componentes del aire distintos del oxígeno y del nitrógeno se incluyen junto a este último. En consecuencia, se considera que el aire está compuesto de un

21% de oxígeno y un 79% de nitrógeno en base molar. Con esta idealización, la relación Molar entre nitrógeno y oxígeno es  $0,79/0,21 = 3,76$ . Por tanto, cuando el aire Suministra el oxígeno en una reacción de combustión, cada mol de oxígeno va acompañado de 3,76 moles de nitrógeno. El aire considerado aquí no contiene vapor de agua. Cuando el aire presente en la combustión es húmedo, al escribir la ecuación de combustión hay que considerar el vapor de agua presente.

- Supondremos también que el nitrógeno presente en el aire de combustión no reacciona. Es decir, el nitrógeno se considera inerte. Sin embargo, el nitrógeno, como Uno de los productos de la reacción, se encuentra a la misma temperatura que los otros productos, por lo que sufre un cambio de estado si éstos se encuentran a temperatura diferente de la del aire antes de la combustión. Si se alcanza una temperatura suficientemente alta, el nitrógeno puede formar compuestos como el óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno. Incluso simples trazas de óxidos de nitrógeno presentes en los gases emitidos por los motores de combustión interna pueden ser una fuente de contaminación del aire.

Relación aire-combustible. Dos parámetros frecuentemente utilizados para cuantificar las cantidades de combustible y de aire en un proceso particular de combustión son la relación aire-combustible y su inversa, la relación combustible-aire. La primera es simplemente el cociente entre la cantidad de aire en una reacción y la cantidad de combustible.

Este cociente se puede escribir en base molar (moles de aire dividido por moles de combustible) o en base másica (masa de aire dividida por masa de combustible). La transformación entre estos valores se hace utilizando las masas moleculares del aire,  $M_{aire}$ , y del combustible,  $M_{comb}$ .

$$\begin{aligned} \frac{\text{masa de aire}}{\text{masa de combustible}} &= \frac{\text{moles de aire} \times M_{aire}}{\text{moles de combustible} \times M_{comb}} \\ &= \frac{\text{moles de aire}}{\text{moles de combustible}} \left( \frac{M_{aire}}{M_{comb}} \right) \\ \text{o} \\ AC &= \overline{AC} \left( \frac{M_{aire}}{M_{comb}} \right) \end{aligned}$$

**Fig. N° 16 Relacion Aire Combustible**

**Fuente: Yunus, A. Cengel. "Temodinamica"**



Donde  $\underline{AC}$  es el cociente aire-combustible en base molar y AC en base másica. Para los cálculos de combustión de este libro la masa molecular del aire se toma igual a 28,97. La Tabla A-1 proporciona las masas moleculares de varios hidrocarburos importantes. Puesto que AC es un cociente, tiene el mismo valor aunque las cantidades de aire se expresen en unidades del SI o en unidades inglesas. Aire teórico. La cantidad mínima de aire que proporciona oxígeno suficiente para la combustión completa de todo el carbono, hidrógeno y azufre presente en el combustible se llama cantidad teórica de aire. Los productos de la combustión en ese caso serán dióxido de carbono, agua, dióxido de azufre y el nitrógeno que acompaña al oxígeno en el aire, además de cualquier nitrógeno contenido en el combustible. En los productos no aparecerá oxígeno libre.

#### **d) Procesos de combustión teórica y real**

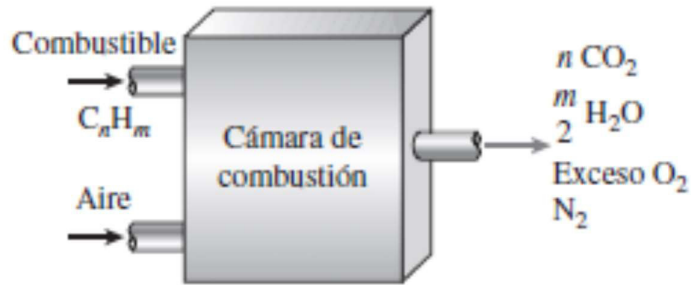
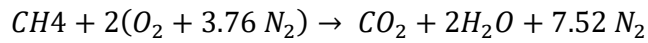
Muchas veces es muy útil estudiar la combustión de un combustible con la suposición de que la combustión es completa. Un proceso de combustión está completo si todo el carbono en el combustible se transforma en CO<sub>2</sub>, todo el hidrógeno se transforma en H<sub>2</sub>O y todo el azufre (si lo hay) se transforma en SO<sub>2</sub>. Esto es, todos los componentes combustibles de un combustible se queman totalmente durante un proceso de combustión completa (Fig. 10).

Por el contrario, un proceso de combustión es incompleto si los productos de combustión contienen algo de combustible o componentes no quemados, como C, H<sub>2</sub>, CO, o bien, OH. El oxígeno insuficiente es una razón obvia para la combustión incompleta, pero no la única. La combustión incompleta sucede incluso cuando en la cámara de combustión hay más oxígeno del necesario para la combustión completa. Esto puede atribuirse al mezclado insuficiente en la cámara de combustión durante el limitado tiempo en que el oxígeno y el combustible quedan en contacto. Otra causa de combustión incompleta es la disociación, la cual se vuelve importante a elevadas temperaturas.

El oxígeno es atraído con mayor fuerza hacia el hidrógeno que hacia el carbono. Por consiguiente, el hidrógeno en el combustible normalmente se quema por completo, formando H<sub>2</sub>O, aun cuando exista menos oxígeno del necesario para la combustión completa. No obstante, una parte del carbono termina como CO o como simples partículas C (hollín) en los productos.

La cantidad mínima de aire necesaria para la combustión completa de un combustible recibe el nombre de aire estequiométrico o teórico. De manera que cuando un

combustible se quema por completo con aire teórico, no estará presente el oxígeno sin combinar el producto de los gases. El aire teórico también se conoce como cantidad de aire químicamente correcta o aire 100 por ciento teórico. Un proceso de combustión con cantidad de aire menor está condenado a ser incompleto. El proceso de combustión ideal durante el cual un combustible se quema por completo con aire teórico se conoce como combustión estequiometria o teórica de ese combustible. Por ejemplo, la combustión teórica del metano es:



*Fig. N° 17 Un proceso de combustión es completo si todos los componentes inflamables del combustible se queman por completo*  
*Fuente: Yunus, A. Cengel. "Termodinámica"*

## 2.5 Bonos De Carbono

Los bonos de carbono son un componente clave de los esfuerzos nacionales e internacionales para mitigar el incremento de las concentraciones de **Gases Del Efecto Invernadero (GEI)**. Un bono de carbono equivale una tonelada de equivalentes de carbono. El comercio de carbono es una aplicación del planteamiento del comercio de las emisiones.

Se fijan límites máximos para las emisiones de gases de efecto invernadero y entonces se utilizan los mercados para asignar las emisiones de entre el grupo de las fuentes reguladas. La idea es permitir que los mecanismos de mercado encausen a los procesos industriales y comerciales hacia bajas emisiones o a enfoques de carbono "menos intensivos" que podrían utilizar cuando no haya costo alguno en la emisión del dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera. Puesto que los proyectos de mitigación de gases de efecto invernadero generan bonos, este acercamiento puede ser utilizado para financiar proyectos de reducción del carbono entre socios comerciales y en todo el mundo.

Existen también compañías que venden bonos de carbono a clientes comerciales y particulares que estén interesados, en forma voluntaria, en la reducción de sus huellas de carbono. Estos comerciantes de compensaciones compran los bonos de fondos inversionistas o de compañías de desarrollo del carbono que han reunido bonos de proyectos individuales, La calidad de los bonos está basada en parte en el proceso de validación y de sofisticación del fondo inversionista o de la compañía que lo haya desarrollado y que actuó como patrocinador del proyecto carbono.

Esto se refleja en su precio: los que no son **CDM (Clean Development Mechanism)** o sean las unidades voluntarias típicamente tienen menos valor que las unidades obtenidas por el **Mecanismo de Desarrollo Limpio**.

**Hay dos tipos distintos de Bonos de carbono:**

- ✓ **Bonos compensatorios de carbono o COC (Carbón Offset Credits)** generados por medios limpios para producir energía: el viento, el sol, el agua y los combustibles biológicos.
- ✓ Los **Bonos de Reducción de carbono o CRC (Carbón Reduction Credits)**, generados por la recolección y el almacenamiento de carbono de la atmósfera por medio de la biosecuestro (embosquecimiento,

forestación), los esfuerzos de recolección y almacenamiento en el océano y en la tierra.

Ambos métodos son reconocidos como formas efectivas para reducir la crisis de las emisiones mundiales del carbono. A fin de tener una base de comparación, todos los gases invernaderos son calculados en equivalentes **CO<sub>2</sub>**.

Los precios son afectados por el riesgo, cuanto más riesgo existe para el vendedor, mayor será el precio, mientras que cuanto más riesgo exista para el comprador, el precio será menor. Las normas del mercado voluntario tratan de definir la calidad al establecer ciertos criterios, cuanto más estrictos sean estos criterios, la calidad del Certificado será mejor y por lo tanto el precio potencial será más alto.

### 2.5.1 Protocolo De Kioto

El Protocolo de Kioto es un acuerdo internacional presentado por la *Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC)* para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (**GEI**) que provocan el calentamiento global.

Los gases en cuestión están clasificados según su equivalencia en CO<sub>2</sub> en la siguiente tabla.

**Tabla N° 2 Gases de efecto Invernadero**

GASES DE EFECTO INVERNADERO	EQUIVALENCIA EN CO <sub>2</sub> DE UNA MEDIDA DE GAS (CO <sub>2</sub> E)
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	21
Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	310
HidrofluoroCarbonos (HFC)	740
Perfluorocarbonos (PFC)	1300
Hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> )	23900

*Fuente: ecosystems marketplace and bloomberg new energy finance*

La Convención está constituida por la Conferencia de las Partes integrada por 181 países, divididos en: países industrializados y estados de Europa Central y del Este. ***La Conferencia de las Partes se reúne una vez al año para analizar los avances de la Convención.*** Así se acogió el Protocolo de Kioto en diciembre de 1997, entrando en vigor el 16 de febrero de 2005 luego de ser ratificado por 55 Partes de la Convención, siendo Estados Unidos uno de los países que aún no ha aceptado ratificarlo, argumentando que no sólo los países desarrollados deben disminuir sus emisiones, sino también países en vías de desarrollo que presentan asimismo altos índices de emisiones, como China e India. Sin embargo, el resto de las Partes se comprometió a reducir entre el año 2008 y 2012 sus emisiones totales en aproximadamente un 5%, teniendo como referencia las emisiones de 1990. Con el Protocolo de Kioto se implementaron tres mecanismos internacionales con el fin de aplicar el Protocolo. Estos mecanismos son:

- ✓ ***el comercio internacional de los derechos de emisión de GEI (Transacción de Emisiones).***
- ✓ ***la Implementación Conjunta (IC) y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).***

### **2.5.2 Mecanismo de Desarrollo Limpio**

Gracias al *Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)* los países en desarrollo pueden formar parte de la reducción de emisiones de ***GEI***. De esta manera, el ***MDL*** permite el financiamiento por parte de países industrializados de proyectos de mitigación de emisiones en países en vías de desarrollo y así recibir certificados de reducción de emisiones. El principal objetivo del ***MDL*** es apoyar a los países en desarrollo en su logro por un desarrollo sostenible y además contribuir en el cumplimiento de las metas respecto a la reducción de emisiones de los países pertenecientes.

***Para que un proyecto en un país en desarrollo pueda incorporarse al MDL debe cumplir con las siguientes condiciones:***

- ✓ ***Desarrollo sustentable:*** el proyecto presentado debe responder a los requerimientos en cuanto a desarrollo sostenible del país en el que se

llevará a cabo, tomando en cuenta la conservación de la biodiversidad y el manejo sostenible de los recursos naturales.

- ✓ **Adicionalidad:** el proyecto debe comprobar que su reducción corresponde a emisiones reales medibles y duraderas, adicionales a las que se hubiesen generado sin el proyecto.
- ✓ **Certificación:** la disminución de emisiones debe ser certificada por una tercera parte llamada **Entidad Operacional (EO)** que a su vez debe ser acreditada por el **Comité Ejecutivo del MDL (CE)**.
- ✓ La Eos tiene la función de aprobar proyectos **MDL**, así como de confirmar y certificar la reducción de emisiones de estos mismos.
- ✓ El país ejecutor del proyecto que pretenda ser parte del **MDL** debe ser parte firmante del Protocolo de Kioto y debe nombrar una **Autoridad Nacional para el MDL (Autoridad Nacional Designada, AND)**.

### 2.5.3. Bonos de Carbono

Las **Reducciones Certificadas de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (CERs, por su sigla en inglés)** son denominadas Bonos de Carbono o Créditos de Carbono. Un **CER** corresponde a una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente. Durante la implementación del proyecto son generados los **CERs** que se transan en forma de créditos en el Mercado del Carbono.

### 2.5.4. Mercado de Carbono

El Mercado de Carbono corresponde al sistema de comercialización de reducciones de emisiones. Este mercado representa el lugar mediante el cual los gobiernos, empresas o instituciones pueden comprar y vender reducciones de **GEI**. Debido a las consecuencias globales y no regionales del Efecto Invernadero, las transacciones pueden efectuarse por países apartados entre sí.

**Las licencias comercializadas en el Mercado de Carbono se pueden clasificar en tres tipos:**

- ✓ **Derechos de emisión:** son creados y asignados por los gobiernos de los países a empresas emisoras de **GEI**. Si una empresa emite menos de lo permitido, puede vender el resto de sus emisiones en forma de permisos de emisión a otra empresa que no haya logrado generar

menos emisiones dentro de lo aceptado. El mercado que más transa estos permisos es el *Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (EU ETS, por sus siglas en inglés)*, donde se comercian permisos denominados *EUAs*.

- ✓ *Certificados de reducción de emisiones creados en proyectos:* cuando un proyecto de mitigación implementado en un país en desarrollo o de Europa del Este comprueba la reducción de sus emisiones, comparándolo con un escenario sin la existencia de dicho proyecto, se pueden generar certificados de reducción de emisiones. Aquellos certificados creados en países en desarrollo dentro del *MDL* son llamados *CERs* y aquellos generados en estados de Europa del Este dentro del *IC* se denominan *ERUs*.

#### **2.5.4.1. Instrumentos Actuales Del Protocolo De Kioto**

*Acciones de mitigación apropiadas a nivel nacional, NAMAS (NATIONALLY APPROPRIATE MITIGATION ACTIONS).* Tras el Plan de Acción de Bali realizado en 2007 se discute a nivel mundial sobre medidas de mitigación de emisiones adecuadas a cada país (*NAMAs*) La Convención decidió comenzar con acciones globales que continúen ejecutándose más allá del 2012. Estas acciones se explican de la siguiente forma: “Medidas de mitigación de emisiones adecuadas a cada país por las Partes que son países en desarrollo en el contexto del desarrollo sostenible, apoyadas y facilitadas por tecnologías, financiación y actividades de fomento de la capacidad, de manera mensurable, notificable y verificable.” (Plan de Acción de Bali, 2007). Se considera como *NAMA* toda medida o acción de mitigación ejecutada por países en desarrollo en forma voluntaria que son adicionales a los compromisos de los países del Protocolo de Kioto. Estas medidas se llevarán a cabo de acuerdo a las prioridades y capacidades del país ejecutor que debe informar sobre ellas. Por lo tanto, su principal objetivo es reducir considerablemente las emisiones por debajo de los niveles de actividades usuales en un contexto de desarrollo sustentable. Las *NAMAs* pueden ser políticas, programas, proyectos o estrategias aplicadas a nivel nacional, regional o local.

***El debate internacional distingue actualmente tres tipos de NAMAs:***

***NAMAs unilaterales y voluntarias:*** medidas de reducción de emisiones de **GEI**, los países en desarrollo implementan en forma voluntaria y con recursos propios, sin apoyo de otros países o instituciones internacionales. Su objetivo va más allá de la reducción de emisiones, puesto que se trata de acciones de desarrollo sustentable que benefician al país ejecutor en el ámbito de eficiencia energética, de seguridad energética o de mejoramiento en la calidad de la salud.

- ✓ ***NAMAs apoyadas internacionalmente:*** medidas de reducción de emisiones en países en desarrollo llevadas a cabo gracias al financiamiento o apoyo de otro tipo por parte de los países pertenecientes al tratado de kioto. La ayuda puede ser de carácter financiero, tecnológico (transferencia de tecnología para el desarrollo y ejecución de las medidas) o de colaboración para el fomento de las capacidades.
- ✓ ***NAMAs que generan créditos:*** medidas de mitigación ejecutadas en países en desarrollo que producen créditos para transarlos en el mercado global de carbono. Bajo este tipo de medidas se debería tener en cuenta un escenario de negocio usual para que la mitigación de emisiones sea mayor que la generada en un escenario de actividades habituales.

El desarrollo sostenible es una de las prioridades actuales de los países en desarrollo, puesto que este proceso contribuye con el crecimiento de las economías de estos países, con el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes y con la conservación del medioambiente. Por esta razón, las **NAMAs** que fomentan el desarrollo sostenible tendrán mayor aceptación política y de futuros inversionistas.

El método **MRV (Medición, Reporte y Verificación)** es un informe encargado de la contabilización de las emisiones ocasionadas por las **NAMAs**. Cada cuatro años es solicitado un reporte nacional de emisiones a los países en desarrollo que implementen **NAMAs** y a los países desarrollados que las apoyen.



Los puntos principales que el *MRV* considera para *las NAMAs* son:

**1. Acciones y Avances.**

**2. GEI.**

**3. Desarrollo Sostenible.**

En cuanto a las Acciones y Avances de las *NAMAs*, se indican las acciones a seguir de la *NAMA* en cuestión fijadas desde un principio y sus avances. Gracias al segundo punto, se señala la magnitud de la reducción de emisiones que se ha logrado gracias a la implementación de la *NAMA*. Respecto al Desarrollo Sostenible, el *MRV* pretende comunicar sobre el sector (salud, medio ambiente, etc.) que más se beneficiaría con la puesta en marcha de la *NAMA*.

El método *MRV* tiene como objetivo informar detalladamente respecto de las *NAMAs* a implementar para así despertar un mayor interés en los países participantes.

Para implementar una *NAMA* efectivamente, se debiesen considerar las siguientes características en el diseño del *MRV*:

- ✓ El financiamiento debiese lograrse mediante recursos públicos y privados, y las propuestas de las *NAMAs* para los países participantes debiesen incluir la descripción de planes para adquirir recursos.
- ✓ El financiamiento para las *NAMAs* podría desembolsarse en etapas, de acuerdo al cumplimiento de metas de *MRV*. El fomento de capacidades para apoyar la planificación, el desarrollo e implementación de los puntos principales del *MRV* debiese incluirse en el plan de financiamiento de la *NAMA*.

Las *NAMAs* son una excelente oportunidad para que los países en desarrollo puedan hacer realidad sus políticas de desarrollo sostenible y aportar con la reducción global de emisiones. Los planes de acción internacionales sobre el cambio climático no tienen un diseño fijo de las *NAMAs* y de sus métodos de *MRV*. Por lo tanto, queda abierta la posibilidad de innovar en ellas y en sus métodos de evaluación.

Para asegurar la efectividad de las *NAMAs* es necesario que los países participantes entreguen información concreta tanto de los avances registrados,

como de la reducción de emisiones y del tipo de desarrollo sostenible del cual se verá beneficiado el país ejecutor. Asimismo, es imprescindible que las *NAMAs* describan clara y detalladamente los pasos a seguir para su implementación, el tipo de apoyo requerido y las condiciones para obtenerlo.

#### **2.5.4.2 Poas (Programas De Actividades Bajo El MDL)**

Un *Programa de Actividades (PoA, por sus siglas en inglés)* del *MDL* es considerado “una acción coordinada voluntaria de una entidad privada o pública (ejecutado en uno o varios países en desarrollo), que coordina o ejecuta cualquier política medida o meta declarada (es decir los planes de incentivos y programas voluntarios), que conduce a las reducciones de las emisiones de *GEI* o al aumento neto de la absorción por los sumideros de *GEI* que son adicionales a las que se producirían en ausencia del *PoA*, a través de un número ilimitado de las Actividades del Programa *MDL (CPAs)*.

Gracias a los *PoAs* se pueden implementar variadas Actividades de Programa (*CPAs*) en uno o más lugares con el fin de reducir las emisiones de *GEI*. Los sitios de aplicación de las *CPAs* podrían encontrarse en una o más ciudades, zonas o países, siempre y cuando éstos presenten una *Carta de Aprobación (LoA, por sus siglas en inglés)*.

Por lo tanto, un *PoA* es un grupo de proyectos individuales llamados *Componentes del PoA (CPAs, por sus siglas en inglés)*.

Los *PoAs* se diferencian de otros proyectos del *MDL* por su funcionamiento, puesto que actúa en dos niveles, en el nivel de programa (*PoA*) y en el nivel del programa de actividad (*CPA*).

El nivel de programa (*PoA*) posee una entidad coordinadora encargada de estructurar e incentivar respecto al logro de reducción de emisiones. Es participante directa del proyecto, se comunica con la Junta Ejecutiva del *MDL* y verifica que las actividades de reducción del programa no existan por separado o no estén inscritas en otro proyecto (doble contabilidad). Este organismo puede ser una empresa pública o privada.

Respecto a las actividades de reducción de emisiones, no es necesaria que éstas sean ejecutadas al mismo tiempo. La entidad coordinadora puede incluir *CPAs* en cualquier momento del periodo de duración del *PoA*.

Se estima que la fecha de inicio de un *PoA* es aquella que empieza con el inicio del periodo de comentario público de la validación.

En cuanto al monitoreo y verificación de la reducción de emisiones, debe ser considerado un control de cada *CPA* para garantizar la exactitud y eficacia de la metodología aplicada. Si se utiliza más de una metodología, la Junta Ejecutiva deberá estudiar cada caso de *CPA* antes de continuar con el proceso de registro del *PoA*.

Los *PoAs* y sus respectivos *CPAs* deben presentar una característica de adicionalidad. En caso de incorporar un *PoA* o de añadir una *CPA*, se debe tener en cuenta su carácter adicional, es decir, se debe demostrar que, sin la existencia del *MDL*, el *PoA* es adicional. Para tal efecto, se deberá considerar que, bajo esas circunstancias, la medida presentada no se pondría en marcha, la política obligatoria no sería implementada como se planeó, sino que sería el *MDL* el encargado de ejecutarla, o que el *POA* mejorará el nivel de realización de la política obligatoria.

Referente al nivel del programa de actividad (*CPA*), cabe mencionar que una *CPA* es “una única o una serie de medidas relacionadas entre sí, para reducir las emisiones de *GEI* aplicado tanto en un único como en muchos lugares del mismo tipo, dentro de un área que se define en la metodología de línea de base.

Las *CPAs* son acciones concretas mediante las cuales los países anfitriones logran reducir las emisiones de *GEI*. Se pueden presentar como una medida única o varias de éstas en un área física determinada. De esta forma, se desprenden cuatro clases de *CPAs*:

1. **Única medida, ubicación única:** *CPAs* que corresponden a sólo una medida para una sola dependencia. Por ejemplo, un sistema de climatización mejorado en sólo un hotel.
2. **Varias medidas, ubicación única:** *CPAs* formadas por un conjunto de medidas implementadas en una sola dependencia. Por ejemplo, artefactos de iluminación eficientes, un sistema de climatización y de aislamiento de ventanas mejorados en sólo un hotel.

3. **Única medida, ubicación múltiple:** *CPAs* de sólo una medida para un conjunto de dependencias de un área especificada. Por ejemplo, cambio de bombillas ineficientes de luz en hogares de un condominio.
4. **Múltiples medidas, ubicación múltiple:** *CPAs* compuestas por un grupo de medidas interconectadas entre sí empleadas en diversos lugares dentro de un área especificada por la *CPA*. Por ejemplo, una ciudad con varias medidas de eficiencia energética.

*Las CPAs tienen un periodo de acreditación de 7 años máximo que se podrá renovar 2 veces como límite o un máximo de 10 años sin posibilidad de renovación.*

Pueden iniciarse junto con el proyecto en sí (*PoAs*) o en cualquier oportunidad dentro de la duración del proyecto y deben finalizar cuando el *PoAs* también lo hace.

A diferencia de los proyectos convencionales del *MDL*, los *PoAs* tienen un carácter más prolongado y a largo plazo (de 28 a 60 años para los programas de forestación o reforestación, por ejemplo).

Por otra parte, la acreditación de los *CPAs* en un *PoA* requiere un proceso breve y sin muchas complicaciones, puesto que para su implementación sólo tiene que adaptarse al *PoA* adecuado.

La ventaja de un *PoA* radica en que no es necesario disponer de las *CPAs* a la hora de registrar el *PoA*, puesto que se pueden agregar durante todo el desarrollo del programa de actividades. Esto permite que las *CPAs* bajo un *PoA* vayan incrementándose con el paso del tiempo. Además de verse beneficiadas con los *PoAs*, ya que éstos pueden incluirlas individualmente con periodos de crédito independiente de otras *CPAs*. La posibilidad que los *PoAs* ofrecen para implementar *CPAs* en diferentes países les permite a los desarrolladores de proyectos extenderse geográficamente cubriendo así diversos países anfitriones. Gracias a todas estas ventajas que los *PoAs* presentan, cabe mencionar que son una alternativa inteligente y útil para ser puesta en marcha a favor del desarrollo sustentable con claras reducciones de emisiones de *GEI* en los países participantes.

### **2.5.4.3 Mercado Voluntario de Carbono**

El denominado “mercado voluntario de carbono” comprende todas las transacciones de créditos de carbono que no están bajo un reglamento referente al cumplimiento de metas de reducción de emisiones. Esto incluye tanto las transacciones de créditos creados especialmente para *los mercados voluntarios (las llamadas VERs – Verified Emission Reductions)* como las operaciones en las que se venden *créditos de los mercados regulados (como los CERs del MDL)* a compradores voluntarios. El Mercado Voluntario de Bonos de Carbono aún no se ha expandido como los mercados regulados bajo el protocolo de Kioto. Sin embargo, se está extendiendo rápidamente, especialmente en los Estados Unidos.

Hasta el año 2010, las transacciones realizadas en el Mercado Voluntario de Carbono podían ser divididas principalmente en dos segmentos: las efectuadas en el marco del *Chicago Climate Exchange (CCX)*, el principal programa norteamericano de reducción de emisiones, y las transacciones realizadas *“over the counter” (OTC)*, es decir, las operaciones directas efectuadas entre dos partes mediante un intermediario financiero. En el año 2011, un 80% de todas transacciones en los mercados de carbono fue negociado por compradores voluntarios.

#### **2.5.4.3.1 Desarrollo del Mercado**

Ese mismo año, el mercado voluntario tenía un volumen de 79 millones de toneladas de Co<sub>2</sub>e (Millones de toneladas métricas de equivalente de dióxido de carbono) que representa un incremento de 14% con respecto al año anterior.

En cuanto al valor total del mercado, éste ha crecido un 35% al alcanzar \$573 millones, puesto que el precio promedio de un bono voluntario ha aumentado de \$6 a \$7.3 por tonelada.

El precio varió mucho según el estándar del certificado, la ubicación y la tecnología utilizada. En 2011 el valor total del mercado voluntario es el segundo valor más alto jamás documentado, involucrando nuevos países, tipos de proyectos y compradores. En el mercado global, se ha previsto un crecimiento del 70% para el 2012, con un volumen esperado de 227 millones de toneladas de Co<sub>2</sub>e, que representa 132 millones de toneladas más que en

2011. Los gráficos siguientes muestran Las cifras del mercado voluntario en comparación con el mercado regulado de 2010 a 2011 y la evolución del volumen pronosticado hasta 2020 por los proveedores en el mercado.

**Tabla N° 3 Tipos de Mercados**

MERCADOS	VOLUMEN (MtCO <sub>2</sub> e)		VALOR (Millones de \$)	
	2010	2011	2010	2011
Mercado Voluntario OTC	128	93	422	572
Chicago Climate Exchange (CCx)	2	–	0.2	–
Otros Mercados	2	2	11	4
<b>TOTAL MERCADO VOLUNTARIO</b>	<b>133</b>	<b>95</b>	<b>433</b>	<b>576</b>
Total Mercado Regulado	8.702	10.094	158.777	175.451
Total Mercado Global	8.835	10.189	159.21	176.027

*Fuente: ecosystems marketplace and bloomberg new energy finance*

#### 2.5.4.3.2 Estándares y Precios

La mayoría de los bonos se comercia bajo de un estándar externo. Han emergido varios estándares según el tipo de proyecto y la región mundial. 75% de las transacciones totales corresponde a bonos bajo los 5 estándares más comunes. El más implementado es el *Verified Carbon Standard (VCS)*, seguido por el *Climate Action Reserve (CAR)*.

El *VCS* es el estándar más común a nivel mundial y fue introducido para estandarizar y mejorar la credibilidad del mercado voluntario al crear créditos estandarizados creíbles y comerciables. Además, para evitar certificaciones dobles, dispone de una base de datos para todos sus proyectos. El *VCS* acepta las metodologías de la “*Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*”

UNFCCC para el MDL, las de la Reserva de Acción Climática (Climate Action Reserve, CAR) y las metodologías especialmente aprobadas por el VCS tras un proceso de doble aprobación. Las metodologías garantizan que haya una permanencia de la reducción obtenida por un cierto proyecto.

El *Cimate Action Reserve (CAR)* es un programa norteamericano dedicado a asegurar la integridad, transparencia y valor financiero del mercado de carbono en los Estados Unidos. Por el momento, sólo es aplicable a ciertos proyectos en áreas específicas. El registro en este estándar funciona tras una aplicación online y la verificación

Por parte de una entidad independiente y acreditada. Por lo demás, existen otros estándares extras que buscan asegurar la credibilidad de los bonos.

*Gold Standard (GS)*, una fundación sin fines de lucro que tiene como objetivo garantizar la calidad de los bonos de carbono en cuanto a las tres dimensiones del desarrollo sostenible, es decir, se preocupa de proyectos que adicionalmente consideren el impacto económico, social y medioambiental que ocasionarían con su implementación. Todos los proyectos presentados para una posterior certificación deben coincidir con las reglas de la *CMNUCC* para el *Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)* o el *Mecanismo de Implementación Conjunta (IC)*. Para el registro de los proyectos se debe utilizar ya sea una metodología aprobada por la Junta Ejecutiva del *MDL* o bien una *metodología "GS VER"*. Dentro de los estándares más comunes, los bonos de *Gold Standard* es el que suele conseguir los precios más altos.

Es importante mencionar que dentro del Mercado Voluntario los compradores exigen cada vez más que los proyectos no solamente compensen emisiones, sino que también tengan beneficios adicionales sociales o medioambientales, los cuales no son medidos por los estándares de *CAR* o *VCR*. Estos beneficios adicionales están medidos dentro de estándares adicionales (como Social Carbón), y señalados adicionalmente al certificado de carbono estandarizado. Bonos con beneficios adicionales (sociales, medioambientales y locales) han sido vendidos a un precio mayor. Por otro lado, existen estándares domésticos que constituyen un 7% de las transacciones en el mercado. Estos suelen ser los que venden a los precios más altos, dado que muchas veces están localizados también en países más desarrollados con un nivel de costos más alto. Los estándares internacionales suelen conseguir precios promedios (*\$4 - \$6/MtCO2e*).

En los siguientes gráficos se pueden apreciar los distintos precios por tonelada de *Co2e* y el volumen total de certificados por los distintos estándares voluntarios aplicados.

### 2.5.4.3.3 Proyectos y sectores

La mayoría de los proyectos del Mercado Voluntario se concentran en el sector de energías renovables con 56 millones de toneladas de *Co2*. Dentro de este sector se vendieron, en general, más certificados de proyectos de energía eólica. El año 2011 empezó muy prometedor para el mercado de bonos de proyectos que impiden *Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques (REDD)*. Sin embargo, sólo un proyecto recibió verificación en ese año, puesto que estos proyectos se enfrentan a dificultades tecnológicas y políticas. De esta manera, su volumen bajó un 60% en 2011 con respecto al año anterior. De todos modos sigue siendo considerado como un tipo de proyecto popular, contribuyendo así notablemente al valor total del mercado.

### 2.5.4.3.4 Oferta por Regiones

La demanda de compradores voluntarios europeos aumentó especialmente en el sector de energías limpias. Por los precios relativamente bajos en este sector, Asia fue el mayor proveedor de bonos en este mercado con un tercio del volumen total. Los inversionistas europeos que pudieron comprar a precios más altos apoyaron proyectos en África y América Latina.

En América Latina, se notó una reducción del volumen y valor del mercado. Los siguientes gráficos muestran el cambio y el nivel de los volúmenes de los bonos comerciados por ubicación de proyectos que emiten bonos de carbono.

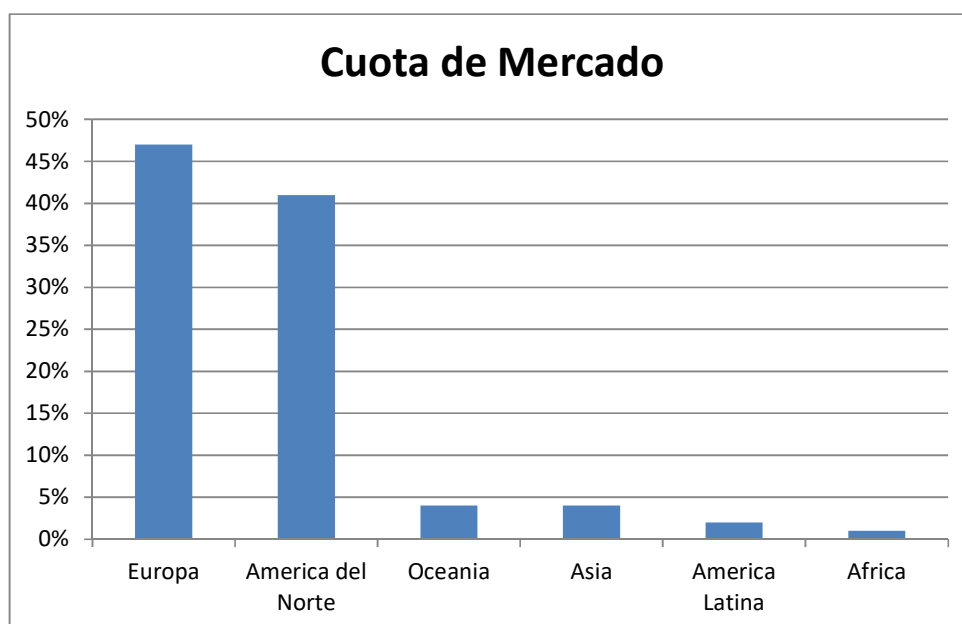
Tabla N° 4 Compradores de Europa

REGIÓN	VOLUMEN (MTCO2E)	VALOR (MILLONES DE \$)	CUOTA DE MERCADO
Europa	33	204	47%
América del Norte	29	159	41%
Oceanía	3	22	4%
Asia	3	47	4%
América Latina	2	23	2%
África	0.9	10	1%

*Fuente: ecosystems marketplace and bloomberg new energy finance*



**Fig N° 5 Compradores de Europa**



*Fuente: ecosystems marketplace and bloomberg new energy finance*

#### **2.5.4.3.5 Compradores**

Casi la mitad de los compradores en el Mercado Voluntario proviene de Europa, quienes en el año 2011 compraron un volumen de **33 MtCO<sub>2</sub>e** por un valor de \$204 millones. El mercado en Alemania llega a **8 MtCO<sub>2</sub>e** por un valor de \$38 millones. El volumen comercializado a países en desarrollo y específicamente a América Latina bajó un 32% en 2011, un 7% de compradores fue localizado en países en desarrollo.

Los sectores que más compran bonos de carbono son el sector de energía, financiero y la industria. Las motivaciones para empresas de comprometerse voluntariamente a la compensación de sus emisiones corresponden principalmente a comunicar su cumplimiento de valores límites de carbono. La mayoría de los compradores voluntarios (90%) son empresas comerciales. Un 40% de estos compradores voluntarios son compradores que tienen como objetivo la reventa o inversión. Solo 4% de compradores voluntarios proviene del sector estatal, de ONGs o compradores individuales. Aunque la reventa y la inversión no son el objetivo del mercado voluntario, ya que existe una carencia de regulaciones en este ámbito, se nota una tendencia creciente de bonos vendidos al público como objetos de inversión. En las siguientes tablas

se pueden observar los volúmenes, valores y cuotas cotizadas en el mercado por región geográfica, así como también los sectores y tipos principales de compradores de bonos de carbono.

**Tabla N° 5 Mercado por Continente**

REGIÓN	SECTOR		MOTIVACIÓN		
Europa	63%	Mercado de Carbono	32%	Reventa	49%
América latina	26%	Comercio Minorista/Mayorista	28%	Responsabilidad Social	27%
América del Norte	7%	Sector Recreativo	11%	Relaciones Publicas	8%

*Fuente: ecosystems marketplace and bloomberg new energy finance*

Frenados por la crisis financiera, muchos proyectos en América Latina se enfrentaron a una reducción de volumen de 58% en comparación con el año anterior, pero como subieron los precios promedios a \$11 por tonelada durante el mismo periodo, el valor del mercado total sólo bajó un 11%. Esto se debió a decisiones políticas, puesto que falta por aclarar el rol de los proyectos en la estrategia **REDD (Programa de Reducción de Emisiones de Carbono causadas por la Deforestación y la Degradación de los Bosques)** de los países. Por lo demás, sigue siendo difícil y costoso el proceso de certificación de proyectos forestales, los cuales se distinguen en el mercado de América Latina con un 70% de todas las transacciones de 2011. La siguiente tabla señala los principales tipos de proyectos, estándares y nivel de validación en América Latina.

#### **2.5.4.4. Evolución de Precios de dos Bonos de Carbono**

Con las consecuencias de la crisis financiera todavía presente en los mercados financieros, el año 2011 fue otro año turbulento para los precios de los bonos de carbono. La inestabilidad de precios de materias primas relacionada a la energía, incluso de los bonos de carbono, se incrementó junto con la anunciación del apagón nuclear de Alemania y Japón después de Fukushima y de la caída de los Estados Unidos en el ranking de riesgo país. Este desequilibrio económico también se vio afectado por la crisis de deuda

externa en Grecia. Todos estos factores repercutieron en los mercados de carbono.

*EU Emission Trading System (EU ETS)* estuvo caracterizado por un exceso de oferta, relacionada con la reducción total de emisiones en la Unión Europea durante la recesión de 2008-09, y por consecuencia, una tendencia de precios bajos sin prever un aumento. Esta tendencia se muestra en los siguientes gráficos:

Sin embargo, como subió el volumen cotizado, el valor del mercado total creció un 11% en 2011. Así surgió la polémica sobre el carácter sustentable del precio para atraer la inversión en bonos de carbono, teniendo como trasfondo la baja de los precios durante una crisis económica. La conferencia COP17 en Durban no pudo conseguir el compromiso de las Partes a una reducción obligatoria de emisiones después del Protocolo de Kioto. De esta manera, la tendencia descendente de precios no pudo ser evitada y produjo otra crisis de precios a principios de 2012. La demanda a largo plazo sólo puede establecerse tras metas más exigentes de los países. Las tendencias de precios de los EUAs en comparación con los CERs se ven reflejadas en el segundo gráfico. Se nota que aunque los CERs tienden a tener precios más bajos, tienen la misma variación que los EUAs. Sin embargo, al mismo tiempo que bajaron los precios, los volúmenes cotizados de bonos subieron en 2011. Esto es un indicio para suponer que la demanda colectiva de certificados de carbono no está afectado solamente por el mercado especulativo, como lo son la cobertura de riesgos, ajustes en el portafolio y arbitraje.

#### **2.5.4.5. Definición de Precios**

Los precios de los *EUAs* se definen mediante la relación entre el costo de ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> (oferta) y el costo del nivel de emisiones de los diversos sectores (demanda).

Los precios de los *CERs* están relacionados con los de los *EUAs*. Sin embargo, los precios tienden a ser más bajos que estos últimos. Debido a esto, las empresas pueden generar liquidez tras un cambio de *EUAs* a *CERs*. Empresas dentro del *EU ETS* pueden compensar sus emisiones con un máximo de 22% de *CERs*.

### 2.5.4.6. Expectativas Futuras

Varias variables influyen en el desarrollo de los precios en los mercados de carbono. Por ejemplo, el crecimiento de la economía, los precios de energía, el volumen total de certificados, los niveles de interés así como las decisiones políticas y el tiempo son determinantes durante la fase inicial de emisión. Los precios del mercado en la segunda fase se definen según el desarrollo de nuevas tecnologías, nuevas industrias, programas estatales del comercio de emisiones y según el desarrollo de otros mercados de CO<sub>2</sub>.

Durante el 2012, se ha producido una fuerte caída en los precios de los **CERs** y **EUAs** en comparación con el año anterior (ver los dos últimos gráficos), Los bonos del Mercado Voluntario también se vieron afectados por este descenso de los precios. Por lo tanto, futuras expectativas prevén una nueva subida en los precios de todos los tipos de bonos. Como la Unión Europea va a reducir un 1.7% el volumen de los **EUAs** en 2013, se anticipa una nueva subida de los precios a partir de este hecho.

De todas formas, los precios de los bonos en el Mercado Voluntario tienden a ser más altos, pero al mismo tiempo, con más variabilidad, dependiendo de la región geográfica y del estándar voluntario empleado.

En esta tabla se presentan los precios promedios para el 2012 según las expectativas de diversos analistas hasta el 2020.

**Tabla N° 6 Costos de Bonos de Carbono**

	<b>EUAs</b>	<b>CERs</b>	<b>VCRs</b>	<b>CARs</b>	<b>Gold Estándar</b>
2012	Noviembre €8.3/tCO <sub>2</sub> e (Bluenext)	Noviembre €1/tCO <sub>2</sub> e (Bluenext)	Promedio \$3.7/tCO <sub>2</sub> e (Ecosystem Marketplace)	Promedio \$8/tCO <sub>2</sub> e (Ecosystem Marketplace)	Promedio €5.5/tCO <sub>2</sub> e (Point Carbón)
2013 - 2020	11.5 €/tCO <sub>2</sub> e (Barclays)	3.3 €/tCO <sub>2</sub> e (Point Carbón)	-	-	-

*Fuente: ecosystems marketplace and bloomberg new energy finance.*

**CAPITULO III**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

### 3.1 Materiales

Para la obtención de biodiesel se requiere los tres componentes principales los cuales son:

- ✓ Aceite.
- ✓ Etanol, alcohol isopropilico o alcohol absoluto.
- ✓ Hidróxido de sodio (NaOH).

### Equipos

- ✓ Analizador de gases.
- ✓ Bomba calorimétrica.
- ✓ Opacímetro.
- ✓ PC.
- ✓ Software EES.

### 3.2 Procedimiento Para la Obtención de Biodiesel

#### PROCEDIMIENTO

**Paso 1:** Medir 1 litro de aceite, Como nuestro aceite es usado, se calentara hasta 100 °C durante unos minutos (secado de aceite) y luego se deja enfriar hasta 45 – 50 °C.



*Fig. N° 16 Aceite Residual.*



*Fig. N° 18 Secado de Aceite Residual.*

**Paso 2:** Como nuestro aceite es usado, se pesa la cantidad de hidróxido de sodio dada por la titulación del aceite, luego se pesan 200 cm<sup>3</sup> de etanol y 3,5g. De NaOH (hidróxido de sodio).



*Fig. N° 19 Etanol*



*Fig. N° 20 Hidroxido de Sodio (NaOH)*

### **TITULACIÓN DEL ACEITE**

Se mezcla en un recipiente de vidrio 1 cm<sup>3</sup> de aceite usado y 10 cm<sup>3</sup> de alcohol isopropilico añadiendo 6 gotas de fenolftaleína.



*Fig. N°21 Pesado del Alcohol Isopropilico*

Con una pipeta graduada se NaOH 0.1% P/V (0.1g de NaOH por cada 100 cm<sup>3</sup> de agua destilada), hasta viraje del color de la fenolftaleína (incolore a rosa).





*Fig. N° 22 Viraje de la Fenolftaleina.*

Para la producción de biodiesel utilizando aceites residuales de frituras, se emplearan lo siguiente.

1g. de NaOH por cada mililitro de solución de NaOH 0.1% P/V más 3.5g de NaOH por litro de aceite.

Para obtener 10 litros de biodiesel se tendría que hacer lo siguiente:

$$3.5g \text{ de NaOH} \times 10L = 35g. \text{ de NaOH} \dots\dots\dots (10)$$

$$\begin{aligned} 3.5g \text{ de NaOH} \times 10L &= 35g. \text{ de NaOH} \\ &= 70g. \text{ de NaOH} \end{aligned}$$

***Entonces para preparar 10 litros de biodiesel se tiene que gastar 70g. de NaOH.***

**Paso 3:** Disolver el hidróxido de sodio (NaOH) en el etanol, lo cual obtenemos metoxido de sodio.



*Fig. N° 23 Metoxido de Oxido.*

**Paso 4:** Calentar el aceite entre 45 – 50 °C y agregar el metoxido de sodio al aceite y agitar por 20 minutos, dejar reposar 6 horas a más.



*Fig. N° 24 Calentamiento de la Mezcla.*

**Paso 5:** Separación de la Glicerina y Biodiesel (Metil Ester), por decantación.



*Fig. N° 25 Separación de la Glicerina y Biodiesel.*

**Tabla N°07 Cuadro de Pruebas Realizadas**

	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA 3</b>	<b>MUESTRA 4</b>	<b>MUESTRA 5</b>	<b>MUESTRA 6</b>	<b>MUESTRA 7</b>
<b><i>CARACTERÍSTICAS</i></b>	Muestra jabonosa glicerol 98% Biodiesel 2%	Muestra jabonosa glicerol 85% Biodiesel 15%	porcentaje de glicerol 70% Biodiesel 30%	porcentaje de glicerol 65% Biodiesel 35%	Muestra jabonosa y porcentaje de glicerol 50% Biodiesel 50%	porcentaje de glicerol 35% Biodiesel 65%	Muestra de tonalidad clara ausencia de jabón y con un porcentaje de glicerol 5% Biodiesel 95%
<b><i>CALIFICACIÓN</i></b>	Desaprueba	Desaprueba	Desaprueba	Desaprueba	Desaprueba	Desaprueba	Aprueba

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N°08 Porcentaje de Mezclas Realizadas**

	<b>BD 20</b>	<b>BD 30</b>	<b>BD 50</b>
<b>Diésel del petróleo</b>	8 Litros	7 Litros	5 Litros
<b>Biodiesel</b>	2 Litros	3 Litros	5 Litros

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Total de aceite de manteca de cerdo usado = 11 Litros**

### 3.3 Métodos

#### 3.3.1 Titulación del Aceite

Mezclar en un recipiente de vidrio 1 cm<sup>3</sup> de aceite usado, 10 cm<sup>3</sup> de alcohol isopropílico y 6 gotas de fenolftaleína.

Con una pipeta graduada se deja caer gota a gota la solución de NaOH 0.1% *porcentaje en volumen (P/V)*, (0.1gr. de NaOH por cada 100 cm<sup>3</sup> de agua destilada), hasta viraje de color de la fenolftaleína (incoloro a rosa). Medir el volumen de NaOH necesario para virar el indicador.

#### 3.3.2 Poder Calorífico

Es la cantidad de calor producida por la combustión completa de un kilogramo de esa sustancia. Tal unidad se mide en *cal/kg* de combustible.

Si la temperatura de los productos finales de combustión es tal que el vapor de agua que se ha formado continúe en ese estado, se obtiene el *poder calorífico inferior del combustible (PCI)*. En cambio, si la temperatura de los productos finales es suficientemente baja como para que aquella se condense, tendremos el *poder calorífico superior del combustible (PCS)*. La diferencia entre ellos será igual el calor desprendido por la condensación del agua, El poder calorífico se mide con la bomba calorimétrica.

#### 3.3.3 Acondicionamiento Para el Aceite y el Alcohol

Se realizó las operaciones de filtrado, desgomado y secado. La operación de filtrado es necesaria debido a que los aceites desechados de frituras contienen inicialmente sólidos suspendidos.

El desgomado tiene por objetivo eliminar sustancias coagulables y separables por hidratación, que son descartadas en forma de una masa gomosa. Estas gomas tales como sales, minerales, proteínas, fosfatos y otros, son la parte que corresponde a la fracción no glicerina de los aceites. Es por esta razón que se emplea agua (de preferencia destilada) en una proporción del 20% del volumen inicial del aceite para la extracción de dichos compuestos. Por último, se realizó el secado donde se eliminó el agua captada por el aceite por medio de la elevación de la temperatura entre 90 y 100 °C a 0,75 atmósferas, por 15 minutos.

Otro requisito importante para producir biodiesel es que el alcohol (insumo) se encuentre con una pureza del 99,5% o mayor, prácticamente libre de agua, para disminuir la posibilidad de formación de jabón. En el caso del etanol de 99,9% de pureza.

### 3.3.4 Analizador De Gases

Es un equipo independiente y compacto para la medición de gases de escape en vehículos de gasolina. Es un Analizador de 5 gases: CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> y NOX (opcional), y coeficiente Lambda. Tiene posibilidad de conectar el módulo TUR II que es un cuentarrevoluciones universal (gasolina y diesel). Todos los valores se pueden visualizar en el monitor, imprimir o archivar en la base de datos.

### 3.3.5 Opacímetro

Es una máquina para la medición de la opacidad de la emisión de humos en vehículos diesel. Permite ajustar el filtrado y la modificación del mismo en función de la normativa. Visualización en tiempo real de los valores en *índice de opacidad N(%)* y en *coeficiencia de absorción luminosa k(m-1)*. Visualización en pantalla de la curva de opacidad.

#### 3.3.5.1 Datos Técnicos Del Analizador de Gases y Opacímetro

##### Cámara de Medición OPAC 5:

- ✓ Características Mecánicas:
  - Dimensiones: Alto: 235 mm.
  - Ancho: 380 mm.
  - Largo: 90 mm.
  - Peso: 4.5 kg.
- ✓ Características Eléctricas:
  - Tensión: 220 V<sub>ac</sub> +10% / -15%.
  - Corriente: 0.78 A.
  - Frecuencia: 50/60 Hz.

- ✓ Comunicaciones:
  - Tipo: RS232 asíncrona.
  - 9600 baudios.
  - 8 bit de datos.
  - 1 bit de parada.
  - Sin bit de paridad.
- ✓ Condiciones ambientales de trabajo:
  - Temperatura: -5 °C , 40 °C
  - Humedad relativa: 0 , 95%
  - Polución: 2% máximo de opacidad.
- ✓ Condiciones de almacenamiento:
  - Temperatura: -32°C , +50°C
  - Precisión: ±2%
  - Resolución: 0.1% en índice de opacidad 0.001 m<sup>-1</sup> en coeficiente de absorción de luz.
- ✓ Óptica:
  - Camino óptico: 617,82 mm.
  - Longitud efectiva: 364 mm.
  - Longitud efectiva para cálculos: 430 mm
  - Longitud de tubo: 174 mm.
  - Diámetro cámara: 20 mm.
  - Diodo de luz verde: 480-680 nm (pico 565 nm)
  - Tiempo de respuesta: 0,92 ms.
- ✓ Normativa: Aparato diseñado según UNE 82503.

### **Software OPAC 5:**

1. Permite ajustar el filtrado y la modificación del mismo en función de la normativa requerida.
2. Permite el filtrado en los siguientes parámetros:
3. Filtrado del coeficiente de absorción luminosa (k(m<sup>1</sup>)).
4. Filtrado del Índice de opacidad (N(%)).
5. Filtrado de los dos parámetros simultáneamente.

6. Visualización en pantalla de la curva de opacidad.
7. Visualización simultanea de la curva de los valores en "**Índice de opacidad**" y en "**Coefficiente de absorción luminosa**".
8. Presentación en pantalla de los resultados de las pruebas en colores para identificar rápidamente las pruebas que no han superado las condiciones requeridas por la normativa.
9. Visualización de las revoluciones y de la temperatura en pantalla en tiempo real, de forma analógica y digital.
10. Presentación de datos en una pantalla de resultados donde se puede imprimir y almacenar la prueba realizada.
11. Posibilidad de recuperar datos almacenados del vehículo.

#### **Equipo De Medida De Revolución Y Temperatura (TUR-II):**

Transmisión de datos vía RS232.

Visualización por display.

#### **Características de medición:**

Permite selección del número de cilindros

Permite selección del número de tiempos del Motor.

Alimentación de 10 a 28 Vdc.

Con la batería del vehículo a analizar.

Con una fuente de alimentación estabilizada.

Consumo 0.5 Adc

Temperatura ambiente de funcionamiento del equipo: De 5°C a 40°C

Dimensiones 200x45x100 mm.

Peso: 0.5 kg.

#### **Características de Temperatura:**

Rango de medida: de 15°C a 200°C

Resolución: 1

Tipo de sonda PT100



**Características De Revoluciones:**

Rango de medida: de 300 a 9990 r.p.m.

Resolución: 10

Tipo de medida: Vibración

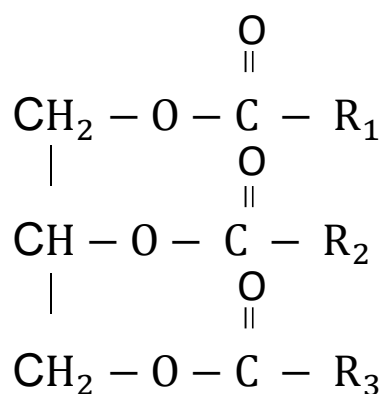


*Fig. N°26 Equipo de Medida de Revolución y Temperatura*

**GLICÉRIDOS:** se dividen artificialmente en grasas y aceites.

La estructura de ambos es la misma, solo que las grasas son sólidas a temperatura ambiente Y los aceites son líquidos.

**FORMULA GENERAL:**



**Fig. N°27 Glicéridos**

**Fuente: Elaboración Propia**

Existe en ellos una distribución al azar de ácidos grasos según la especie vegetal o animal de la que deriven, y predomina un ácido sobre los demás. En los aceites predominan los ácidos grasos no saturados y en las grasas los saturados de más de 18 átomos de carbono.

**Tabla N°09 Acidos Grasos**

ÁCIDOS GRASOS SATURADOS	ÁCIDOS GRASOS NO-SATURADOS
Laurico C12: Laural	Oleico C18: Maní ,oliva
Mirístico C14: Nuez	Linoleico C18: Lino, girasol, maní
Palmítico C16: Coco, Palma	Linolánico C18: linaza
Esteárico C18 : sebo	Ricanoleico C18: Aceite de ricino
Raquídico C20: Maní	
Cerótico C26: Ceras	

**Fuente: Elaboración Propia.**

Las grasas y aceites no son especies químicas, son de esteres del glicerol (triglicéridos) con diferentes ácidos carboxílicos, especialmente de numero par de átomos de carbono “C”, y vienen acompañados por mono y digliceridos y algunos ácidos grasos y alcoholes libres como impurezas.

En los aceites predominan los ácidos grasos no – saturados y en las grasas los saturados.

Aquellos glicéridos que poseen los tres restos ácidos iguales se llaman glicéridos simples (oleína, palmitina, estearina, etc.).

El más abundante es el palmítico y el más ampliamente distribuido es el oleico.

**LEY DE HESS:** La entalpía de un sistema es una función de estado, en consecuencia, el valor de  $\Delta H$  en una reacción no depende del camino seguido para pasar de uno de los estados al otro. German Henri Hess, llegó a la conclusión en 1840, basándose en experimentos, y propuso una regla general llamada **LEY HESS**, que dice que la entalpía de una reacción,  $\Delta H$  es igual, independientemente de si la reacción se efectúa en una o varias etapas.

Se puede calcular la entalpía de reacción las entalpías de varios pasos hipotéticos en los que se puede descomponer la reacción.

**ENTALPIAS DE FORMACIÓN:** la ley de HESS parece indicar que se puede ahorrar mucho trabajo de medición de entalpías de reacción, al escoger las reacciones que se van a medir. La cuestión es ¿Cuál es el mejor conjunto de reacciones que se deben estudiar, para obtener el máximo beneficio con la mínima cantidad de experimentos?

# **CAPITULO IV**

## **CÁLCULOS Y RESULTADOS**

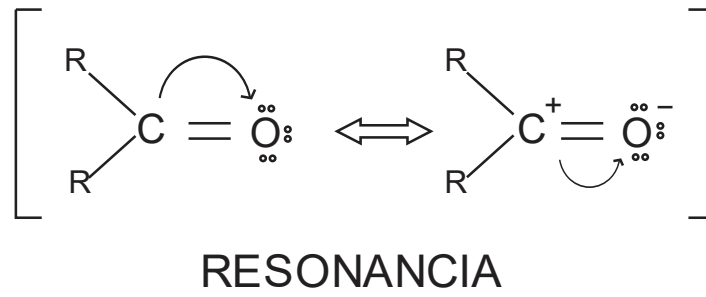
**4.1 Cálculos Para Hallar La Fórmula Del Biodiesel Y El Poder Calorífico  
Mecanismo de Reacción:**

El átomo de carbono del carbonilo esta hibridado  $SP^2$  y enlazado con 3 átomos mediante 3 enlaces  $\sigma$  (sigma), coplanares separados  $120^\circ$  entre si.

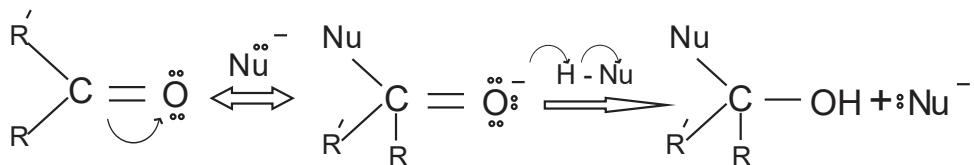
El orbital P se traslada al átomo de oxígeno formando un enlace  $\pi$  (pi)



El oxígeno es más electronegativo que el carbono y los electrones enlazantes no están compartidos por igual.



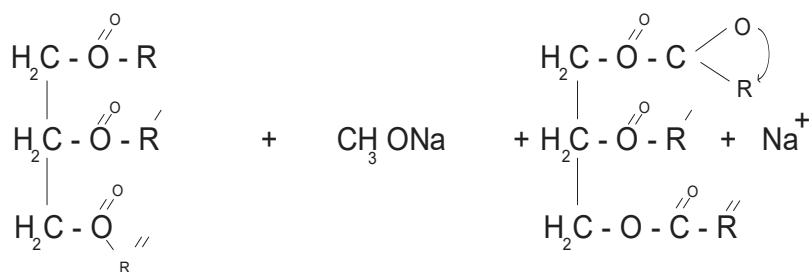
**Adición Nucleofila**



*Fig. N° 28 Mecanismo de Reacción*

*Fuente: Elaboración Propia*

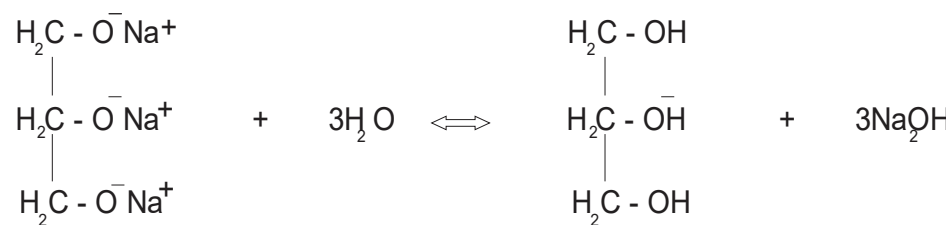
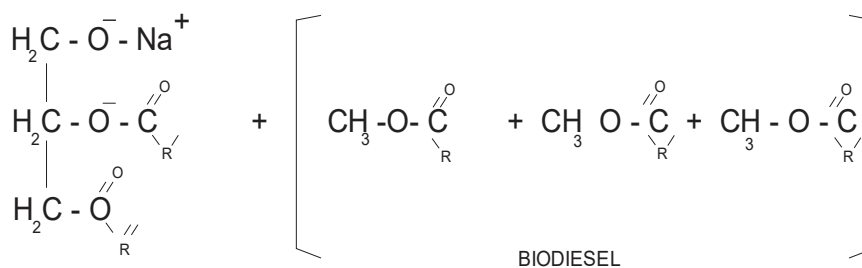
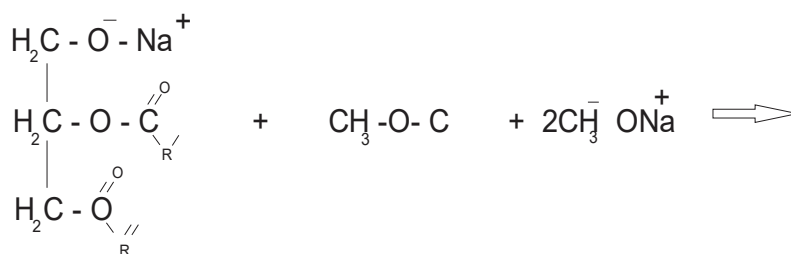
## REACCION ACIDO BASE



TRIGLICERIDO

ETOXIDO DE SODIO

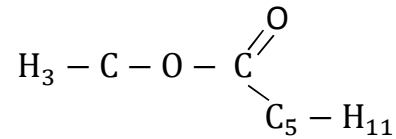
Esta reaccion se repite



**Fig. N° 29** Reacción Acido Base

**Fuente:** Elaboración Propia

**FINALMENTE OBTENEMOS LA FORMULA DEL BODIESEL**



*Fig. N° 30 Formula del Biodiesel*

*Fuente: Elaboración Propia*

**Hallando La Entalpia Del Biodiesel (BD)**

$$C - H: -\frac{415\text{kJ}}{\text{mol}} \times 14 = -5810 \text{ kJ/mol}$$

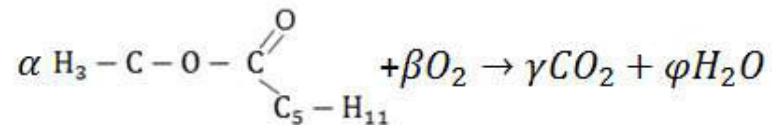
$$C - O: -\frac{360\text{kJ}}{\text{mol}} \times 2 = -720 \text{ kJ/mol}$$

$$C = O: -\frac{745\text{kJ}}{\text{mol}} \times 1 = -745 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$C - C: -\frac{350\text{kJ}}{\text{mol}} \times 5 = -1750 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\boxed{\Sigma H^\circ \text{ biodiesel} = -9025 \text{ kJ/mol}}$$

**BALANCEANDO LA ECUACIÓN DEL BODIESEL CON  
OXIGENO**



$$C: 7 = \gamma$$

$$H: 14\alpha = 2\varphi$$

$$O: 2 + 2\beta = 2\gamma + \varphi \rightarrow 2\beta - \varphi = 12$$

$$\text{Si } \alpha = 1 \rightarrow 2\beta - 7 = 12$$

$$\therefore \beta = \frac{19}{2}$$

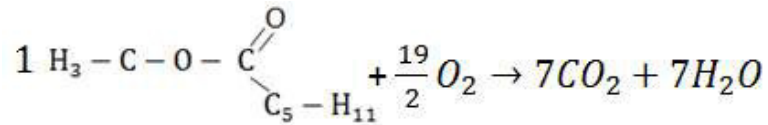


Fig. N° 31 Ecuación del Biodiesel con Oxígeno

Fuente: Elaboración Propia

Hallando la entalpia de lo los reactivos y de los productos del balance del biodiesel:

$$\text{CO}_2: -393,51 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \rightarrow -393,51 \times 7 = -2754,57 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{H}_2\text{O}: -241,82 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \rightarrow -241,82 \times 7 = -1692,74 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\text{CO}_2: 0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \rightarrow 0 \times 7 = 0 \text{ kJ/mol}$$

Entalpia de los Productos:

$$\Sigma H^\circ = -2754,57 + 1692,74 = -4447,31 \text{ kJ/mol}$$

Diferencia de la Entalpia del Biodiesel y el Oxígeno:

$$H^\circ \text{BD} = - \frac{9025 \text{ kJ}}{\text{mol}}$$

$$H^\circ \text{O}_2 = - \frac{0 \text{ kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H^\circ = -9025 - 0 = - \frac{9025 \text{ kJ}}{\text{mol}}$$

Poder calorífico del biodiesel

$$PC_{BD} = -4447,31 - (-9025) = 4577,69 \text{ kJ/mol}$$

Hallando el peso molecular del biodiesel

$$\text{H}: 14 \rightarrow 14 \times 1 = \frac{14 \text{ gr}}{\text{mol}}$$

$$\text{C}: 12 \rightarrow 12 \times 7 = \frac{84 \text{ gr}}{\text{mol}}$$



$$O: 16 \rightarrow 16 \times 2 = \frac{32 \text{ gr}}{\text{mol}}$$

$$\Sigma \text{ PESO MOLECULAR BD} = 130 \text{ gr/mol}$$

$$\text{PC BIODIESEL} = \frac{4577,69 \text{ KJ/mol}}{130 \text{ gr/mol}} = 35,21 \text{ MJ/Kg}$$

## 4.2 Resultados del Ciclo Diésel

$$r_{\text{compresión}} = 20 \quad c_p = 1.0035 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \quad R = 0.287 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$r_{\text{combustion}} = 1.5 \quad c_v = 0.7156 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \quad K = 1.4$$

### Proceso 1-2:

$$T_1 = 310^\circ\text{K}$$

$$P_1 = 100 \text{ KPa}$$

### Proceso 2-3:

$$T_2 = 310(20)^{0.4} = 1027^\circ\text{K}$$

$$P_2 = 100(20)^{1.4} = 6629 \text{ KPa}$$

### Proceso 3-4

$$T_3 = 1027(1.5) = 1541^\circ\text{K}$$

$$P_2 = P_3 = 6629 \text{ KPa}$$

### Proceso 4-1

$$T_4 = 1541 \left(\frac{1.5}{20}\right)^{0.4} = 546.8^\circ\text{K}$$

$$P_4 = 6629 \left(\frac{546.8}{1541}\right)^{1.4/0.4} = 176 \text{ KPa}$$

### Trabajo Neto:

$$W_{\text{NETO}} = Q_{\text{entra}} - Q_{\text{sale}} \dots\dots\dots (11)$$

$$Q_{\text{entra}} = C_p(T_3 - T_2) \dots\dots\dots (12)$$

$$Q_{\text{sale}} = C_v(T_4 - T_1) \dots\dots\dots (13)$$

$$Q_{\text{entra}} = 1.0035(1541 - 1027) = \frac{516 \text{ KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{sale} = 0.7165(546.8 - 310) = 169KJ/Kg$$

$$W_{NETO} = 347 \frac{KJ}{Kg}$$

**Eficiencia del Ciclo:**

$$n_{ciclo} = 1 - \frac{Q_{sale}}{Q_{entra}} \dots \dots \dots (14)$$

$$n_{ciclo} = \left( 1 - \left( \frac{169}{516} \right) \right) \times 100 = 67\%$$

$$n_{ciclo} \approx 67\%$$

### 4.3 Resultados del Ciclo Con el Programa EES

Tabla N° 10 Resultados del Ciclo Diesel

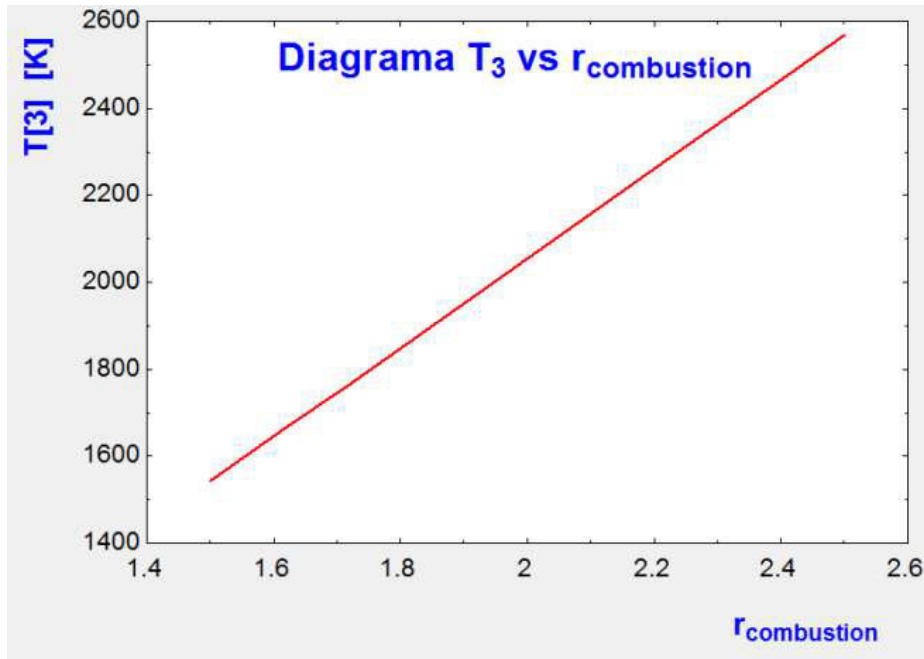
$r_{comp}$	$r_{comb}$	T <sub>1</sub> (°K)	T <sub>2</sub> (°K)	T <sub>3</sub> (°K)	T <sub>4</sub> (°K)	P <sub>1</sub> (kPa)	P <sub>2</sub> (kPa)	P <sub>3</sub> (kPa)	P <sub>4</sub> (kPa)	V <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /Kg)	V <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /Kg)	V <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> /Kg)	V <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /Kg)	Qentra (KW/Kg)	Qsale (KW/Kg)	Wciclo (KW/Kg)	Nciclo (%)
20	1.50	310	1027	1541	547	100	6629	6629	176	1.67	0.08	0.13	1.33	516	170	346	67
20	1.61	310	1027	1655	604	100	6629	6629	195	1.67	0.08	0.13	1.29	630	211	419	67
20	1.72	310	1027	1770	664	100	6629	6629	214	1.67	0.08	0.14	1.26	745	253	491	66
20	1.83	310	1027	1884	724	100	6629	6629	234	1.67	0.08	0.15	1.23	859	297	562	65
20	1.94	310	1027	1998	787	100	6629	6629	254	1.67	0.08	0.16	1.20	974	341	632	65
20	2.06	310	1027	2112	850	100	6629	6629	274	1.67	0.08	0.17	1.18	1088	387	701	64
20	2.17	310	1027	2226	915	100	6629	6629	295	1.67	0.08	0.18	1.16	1203	434	769	64
20	2.28	310	1027	2340	982	100	6629	6629	317	1.67	0.08	0.19	1.14	1317	481	836	63
20	2.39	310	1027	2455	1049	100	6629	6629	338	1.67	0.08	0.20	1.12	1432	530	903	63
20	2.50	310	1027	2569	1118	100	6629	6629	361	1.67	0.08	0.21	1.11	1547	579	968	63

Fuente: Software EES.

En la siguiente tabla se varía la relación de combustión desde 1.5 a 2.5 y se muestra cómo afecta esta en los diferentes parámetros del ciclo tales como los calores entrantes y salientes así como el trabajo del ciclo y el rendimiento en una variación de hasta 4%.

#### 4.4 Variación de la Potencia Suministrada al Motor Respecto al Combustible (VPSMRC)

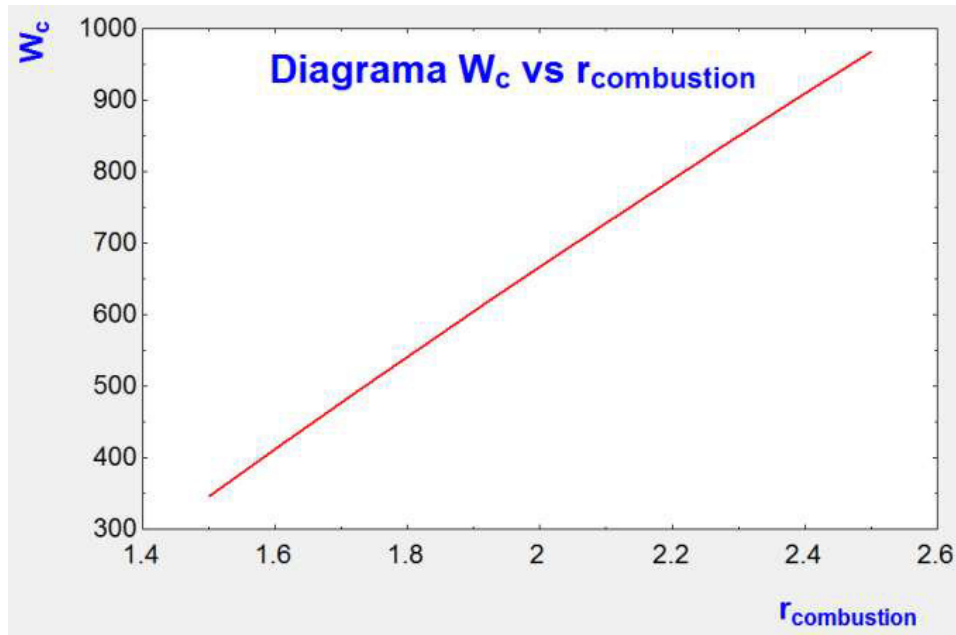
$$\text{VPSMRC} = \left( \frac{1117.6-85}{1117.6} \right) \times 100 = 21.3\% \dots \dots \dots (18)$$



*Fig. N° 31 Diagrama T<sub>3</sub> vs Relación de Combustión.*

*Fuente: Elaboración Propia*

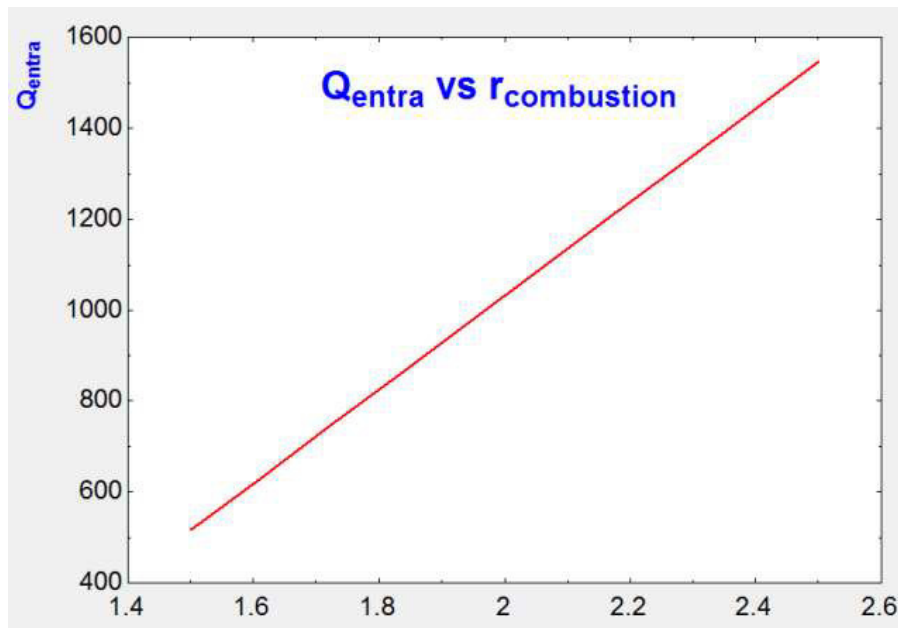
*Este grafico nos muestra como la temperatura 3 del ciclo diésel que es la máxima va elevándose conforme la relación de combustión aumenta esto sucede ya que es directamente proporcional a la relación de combustión.*



**Fig. N° 32 Diagrama Trabajo del Ciclo vs Relación de Combustión.**

**Fuente: Elaboración Propia**

*Este grafico nos muestra como a medida que crece la relación de combustión, el trabajo del ciclo también aumenta esto debido a que su relación es proporcional y esto se debe a que el volumen de la cámara de combustión va aumentando.*



**Fig. N° 33 Calor Entrante vs Relación de Combustión.**

**Fuente: Elaboración Propia**

Este gráfico nos muestra como el calor entrante va creciendo a medida que la relación de combustión va incrementándose esto se debe a que el calor entrante está en función a la máxima temperatura del ciclo que es T3 y como se vio en el gráfico N°15 la temperatura varía a medida que la relación de combustión aumenta y según la formula N°12 afecta al calor entrante.

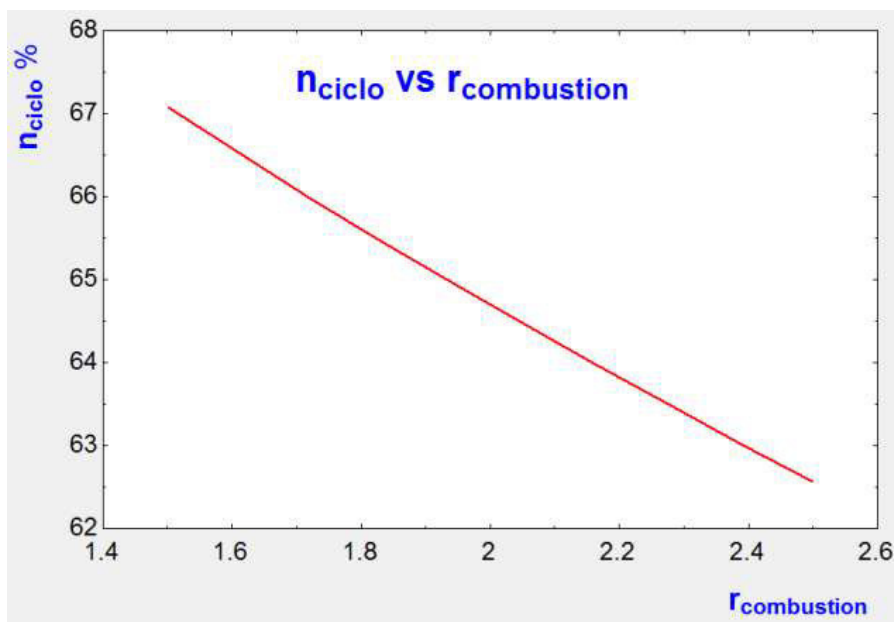


Fig. N° 34 Eficiencia del Ciclo vs Relación de Combustión.

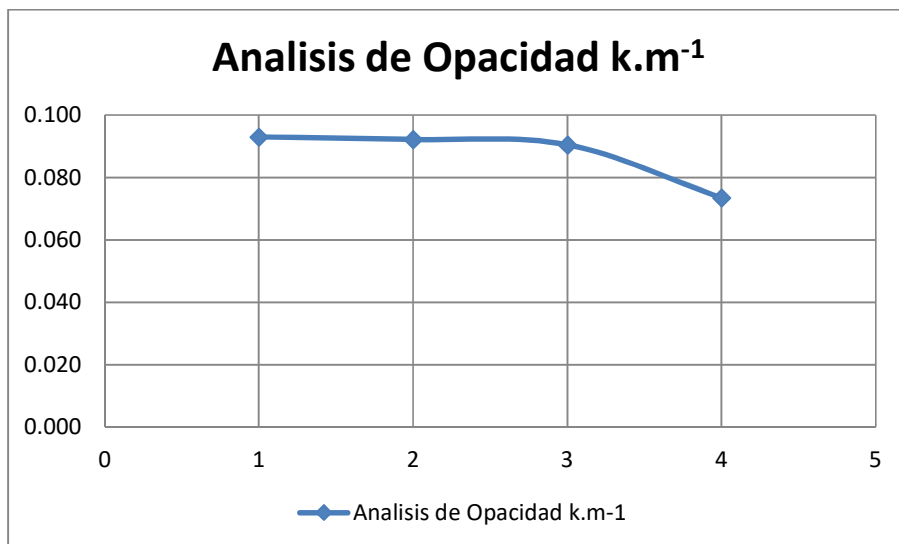
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en este cuadro la eficiencia del motor disminuye con el aumento de relación de combustión quiere decir que es inversamente proporcional y varía desde 62% a 67% cuando se varia la relación de combustión desde 1.5 hasta 2.5

Tabla N° 11 Concentración de Opacidad

ANÁLISIS DE OPACIDAD k.m-1			
BD 5	BD 20	BD 30	BD 50
0.093	0.092	0.091	0.074

Fuente: Revitec.



*Fig. N° 35 Análisis de la Opacidad Hallados con el Opacómetro.*

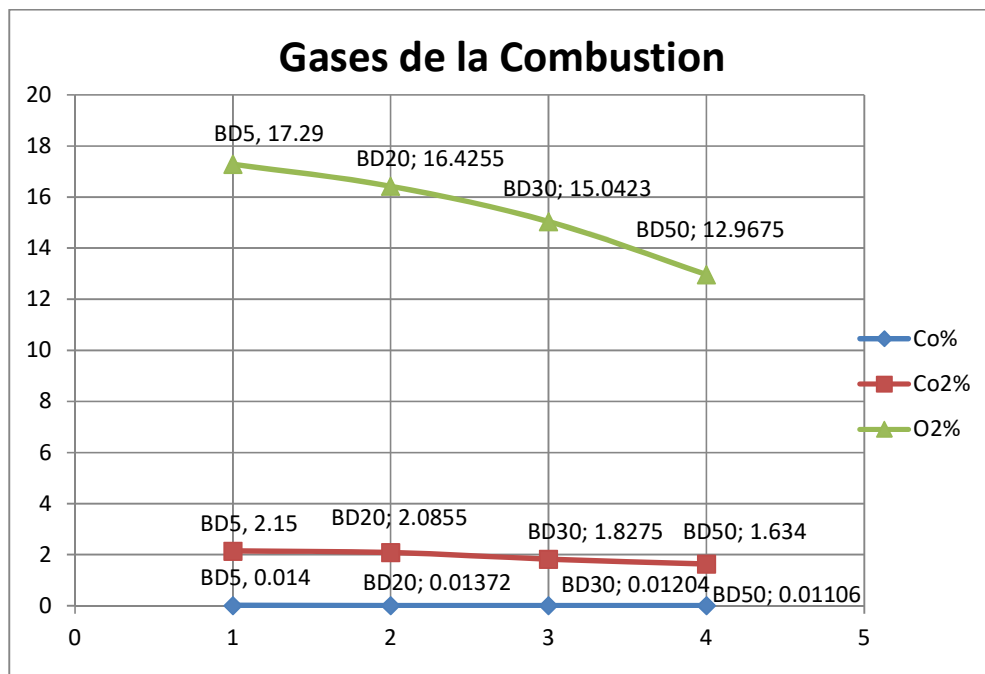
*Fuente: Elaboración Propia*

En la tabla N° 11 y en la FIG. N° 31, se observa que al realizar la prueba de opacidad con las diferentes concentraciones de biodiesel (BD5, BD20, BD30 y BD50). Se pudo determinar que la opacidad producida por cada concentración de biodiesel es de 7.4% para BD50. Se afirma que a mayor porcentaje de biodiesel utilizado la opacidad se reduce.

**Tabla N° 12 Gases Producto de la Combustión**

EMISIONES	BD 5	BD 20	BD 30	BD 50
Co%	0.014	0.01372	0.01204	0.01106
Co <sub>2</sub> %	2.15	2.0855	1.8275	1.634
O <sub>2</sub> %	17.29	16.4255	15.0423	12.9675

*Fuente: Revitec*



**Fig. N° 36 Gases de la Combustión Generados.**

*Fuente: Elaboración Propia*

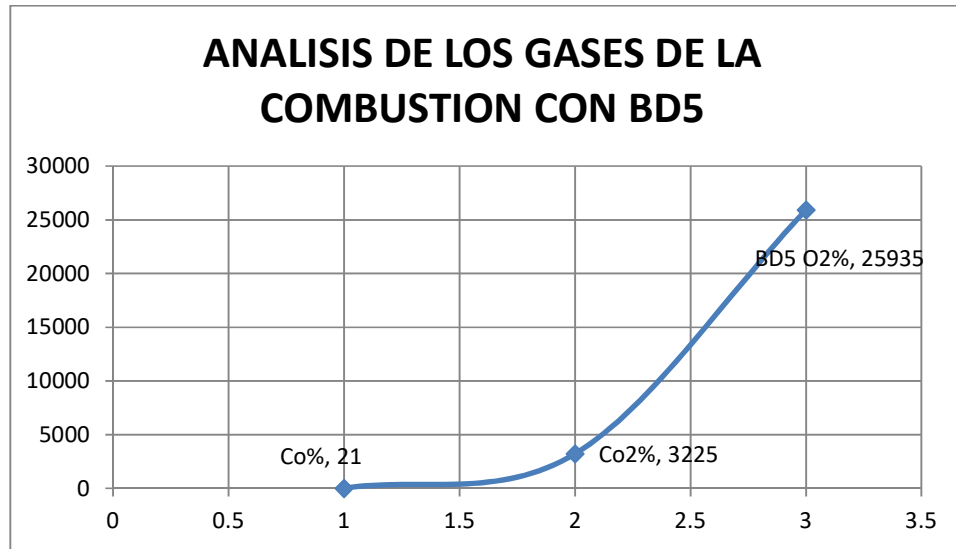
En la tabla N° 12 y en la FIG. N° 32, se observa que la emisión de CO<sub>2</sub> en las concentraciones de BD, es de 51% de Co<sub>2</sub> reducido, en comparación al biodiesel BD 5 y BD 50. Se pudo determinar que a mayor concentración de biodiesel las emisiones de Co<sub>2</sub> disminuyen.

**Tabla N° 13 Gases Productos de la Combustión con BD 5**

ANÁLISIS DE LOS GASES DE LA COMBUSTIÓN CON BD 5		
Co%	Co <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %
21	3225	25935

*Fuente: Revitec*





**Fig. N° 37 Análisis de los Gases de la Combustión con BD5**

**Fuente: Elaboración Propia**

En la tabla N° 13 y en la FIG. N° 33, podemos observar la concentración de los gases productos de la combustión el cual se verifica que el  $CO_2$  emite 3225%, en relación al BD 5.

**Tabla N° 14 Porcentaje de Reducción de Emisiones del Biodiesel respecto al BD 5**

% DE REDUCCIONES DE EMISIONES DE LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN			
EMISIONES	BD 20	BD 30	BD 50
Co%	0.00	14.29	19.05
Co <sub>2</sub> %	3.01	15.01	24.00
O <sub>2</sub> %	5.00	13.00	25.00

**Fuente: Revitec**

En la tabla N° 14, se comprueba que a mayor proporción de biodiesel BD 50 la emisión de  $CO_2$  disminuye en un 24%, respecto a las diferentes proporciones de biodiesel como el BD 20, BD 30. Concluyendo que si el combustible es BD 50 estaríamos reduciendo las emisiones de  $CO_2$ , a su vez el impacto ambiental es menor en comparación al uso de diésel convencional.

#### 4.5 Cálculo de los Bonos De Carbono

Los cálculos de emisiones en vehículos fueron calculados haciendo uso de documentos y fichas técnicas emitidos por la *United States Environmental Protection Agency (EPA)* de *U.S.* Según estos documentos, El combustible diesel tiene un factor de emisión de:

**Emisiones con el diésel DB5:**  $3.224 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{litro}}$

$$3.224 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{litro}} * 5.3 \frac{\text{litros}}{\text{hora}} * 5 \frac{\text{horas}}{\text{días}} * 25 \frac{\text{días}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} * 0.07$$

$$= 1794.156 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{litro}}$$

$$1.794 \frac{\text{TON CO}_2}{\text{año}} * 10 \frac{\text{UU\$}}{\text{TON CO}_2} = 17.94 \frac{\text{UU\$}}{\text{año}}$$

*Fuente: Employee Commuting Spreadsheet*

**CAPITULO V**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

- ✓ Para generar el biodiesel el porcentaje de alcohol es 20 % y aceite es 80%.
- ✓ El combustible analizado es una alternativa para la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, así como para la disminución del grado de dependencia del petróleo.
- ✓ Se realizó las pruebas con las combinaciones DB20 DB30 Y DB50 obteniéndose los resultados mostrados en la tabla N° 14.
- ✓ La eficiencia del motor disminuye respecto al BD 5.
- ✓ En el cuadro de porcentaje de reducción de emisiones respecto al BD 5 se observa que a mayor proporción de biodiesel las emisiones disminuyen hasta un 24% de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- ✓ Se utilizó el método de transesterificación para la obtención de biodiesel ya que este es el más eficiente para obtener biodiesel.
- ✓ Las pruebas de emisiones con el Analizador de gases siempre se hacen a una temperatura de motor de 60°C en ralentí a 750 rpm.
- ✓ Incompatibilidad con materiales. Los ésteres son más agresivos que el gasóleo y pueden atacar el caucho y a los tipos comunes de pinturas.
- ✓ La combustión del biodiesel es en general, más eficaz que en el caso del gasóleo, debido a la presencia de oxígeno en las moléculas del éster metílico. Por tanto, las partículas y CO tienen tendencia a disminuir, mientras que los HC y NOX aumentan ligeramente.

## 5.2 Recomendación

- ✓ Para la obtención del biodiesel, se debe procurar conseguir un alcohol lo más puro posible por encima del 98%.
- ✓ Se debe usar Materiales resistentes a las propiedades corrosivas y disolventes del etanol es decir se debe cambiar mangueras y materiales de caucho que tenga el auto y que estén en contacto con el combustible.
- ✓ Para la obtención de biodiesel el aceite debe estar libre de humedad, en caso de presentar porcentajes de humedad, debe de ser purificado de lo contrario se obtendrá más porcentajes de glicerol en comparación del biodiesel.
- ✓ Para elevar el grado de pureza del alcohol se debe aplicar el método de destilación fraccionada y posteriormente destilarlo con hidróxido de calcio.
- ✓ Al utilizar biodiesel se debe cambiar los filtros para un mejor funcionamiento del motor.

# **CAPITULO VI**

# **BIBLIOGRAFÍA**

1. FELIPA, P. B. (2008). incidencia de la producción de biocombustibles en la agricultura peruana. Perú.
2. GARCÍA, J. D. (mayo de 2007). evaluación de materiales vegetales y residuales oleaginosos para la producción de biodiesel en el salvador. san salvador, el salvador.
3. GÓMEZ, M. U. (2010). simulación de una planta piloto para la producción de biodiesel en el laboratorio de operaciones unitarias de la esique. México D.F.
4. LAMOUREUX, J. H. (agosto de 2007). diseño conceptual de una planta de biodiesel. chile.
5. LUIS CARRASCO VENEGAS, L. C. (2013). química experimental. lima: macro.
6. JD COX Y G. PILCHER (1970). termoquímica de compuestos orgánicos y organometálicos, Nueva York.
7. GEOFF RAYNER CANHAM (2000). Química inorgánica descriptiva.
8. T. W. GRAHAM SOLOMONS (2004). Química orgánica.
9. BAILEY A. (1951). Aceites y grasas industriales. Buenos Aires, Argentina: Editorial Reverte. 2da Edición.
10. COMISIÓN TÉCNICA DE BIOCOMBUSTIBLES. (2004). Informe final: Promoción del mercado de biocombustibles. Lima: CONAM. Mayo de 2004.

# **CAPITULO VII**

## **ANEXOS**





**Fig. N°1 Alcohol Isopropilico**



**Fig. N°2 Etanol Absoluto**



**Fig. N°3 Glicerol (Aceite de Grasa Animal)**



**Fig. N° 4 Preparación del Metoxido de Sodio.**



*Fig. N° 5 Combinación del Metóxido de Sodio con el Aceite (grasa animal), manteniéndolo a 55 °c.*



*Fig. n° 6 Separación del Glicerol y Biodiesel.*





*Fig. n° 7 Opacimetro Histon*



*Fig. N° 8 Prueba de Opacidad*



**Revitec Perú S.A.C.**  
REVITEC PERU - PLANTA R.T.V. NUEVO CHIMBOTE

**Certificado de Prueba de Opacidad**

Tipo de Inspección: Prueba de Opacidad	Fecha de Inspección: 10/01/2014	Nº Certificado: 1-2014
--	---------------------------------	------------------------

**I).- Características del vehículo:**

Titular: COTOS RAMIREZ YOSER ANGEL/COTOS RAMIREZ NEISON JENRY					
Placa:	H1R669	Combustible:	PETROLEO	Asientos/Pasajeros:	005004
Categoría:	M1	VIN / Nº de Serie:	CE1075018881	Largo/Ancho/Alto:	04,27 m / 1,69 m / 1,44 m
Marca:	TOYOTA	Nº de Motor:	3C3903055	Color(es):	BLANCO
Modelo:	COROLLA GL	Carrocería:	SEDAN	Peso Neto (Kg):	1110
Año de Fabricación:	2001	Marca de Carrocería:	TOYOTA	Peso Bruto (Kg):	1855
Kilometraje:	534089	Nº Ejes/ Nº Ruedas:	02/04	Peso Útil (Kg):	745

**II).- Datos del equipo (Opacímetro):**

C.I.T.V.	Línea	Máquina	Marca	Modelo	Nº de Serie
1002	3	OPACIMETRO	HISTRON	OPAC5	OPACF00033

**III).- Resultados obtenidos en opacímetro:**

Placa:	H1R669
Turbo:	NO

Medición	Valor K (m <sup>-1</sup> )	Tem. de Aceite °C
01	0,080	77
02	0,056	77
03	0,119	77
04	0,117	77
Valor (K): Media Aritmética:		0,000 (m <sup>-1</sup> )
		0,093

**IV).- Valores vigentes:**

Vehículos Menores a Diesel (Ligeros)		
Año de fabricación		Opacidad K(m <sup>-1</sup> )
Antes de 1995		2,1
1996	2012	2,1
2003	En adelante	2,1

**III).- Resultado de la prueba:**

Los resultados obtenidos cumplen con los valores legales vigentes.

Firmado por el ingeniero:

Resultado:	APTO
Vigencia:	6 MESES

Víctor Hugo Felipe Alcalá

\* Los datos consignados en este certificado se considerarán válidos desde el momento de la emisión del mismo. El usuario podrá corregir errores en los mismos de manera GRATUITA en el mismo día natural en que se emita. Para correcciones posteriores, el usuario deberá abonar el pago correspondiente a la emisión de un nuevo certificado y aportar el presente certificado de forma física.

REVITEC PERU - PLANTA R.T.V. NUEVO CHIMBOTE

AV. LA MARINA MZ. G LT. 11

URB. BUENOS AIRES NUEVO CHIMBOTE

rtv@revitecperu.com 315335 - 968215611

CONSTANCIA DEL CERTIFICADO DE LA PRUEBA DE OPACIDAD

## PROGRAMACIÓN DEL CICLO DIESEL EN “ESS”

"Datos"

$$r=20$$

$$\{b=1.5\}$$

$$k=1.4$$

$$A=0.4$$

"Punto 01"

$$P[1]=100[\text{kPa}]$$

$$T[1]=310[\text{K}]$$

$$h[1]=\text{ENTHALPY}(\text{Air}, T=T[1])$$

$$v[1]=\text{VOLUME}(\text{Air}, T=T[1], P=P[1])$$

$$u[1]=\text{INTENERGY}(\text{Air}, T=T[1])$$

$$s[1]=\text{ENTROPY}(\text{Air}, T=T[1], P=P[1])$$

"Punto 02"

$$v[2]=v[1]/r$$

$$T[2]=T[1]*r^A$$

$$h[2]=\text{ENTHALPY}(\text{Air}, T=T[2])$$

$$P[2]=P[1]*r^k$$

"Punto 03"

$$T[3]=T[2]*b$$

$$h[3]=\text{ENTHALPY}(\text{Air}, T=T[3])$$

$$s[3]=\text{ENTROPY}(\text{Air}, T=T[3], v=v[3])$$

$$b=v[3]/v[2]$$

$$P[2]=P[3]$$

"Punto 04"

$$T[4]=T[3]*(b/r)^A$$

$$u[4]=\text{INTENERGY}(\text{Air}, T=T[4])$$

$$P[4]=P[3]/((r/b)^k)$$

$$h[4]=\text{ENTHALPY}(\text{Air}, T=T[4])$$

$$v[4]=\text{VOLUME}(\text{Air},T=T[4],P=P[4])$$

"Trabajo Neto del Ciclo"

$$Q_e=(h[3]-h[2])$$

$$Q_s=(u[4]-u[1])$$

$$W_c=(Q_e-Q_s)$$

"Rendimiento Termico"

$$n_T=(W_c)/Q_e$$

DONDE:

K: Constante politropico del aire.

A: K-1

r: relación de compresión

b: relación de combustión

Tabla n° 15 Entalpías de Combinación de Átomos para varios Compuestos Orgánicos Gaseosos

Nombre	Fórmula	$\Delta H_{ca}^{\circ}$ , kJ/mol <sub>reac</sub> a 298.15 K
Metano	CH <sub>4</sub>	-1662.09
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-2823.94
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)	-3992.9
n-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	-5169.38
Isobutano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	-5177.75
n-Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (g)	-6337.9
n-Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> (g)	-7509.1
Metanol	CH <sub>3</sub> OH(g)	-2037.11
Etanol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH(g)	-3223.53
n-Propanol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH(g)	-4394.2
n-Butanol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH(g)	-5564.5
n-Pentanol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH(g)	-6735.9
Éter dimetílico	CH <sub>3</sub> -O-CH <sub>3</sub> (g)	-3171.3
Éter etil-metílico	CH <sub>3</sub> -O-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> (g)	-4354.6
Éter dietílico	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -O-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> (g)	-5541.4
Éter dipropílico	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> -O-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> (g)	-7883.1
Etileno	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub> (g)	-2251.70
Propeno	CH <sub>3</sub> CH=CH <sub>2</sub> (g)	-3432.6
1-Buteno	CH <sub>2</sub> =CHCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> (g)	-4604.9
1-Penteno	CH <sub>2</sub> =CHCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> (g)	-5777.4
1-Hexeno	CH <sub>2</sub> =CHCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> (g)	-6947.7
1,3-Butadieno	CH <sub>2</sub> =CHCH=CH <sub>2</sub> (g)	-4058.9
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (g)	-5523.07
Tolueno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> (g)	-6690.0
Etilbenceno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> (g)	-7870.3
1,3,5-Trimetilbenceno	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (g)	-9067.2

Fuente: Tomado de J. D. Cox y G. Pilcher, *Thermochemistry of Organic and Organometallic Compounds*, Academic Press, Nueva York, 1970



Tabla N° 16 Entalpías de Formación, de estado estándar

<i>Sustancia</i>	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	<i>Sustancia</i>	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	<i>Sustancia</i>	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )
<b>Aluminio</b>		<b>Bismuto</b>		<b>Carbono, continúa</b>	
Al(s)	0	Bi(s)	0	COCl <sub>2</sub> (g)	-218.8
Al(g)	326.4	Bi(g)	207.1	CH <sub>4</sub> (g)	-74.81
Al <sup>3+</sup> (ac)	-531	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-573.88	HCHO(g)	-108.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1675.7	BiCl <sub>3</sub> (s)	-379.1	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (ac)	-699.65
AlCl <sub>3</sub> (s)	-704.2	BiCl <sub>3</sub> (g)	-265.7	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ac)	691.99
AlF <sub>3</sub> (s)	-1504.1	Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (s)	-143.1	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-677.14
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (s)	-3440.84	<b>Boro</b>		CH <sub>3</sub> OH(l)	-238.66
<b>Antimonio</b>		B(s)	0	CH <sub>3</sub> OH(g)	-200.66
Sb(s)	0	B(g)	562.7	CCl <sub>4</sub> (l)	-135.44
Sb <sub>4</sub> (g)	205.0	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1272.77	CCl <sub>4</sub> (g)	-102.9
Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (s)	-971.9	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	35.6	CHCl <sub>3</sub> (l)	-134.47
Sb <sub>4</sub> O <sub>6</sub> (s)	-1440.6	B <sub>5</sub> O <sub>9</sub> (l)	42.68	CHCl <sub>3</sub> (g)	-103.14
SbH <sub>3</sub> (g)	145.105	B <sub>5</sub> H <sub>9</sub> (g)	73.2	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (l)	-121.46
SbCl <sub>3</sub> (s)	-382.17	B <sub>10</sub> H <sub>14</sub> (s)	-45.2	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (g)	-92.47
SbCl <sub>3</sub> (g)	-313.8	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (s)	-1094.33	CH <sub>3</sub> Cl(g)	-80.84
SbCl <sub>5</sub> (l)	-440.2	BF <sub>3</sub> (g)	-1137.00	CS <sub>2</sub> (l)	89.70
SbCl <sub>5</sub> (g)	-394.3	BCl <sub>3</sub> (l)	-427.2	CS <sub>2</sub> (g)	117.36
Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (s)	-174.9	B <sub>3</sub> N <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (l)	-541.00	HCN(g)	135.1
<b>Arsénico</b>		B <sub>3</sub> N <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (g)	-511.75	CH <sub>3</sub> NO <sub>2</sub> (l)	-113.09
As(s)	0	<b>Bromo</b>		C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)	226.73
As <sub>4</sub> (g)	143.9	Br <sub>2</sub> (l)	0	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	52.26
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (s)	-924.87	Br <sub>2</sub> (g)	30.907	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-84.68
As <sub>4</sub> O <sub>6</sub> (s)	-1313.94	Br(g)	111.884	CH <sub>3</sub> CHO(l)	-192.30
AsH <sub>3</sub> (g)	66.44	HBr(g)	-36.40	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> H(l)	-484.5
AsF <sub>3</sub> (g)	-785.76	HBr(ac)	-121.55	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> H(g)	-432.25
AsCl <sub>3</sub> (g)	-261.5	BrF(g)	-93.85	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> H(ac)	-485.76
AsBr <sub>3</sub> (g)	-130	BrF <sub>3</sub> (g)	-255.60	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (ac)	-486.01
As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (s)	-169	BrF <sub>5</sub> (g)	-428.9	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH(l)	-277.69
<b>Bario</b>		<b>Calcio</b>		CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH(g)	-235.10
Ba(s)	0	Ca(s)	0	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH(ac)	-288.3
Ba(g)	180	Ca(g)	178.2	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (l)	49.028
Ba <sup>2+</sup> (ac)	-537.64	Ca <sup>2+</sup> (ac)	-542.83	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (g)	82.927
BaO(s)	-553.5	CaO(s)	-635.09	<b>Cloro</b>	
Ba(OH) <sub>2</sub>	-3342.2	Ca(OH) <sub>2</sub> (s)	-986.09	Cl <sub>2</sub> (g)	0
·8 H <sub>2</sub> O(s)		CaCl <sub>2</sub> (s)	-795.8	Cl(g)	121.679
BaCl <sub>2</sub> (s)	-858.6	CaSO <sub>4</sub> (s)	-1434.11	Cl <sup>-</sup> (ac)	-167.159
BaCl <sub>2</sub> (ac)	-871.95	CaSO <sub>4</sub> ·2 H <sub>2</sub> O(s)	-2022.63	ClO <sub>2</sub> (g)	102.5
BaSO <sub>4</sub> (s)	-1473.2	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (s)	-938.39	Cl <sub>2</sub> O(g)	80.3
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (s)	-992.07	CaCO <sub>3</sub> (s)	-1206.92	Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (g)	238
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (ac)	-952.36	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (s)	-4120.8	HCl(g)	-92.307
<b>Berilio</b>		<b>Carbono</b>		HCl(ac)	-197.159
Be(s)	0	C(s, grafito)	0	ClF(g)	-54.48
Be(g)	324.3	C(s, diamante)	1.895	<b>Cromo</b>	
Be <sup>2+</sup> (ac)	-382.8	C(g)	716.682	Cr(s)	0
BeO(s)	-609.6	CO(g)	-110.525	Cr(g)	396.6
BeCl <sub>2</sub> (s)	-490.4	CO <sub>2</sub> (g)	-393.509	CrO <sub>3</sub> (s)	-589.5
				CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-881.15
				Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1139.7

Sustancia	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol <sub>rac</sub> )	Sustancia	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol <sub>rac</sub> )	Sustancia	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol <sub>rac</sub> )
<b>Cromo, continúa</b>		<b>Yodo, continúa</b>		<b>Magnesio, continúa</b>	
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-1490.3	IF <sub>5</sub> (g)	-822.49	Mg <sup>2+</sup> (ac)	-466.85
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (s)	-1806.7	IF <sub>7</sub> (g)	-943.9	MgO(s)	-601.70
PbCrO <sub>4</sub> (s)	-930.9	ICl(g)	17.78	MgH <sub>2</sub> (s)	-75.3
<b>Cobalto</b>		IBr(g)	40.84	Mg(OH) <sub>2</sub> (s)	-924.54
Co(s)	0	<b>Hierro</b>		MgCl <sub>2</sub> (s)	-641.32
Co(g)	424.7	Fe(s)	0	MgCO <sub>3</sub> (s)	-1095.8
Co <sup>2+</sup> (ac)	-58.2	Fe(g)	416.3	MgSO <sub>4</sub> (s)	-1284.9
Co <sup>3+</sup> (ac)	92	Fe <sup>2+</sup> (ac)	-89.1	<b>Manganeso</b>	
CoO(s)	-237.94	Fe <sup>3+</sup> (ac)	-48.5	Mn(s)	0
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (s)	-891	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-824.2	Mn(g)	280.7
Co(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> <sup>3+</sup> (ac)	-584.9	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (s)	-1118.4	Mn <sup>2+</sup> (ac)	-220.75
<b>Cobre</b>		Fe(OH) <sub>2</sub> (s)	-569.0	MnO(s)	-385.22
Cu(s)	0	Fe(OH) <sub>3</sub> (s)	-823.0	MnO <sub>2</sub> (s)	-520.03
Cu(g)	338.32	FeCl <sub>3</sub> (s)	-399.49	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-959.0
Cu <sup>+</sup> (ac)	71.67	FeS <sub>2</sub> (s)	-178.2	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (s)	-1387.8
Cu <sup>2+</sup> (ac)	64.77	Fe(CO) <sub>5</sub> (l)	-774.0	KMnO <sub>4</sub> (s)	-837.2
CuO(s)	-157.3	Fe(CO) <sub>5</sub> (g)	-733.9	MnS	-214.2
Cu <sub>2</sub> O(s)	-168.6	<b>Plomo</b>		<b>Mercurio</b>	
CuCl <sub>2</sub> (s)	-220.1	Pb(s)	0	Hg(l)	0
CuS(s)	-53.1	Pb(g)	195.0	Hg(g)	61.317
Cu <sub>2</sub> S(s)	-79.5	Pb <sup>2+</sup> (ac)	-1.7	Hg <sup>2+</sup> (ac)	171.1
CuSO <sub>4</sub> (s)	-771.36	PbO(s)	-217.32	HgO(s)	-90.83
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup> (ac)	-348.5	PbO <sub>2</sub> (s)	-277.4	HgCl <sub>2</sub> (s)	-224.3
<b>Flúor</b>		PbCl <sub>2</sub> (s)	-359.41	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (s)	-265.22
F <sub>2</sub> (g)	0	PbCl <sub>4</sub> (l)	-329.3	HgS(s)	-58.2
F(g)	78.99	PbS(s)	-100.4	<b>Nitrógeno</b>	
F <sup>-</sup> (ac)	-332.63	PbSO <sub>4</sub> (s)	-919.94	N <sub>2</sub> (g)	0
HF(g)	-271.1	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (s)	-451.9	N(g)	472.704
HF(ac)	-320.08	PbCO <sub>3</sub> (s)	-699.1	NO(g)	90.25
<b>Hidrógeno</b>		<b>Litio</b>		NO <sub>2</sub> (g)	33.18
H <sub>2</sub> (g)	0	Li(s)	0	N <sub>2</sub> O(g)	82.05
H(g)	217.65	Li(g)	159.37	N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g)	83.72
H <sup>+</sup> (ac)	0	Li <sup>+</sup> (ac)	-278.49	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (g)	9.16
OH <sup>-</sup> (ac)	-229.994	LiH(s)	-90.54	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g)	11.35
H <sub>2</sub> O(l)	-285.830	LiOH(s)	-484.93	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ac)	-205.0
H <sub>2</sub> O(g)	-241.818	LiF(s)	-615.97	NOCl(g)	51.71
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (l)	-187.78	LiCl(s)	-408.61	NO <sub>2</sub> Cl(g)	12.6
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ac)	-191.17	LiBr(s)	-351.23	HNO <sub>2</sub> (ac)	-119.2
<b>Yodo</b>		LiI(s)	-270.41	HNO <sub>3</sub> (g)	-135.06
I <sub>2</sub> (s)	0	LiAlH <sub>4</sub> (s)	-116.3	HNO <sub>3</sub> (ac)	-207.36
I <sub>2</sub> (g)	62.438	LiBH <sub>4</sub> (s)	190.8	NH <sub>3</sub> (g)	-46.11
I(g)	106.838	<b>Magnesio</b>		NH <sub>3</sub> (ac)	-80.29
HI(g)	26.48	Mg(s)	0	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (ac)	-132.51
IF(g)	-95.65	Mg(g)	147.70	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (s)	-365.56
				NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (ac)	-339.87
				NH <sub>4</sub> Cl(s)	-314.43

<i>Sustancia</i>	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	<i>Sustancia</i>	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	<i>Sustancia</i>	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )
<b>Nitrógeno, continúa</b>		<b>Silicio, continúa</b>		<b>Azufre, continúa</b>	
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (l)	50.63	SiCl <sub>4</sub> (l)	-687.0	SO <sub>3</sub> (g)	-395.72
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	95.40	SiCl <sub>4</sub> (g)	-657.01	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-909.27
HN <sub>3</sub> (g)	294.1			SOCl <sub>2</sub> (g)	-212.5
				SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (g)	-364.0
<b>Oxígeno</b>		<b>Plata</b>		H <sub>2</sub> S(g)	-20.63
O <sub>2</sub> (g)	0	Ag(s)	0	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> (ac)	-608.81
O(g)	249.170	Ag(g)	284.55	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ac)	-909.27
O <sub>3</sub> (g)	142.7	Ag <sup>+</sup> (ac)	105.579	SF <sub>4</sub> (g)	-774.9
		Ag(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>+</sup> (ac)	-111.29	SF <sub>6</sub> (g)	-1209
		Ag <sub>2</sub> O(s)	-31.05	SCN <sup>-</sup> (ac)	76.44
<b>Fósforo</b>		AgCl(s)	-127.068		
P(blanco)	0	AgBr(s)	-100.37		
P <sub>4</sub> (g)	58.91	AgI(s)	-61.84	<b>Estaño</b>	
P <sub>2</sub> (g)	144.3			Sn(s)	0
P(g)	314.64	<b>Sodio</b>		Sn(g)	302.1
PH <sub>3</sub> (g)	5.4	Na(s)	0	SnO(s)	-285.8
P <sub>4</sub> O <sub>6</sub> (s)	-1640.1	Na(g)	107.32	SnO <sub>2</sub> (s)	-580.7
P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (s)	-2984.0	Na <sup>+</sup> (ac)	-240.13	SnCl <sub>2</sub> (s)	-325.1
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ac)	-1277.4	NaH(s)	-56.275	SnCl <sub>4</sub> (l)	-511.3
PF <sub>3</sub> (g)	-918.8	NaOH(s)	-425.609	SnCl <sub>4</sub> (g)	-471.5
PF <sub>5</sub> (g)	-1595.8	NaOH(ac)	-470.114		
PCl <sub>3</sub> (l)	-319.7	NaCl(s)	-411.153	<b>Titanio</b>	
PCl <sub>3</sub> (g)	-287.0	NaCl(g)	-176.65	Ti(s)	0
PCl <sub>5</sub> (g)	-374.9	NaCl(ac)	-407.27	Ti(g)	469.9
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (s)	-1279.0	NaNO <sub>3</sub> (s)	-467.85	TiO(s)	-519.7
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (ac)	-1277.4	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (s)	-1917.40	TiO <sub>2</sub> (s, rutilio)	-944.8
		Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> (s)	-1123.0	TiCl <sub>4</sub> (l)	-804.2
<b>Potasio</b>		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s)	-1387.08	TiCl <sub>4</sub> (g)	-763.2
K(s)	0	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (s)	-1130.68		
K(g)	89.24	NaHCO <sub>3</sub> (s)	-950.81	<b>Tungsteno</b>	
K <sup>+</sup> (ac)	-252.38	NaC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	-708.81	W(s)	0
KOH(s)	-424.764	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> (s)	-1342.2	W(g)	849.4
KCl(s)	-436.747	Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (s)	-1978.6	WO <sub>3</sub> (s)	-842.87
KNO <sub>3</sub> (s)	-494.63				
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (s)	-2061.5	<b>Azufre</b>			
KMnO <sub>4</sub> (s)	-837.2	S <sub>8</sub> (s)	0	<b>Cinc</b>	
		S <sub>8</sub> (g)	102.30	Zn(s)	0
<b>Silicio</b>		S(g)	278.805	Zn(g)	130.729
Si(s)	0	S <sup>2-</sup> (ac)	33.1	Zn <sup>2+</sup> (ac)	-153.89
Si(g)	455.6	SO <sub>2</sub> (g)	-296.830	ZnO(s)	-348.28
SiO <sub>2</sub> (g)	-910.94	SO <sub>3</sub> (s)	-454.51	ZnCl <sub>2</sub> (s)	-415.05
SiH <sub>4</sub> (g)	34.3	SO <sub>3</sub> (l)	-441.04	ZnS(s)	-205.98
SiF <sub>4</sub> (g)	-1614.94			ZnSO <sub>4</sub> (s)	-982.8

Tabla N° 17 Entalpías de Disociación de Enlace

<i>Entalpías de disociación de enlace sencillo (kJ/mol)</i>													
	<i>As</i>	<i>B</i>	<i>Br</i>	<i>C</i>	<i>Cl</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Si</i>
<b>As</b>	180		255	200	310	485	300	180		330			
<b>B</b>		300	370		445	645		270		525			
<b>Br</b>			195	270	220	240	370	180	250		270	215	330
<b>C</b>				350	330	490	415	210	305	360	265	270	305
<b>Cl</b>					240	250	431	210	190	205	330	270	400
<b>F</b>						160	569		280	215	500	325	600
<b>H</b>							435	300	390	464	325	370	320
<b>I</b>								150		200	180		230
<b>N</b>									160	165			330
<b>O</b>										140	370	423	464
<b>P</b>											210		
<b>S</b>												260	
<b>Si</b>													225

<b>Entalpías de disociación de enlace doble y triple (kJ/mol)</b>			
<b>C=C</b>	611	<b>C=S</b>	477
<b>C≡C</b>	837	<b>N=N</b>	418
<b>C=O</b>	745	<b>N≡N</b>	946
<b>C=O</b>	1075	<b>N=O</b>	594
<b>C=N</b>	615	<b>O=O</b>	498
<b>C≡N</b>	891	<b>S=O</b>	523

Tabla N° 18 Entalpías, energías libres y entropías de estado estándar de  
Combinación de átomos, 298.15 k

<i>Sustancia</i>	$\Delta H_{ca}^{\circ}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta G_{ca}^{\circ}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta S_{ca}^{\circ}$ (J/mol <sub>reac</sub> ·K)
<b>Aluminio</b>			
Al(s)	-326.4	-285.7	-136.21
Al(g)	0	0	0
Al <sup>3+</sup> (ac)	-857	-771	-486.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-3076.0	-2848.9	-761.33
AlCl <sub>3</sub> (s)	-1395.6	-1231.5	-549.46
AlF <sub>3</sub> (s)	-2067.5	-1896.4	-574.36
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (s)	-7920.1	-7166.9	-2525.9
<b>Azufre</b>			
S <sub>8</sub> (s)	-2230.440	-1906.00	-1310.77
S <sub>8</sub> (g)	-2128.14	-1856.37	-911.59
S(g)	0	0	0
S <sup>2-</sup> (ac)	-245.7	-152.4	-182.4
SO <sub>2</sub> (g)	-1073.95	-1001.906	-241.71
SO <sub>3</sub> (s)	-1480.82	-1307.65	-580.3
SO <sub>3</sub> (l)	-1467.36	-1307.19	-537.2
SO <sub>3</sub> (g)	-1422.04	-1304.50	-394.23
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-2184.76	-1909.70	-791.9
SOCl <sub>2</sub> (g)	-983.8	-879.6	-349.50
SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (g)	-1384.5	-1233.1	-508.39
H <sub>2</sub> S(g)	-734.74	-678.30	-191.46
H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> (ac)	-2070.43	-1877.75	-648.2
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ac)	-2620.06	-2316.20	-1021.4
SF <sub>4</sub> (g)	-1369.66	-1217.2	-510.81
SF <sub>6</sub> (g)	-1962	-1715.0	-828.53
SCN <sup>-</sup> (ac)	-1391.75	-1272.43	-334.9
<b>Bario</b>			
Ba(s)	-180	-146	-107.4
Ba(g)	0	0	0
Ba <sup>2+</sup> (ac)	-718	-707	-160.6
BaO(s)	-983	-903	-260.88
Ba(OH) <sub>2</sub> ·8 H <sub>2</sub> O(s)	-9931.6	-8915	-3419
BaCl <sub>2</sub> (s)	-1282	-1168	-376.96
BaCl <sub>2</sub> (ac)	-1295	-1181	-378.04
BaSO <sub>4</sub> (s)	-2929	-2673	-850.1
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (s)	-3612	-3217	-1229.4
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (ac)	-3573	-3231	-1140.7
<b>Berilio</b>			
Be(s)	-324.3	-286.6	-126.77
Be(g)	0	0	0
Be <sup>2+</sup> (ac)	-707.1	-666.3	-266.0
BeO(s)	-1183.1	-1026.6	-283.18
BeCl <sub>2</sub> (s)	-1058.1	-943.6	-383.99

(continúa)

Sustancia	$\Delta H_{\text{reac}}^{\circ}$ (kJ/mol)	$\Delta G_{\text{reac}}^{\circ}$ (kJ/mol)	$\Delta S_{\text{reac}}^{\circ}$ (J/mol·K)
<b>Bismuto</b>			
Bi(s)	-207.1	-168.2	-130.31
Bi(g)	0	0	0
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1735.6	-1525.3	-705.8
BiCl <sub>3</sub> (s)	-951.2	-800.2	-505.6
BiCl <sub>3</sub> (g)	-837.8	-741.2	-323.79
Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (s)	-1393.7	-1191.8	-677.2
<b>Boro</b>			
B(s)	-562.7	-518.8	-147.59
B(g)	0	0	0
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-3145.7	-2926.4	-736.10
B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-2395.7	-2170.4	-763.07
B <sub>5</sub> H <sub>9</sub> (l)	-4729.7	-4251.4	-1615.45
B <sub>5</sub> H <sub>9</sub> (g)	-4699.2	-4248.2	-1523.75
B <sub>10</sub> H <sub>14</sub> (s)	-8719.3	-7841.2	-2963.92
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (s)	-3057.5	-2792.7	-891.92
BF <sub>3</sub> (g)	-1936.7	-1824.9	-375.59
BCl <sub>3</sub> (l)	-1354.9	-1223.2	-442.7
B <sub>3</sub> N <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (l)	-4953.1	-4535.4	-1408.9
B <sub>3</sub> N <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (g)	-4923.9	-4532.8	-1319.84
<b>Bromo</b>			
Br <sub>2</sub> (l)	-223.768	-164.792	-197.813
Br <sub>2</sub> (g)	-192.86	-161.68	-104.58
Br(g)	0	0	0
HBr(g)	-365.93	-339.09	-91.040
HBr(ac)	-451.08	-389.60	-207.3
BrF(g)	-284.72	-253.49	-104.81
BrF <sub>3</sub> (g)	-604.45	-497.56	-358.75
BrF <sub>5</sub> (g)	-935.73	-742.6	-648.60
<b>Calcio</b>			
Ca(s)	-178.2	-144.3	-113.46
Ca(g)	0	0	0
Ca <sup>2+</sup> (ac)	-721.0	-697.9	-208.0
CaO(s)	-1062.5	-980.1	-276.19
Ca(OH) <sub>2</sub> (s)	-2097.9	-1912.7	-623.03
CaCl <sub>2</sub> (s)	-1217.4	-1103.8	-380.7
CaSO <sub>4</sub> (s)	-2887.8	-2631.3	-860.3
CaSO <sub>4</sub> ·2 H <sub>2</sub> O(s)	-4256.7	-4383.2	-1553.8
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (s)	-3557.0	-3189.0	-1234.5
CaCO <sub>3</sub> (s)	-2849.3	-2639.5	-703.2
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (s)	-7278.0	-6727.9	-1843.5

(continúa)

<i>Sustancia</i>	$\Delta H^{\circ}_{ca}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta G^{\circ}_{ca}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta S^{\circ}_{ca}$ (J/mol <sub>reac</sub> ·K)
<b>Cloro</b>			
Cl <sub>2</sub> (g)	-243.358	-211.360	-107.330
Cl(g)	0	0	0
Cl <sup>-</sup> (ac)	-288.838	-236.908	-108.7
ClO <sub>2</sub> (g)	-517.5	-448.6	-230.47
Cl <sub>2</sub> O(g)	-412.2	-345.2	-225.24
Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (l)	-1750	—	—
HCl(g)	-431.64	-404.226	-93.003
HCl(ac)	-506.49	-440.155	-223.4
ClF(g)	-255.15	-223.53	-106.06
<b>Cobalto</b>			
Co(s)	-424.7	-380.3	-149.475
Co(g)	0	0	0
Co <sup>2+</sup> (ac)	-482.9	-434.7	-293
Co <sup>3+</sup> (ac)	-333	-246.3	-485
CoO(s)	-911.8	-826.2	-287.60
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (s)	-3162	-2842	-1080.3
Co(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> <sup>3+</sup> (ac)	-7763.5	-6929.5	-3018
<b>Cobre</b>			
Cu(s)	-338.32	-298.58	-133.23
Cu(g)	0	0	0
Cu <sup>+</sup> (ac)	-266.65	-248.60	-125.8
Cu <sup>2+</sup> (ac)	-273.55	-233.09	-266.0
CuO(s)	-744.8	-660.0	-284.81
Cu <sub>2</sub> O(s)	-1094.4	-974.9	-400.68
CuCl <sub>2</sub> (s)	-807.8	-685.6	-388.71
CuS(s)	-670.2	-590.4	-267.7
Cu <sub>2</sub> S(s)	-1304.9	-921.6	-379.7
CuSO <sub>4</sub> (s)	-2385.17	-1530.44	-869
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup> (ac)	-5189.4	-4671.13	-1882.5
<b>Cromo</b>			
Cr(s)	-396.6	-351.8	-150.73
Cr(g)	0	0	0
CrO <sub>3</sub> (s)	-1733.6	—	—
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-2274.4	-2006.47	-768.51
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-2680.4	-2456.89	-751.0
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-4027.7	-3626.8	-1214.5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	-7030.7	—	—
PbCrO <sub>4</sub> (s)	-2519.2	—	—

(continúa)

<i>Sustancia</i>	$\Delta H_{\text{reac}}^{\circ}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta G_{\text{reac}}^{\circ}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta S_{\text{reac}}^{\circ}$ (J/mol <sub>reac</sub> ·K)
<b>Estaño</b>			
Sn(s)	-302.1	-267.3	-124.35
Sn(g)	0	0	0
SnO(s)	-837.1	-755.9	-273.0
SnO <sub>2</sub> (s)	-1381.1	-1250.5	-438.3
SnCl <sub>2</sub> (s)	-870.6	—	—
SnCl <sub>4</sub> (l)	-1300.1	-249.8	-570.7
SnCl <sub>4</sub> (g)	-1260.3	-1122.2	-463.5
<b>Flúor</b>			
F <sub>2</sub> (g)	-157.98	-123.82	-114.73
F(g)	0	0	0
F <sup>-</sup> (ac)	-411.62	-340.70	-172.6
HF(g)	-567.7	-538.4	-99.688
HF(ac)	-616.72	-561.98	-184.8
<b>Fósforo</b>			
P(blanco)	-314.64	-278.25	-122.10
P <sub>4</sub> (g)	-1199.65	-1088.6	-372.79
P <sub>2</sub> (g)	-485.0	-452.8	-108.257
P(g)	0	0	0
PH <sub>3</sub> (g)	-962.2	-874.6	-297.10
P <sub>4</sub> O <sub>6</sub> (s)	-4393.7	—	—
P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (s)	-6734.3	-6128.0	-2034.46
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ac)	-2588.7	-2223.9	-1029
PF <sub>3</sub> (g)	-1470.4	-1361.5	-366.22
PF <sub>5</sub> (g)	-2305.4	—	—
PCl <sub>3</sub> (l)	-999.4	-867.6	-441.7
PCl <sub>3</sub> (g)	-966.7	-863.1	-347.01
PCl <sub>5</sub> (g)	-1297.9	-1111.6	-624.60
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (s)	-3243.3	-2934.0	-1041.05
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (ac)	-3241.7	-2833.6	-1374
<b>Hidrógeno</b>			
H <sub>2</sub> (g)	-435.30	-406.494	-98.742
H(g)	0	0	0
H <sup>+</sup> (ac)	-217.65	-203.247	-114.713
OH <sup>-</sup> (ac)	-696.81	-592.222	-286.52
H <sub>2</sub> O(l)	-970.30	-875.354	-320.57
H <sub>2</sub> O(g)	-926.29	-866.797	-202.23
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (l)	-1121.42	-990.31	-441.9
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ac)	-1124.81	-1003.99	-407.6
<b>Hierro</b>			
Fe(s)	-416.3	-370.7	-153.21
Fe(g)	0	0	0
Fe <sup>2+</sup> (ac)	-505.4	-449.6	-318.2

(continúa)



<i>Sustancia</i>	$\Delta H_{ca}^{\circ}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta G_{ca}^{\circ}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta S_{ca}^{\circ}$ (J/mol <sub>reac</sub> ·K)
Fe <sup>3+</sup> (ac)	-464.8	-375.4	-496.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-2404.3	-2178.8	-756.75
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (s)	-3364.0	-3054.4	-1039.3
Fe(OH) <sub>2</sub> (s)	-1918.9	-1727.2	-644
Fe(OH) <sub>3</sub> (s)	-2639.8	-2372.1	-901.1
FeCl <sub>3</sub> (s)	-1180.8	-1021.7	-533.8
FeS <sub>2</sub> (s)	-1152.1	-1014.1	-463.2
Fe(CO) <sub>5</sub> (l)	-6019.6	-5590.9	-1438.1
Fe(CO) <sub>5</sub> (g)	-5979.5	-5582.9	-1330.9

#### Litio

Li(s)	-159.37	-126.66	-109.65
Li(g)	0	0	0
Li <sup>+</sup> (ac)	437.86	-419.97	-125.4
LiH(s)	-467.56	-398.26	-233.40
LiOH(s)	-1111.12	-1000.59	-371.74
LiF(s)	-854.33	-784.28	-261.87)
LiCl(s)	-689.66	-616.71	-244.64
LiBr(s)	-622.48	-551.06	-239.52
LiI(s)	-536.62	-467.45	-232.78
LiAlH <sub>4</sub> (s)	-1472.7	-1270.0	-683.42
LiBH <sub>4</sub> (s)	-1401.9	-1333.4	-675.21

#### Magnesio

Mg(s)	-147.70	-113.10	-115.97
Mg(g)	0	0	0
Mg <sup>2+</sup> (ac)	-614.55	-567.9	-286.8
MgO(s)	-998.57	-914.26	-282.76
MgH <sub>2</sub> (s)	-658.3	-555.5	-346.99
Mg(OH) <sub>2</sub> (s)	-2005.88	-1816.64	-637.01
MgCl <sub>2</sub> (s)	-1032.38	-916.25	-389.43
MgCO <sub>3</sub> (s)	-2707.7	-2491.7	-724.2
MgSO <sub>4</sub> (s)	-2708.1	-2448.9	-869.1

#### Manganeso

Mn(s)	-280.7	-238.5	-141.69
Mn(g)	0	0	0
Mn <sup>2+</sup> (ac)	-501.5	-466.6	-247.3
MnO(s)	-915.1	-833.1	-275.05
MnO <sub>2</sub> (s)	-1299.1	-1167.1	-442.76
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-2267.9	-2053.3	-720.1
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (s)	-3226.6	-2925.6	-1009.7
KmnO <sub>4</sub> (s)	-2203.8	-1963.6	-806.50
MnS(s)	-773.7	-695.2	-263.3

(continúa)

<i>Sustancia</i>	$\Delta H^{\circ}_{ca}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta G^{\circ}_{ca}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta S^{\circ}_{ca}$ (J/mol <sub>reac</sub> ·K)
<b>Mercurio</b>			
Hg(l)	-61.317	-31.820	-98.94
Hg(g)	0	0	0
Hg <sup>2+</sup> (ac)	+109.8	+ 132.58	-207.2
HgO(s)	-401.32	-322.090	-265.73
HgCl <sub>2</sub> (s)	-529.0	-421.8	-359.4
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (s)	-631.21	-485.745	-487.8
HgS(s)	-398.3	-320.67	-260.4
<b>Nitrógeno</b>			
N <sub>2</sub> (g)	-945.408	-911.26	-114.99
N(g)	0	0	0
NO(g)	-631.62	-600.81	-103.592
NO <sub>2</sub> (g)	-937.86	-867.78	-235.35
N <sub>2</sub> O(g)	-1112.53	-1038.79	-247.80
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g)	-1609.20	-1466.99	-477.48
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (g)	-1932.93	-1740.29	-646.53
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g)	-2179.91	-1954.8	-756.2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ac)	-1425.2	-1259.56	-490.1
NOCl(g)	-791.84	-726.96	-217.86
NO <sub>2</sub> Cl(g)	-1080.12	-970.4	-368.46
HNO <sub>2</sub> (ac)	-1307.9	-1172.9	-454.5
HNO <sub>3</sub> (g)	-1572.92	-1428.79	-484.80
HNO <sub>3</sub> (ac)	-1645.22	-1465.32	-604.8
NH <sub>3</sub> (g)	-1171.76	-1081.82	-304.99
NH <sub>3</sub> (ac)	-1205.94	-1091.87	-386.1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (ac)	-1475.81	-1347.93	-498.8
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (s)	-2929.08	-2603.31	-1097.53
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (ac)	-2903.39	-2610.00	-988.8
NH <sub>4</sub> Cl(s)	-1779.41	-1578.17	-682.7
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (l)	-1765.38	-1574.91	-644.24
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	-1720.61	-1564.90	-526.98
HN <sub>3</sub> (g)	-1341.7	-1242.0	-335.37
<b>Oxígeno</b>			
O <sub>2</sub> (g)	-498.340	-463.462	-116.972
O(g)	0	0	0
O <sub>3</sub> (g)	-604.8	-532.0	-244.24
<b>Plata</b>			
Ag(s)	-284.55	-245.65	-130.42
Ag(g)	0	0	0
Ag <sup>+</sup> (ac)	-178.97	-168.54	-100.29
Ag(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>+</sup> (ac)	-2647.15	-2393.51	-922.6
Ag <sub>2</sub> O(s)	-849.32	-734.23	-385.7
AgCl(s)	-533.30	-461.12	-242.0
AgBr(s)	-496.80	-424.95	-240.9
AgI(s)	-453.23	-382.34	-238.3

(continúa)

<i>Sustancia</i>	$\Delta H_{ca}^{\circ}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta G_{ca}^{\circ}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta S_{ca}^{\circ}$ (J/mol <sub>reac</sub> ·K)
<b>Plomo</b>			
Pb(s)	-195.0	-161.9	-110.56
Pb(g)	0	0	0
Pb <sup>2+</sup> (ac)	-196.7	-186.3	-164.9
PbO(s)	-661.5	-581.5	-267.7
PbO <sub>2</sub> (s)	-970.7	-842.7	-428.9
PbCl <sub>2</sub> (s)	-797.8	-687.4	-369.8
PbCl <sub>4</sub> (l)	-1011.0	—	—
PbS(s)	-574.2	-498.9	-252.0
PbSO <sub>4</sub> (s)	-2390.4	-2140.2	-838.84
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (s)	-3087.3	—	—
PbCO <sub>3</sub> (s)	-2358.3	-2153.8	-685.6
<b>Potasio</b>			
K(s)	-89.24	-60.59	-96.16
K(g)	0	0	0
K <sup>+</sup> (ac)	-341.62	-343.86	-57.8
KOH(s)	-980.82	-874.65	-357.2
KCl(s)	-647.67	-575.41	-242.94
KNO <sub>3</sub> (s)	-1804.08	-1606.27	-663.75
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (s)	-4777.4	-4328.7	-1505.9
KMnO <sub>4</sub> (s)	-2203.8	-1963.6	-806.50
<b>Silicio</b>			
Si(s)	-455.6	-411.3	-149.14
Si(g)	0	0	0
SiO <sub>2</sub> (s)	-1864.9	-1731.4	-448.24
SiH <sub>4</sub> (g)	-1291.9	-1167.4	-422.20
SiF <sub>4</sub> (g)	-2386.5	-2231.6	-520.50
SiCl <sub>4</sub> (l)	-1629.3	-1453.9	-589
SiCl <sub>4</sub> (g)	-1599.3	-1451.0	-498.03
<b>Sodio</b>			
Na(s)	-107.32	-76.761	-102.50
Na(g)	0	0	0
Na <sup>+</sup> (ac)	-347.45	-338.666	-94.7
NaH(s)	-3811.25	-313.47	-228.409
NaOH(s)	-999.75	-891.233	-365.025
NaOH(ac)	-1044.25	-930.889	-381.4
NaCl(s)	-640.15	-566.579	-246.78
NaCl(g)	-405.65	-379.10	-89.10
NaCl(ac)	-636.27	-575.574	-203.4
NaNO <sub>3</sub> (s)	-1795.38	-1594.58	-673.66
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (s)	-3550.68	-3224.26	-1094.75
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> (s)	-2363.96	-2115.0	-803

(continúa)

<i>Sustancia</i>	$\Delta H_{ca}^{\circ}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta G_{ca}^{\circ}$ (kJ/mol <sub>reac</sub> )	$\Delta S_{ca}^{\circ}$ (J/mol <sub>reac</sub> ·K)
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s)	-2877.20	-2588.86	-969.89
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (s)	-2809.51	-2564.41	-813.70
NaHCO <sub>3</sub> (s)	-2739.97	-2497.5	-808.0
NaCH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> (s)	-3400.78	-3099.66	-1013.2
Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> (s)	-2950.1	-2667.18	-949.53
Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (s)	-4730.6	—	—
<b>Titanio</b>			
Ti(s)	-469.9	-425.1	-149.6
Ti(g)	0	0	0
TiO(s)	-1238.8	-1151.8	-306.5
TiO <sub>2</sub> (s)	-1913.0	-1778.1	-452.0
TiCl <sub>4</sub> (l)	-1760.8	-1585.0	-588.7
TiCl <sub>4</sub> (g)	-1719.8	-1574.6	-486.2
<b>Tungsteno</b>			
W(s)	-849.4	-807.1	-141.31
W(g)	0	0	0
WO <sub>3</sub> (s)	-2439.8	2266.4	-581.22
<b>Yodo</b>			
I <sub>2</sub> (s)	-213.676	-141.00	-245.447
I <sub>2</sub> (g)	-151.238	-121.67	-100.89
I(g)	0	0	0
HI(g)	-298.01	-272.05	-88.910
IF(g)	-281.48	-250.92	-103.38
IF <sub>5</sub> (g)	-1324.28	-1131.78	-646.9
IF <sub>7</sub> (g)	-1603.7	-1322.17	-945.6
ICl(g)	-210.74	-181.64	-98.438
IBr(g)	-177.88	-149.21	-97.040



*Resumen del **Protocolo de Kioto** de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*



**klima aldaketaren  
aurkako ekimena**  
**en acción contra  
el cambio climático**

---

## **Resumen del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**



### **EL PROTOCOLO DE KIOTO:**

**ES....** el acuerdo institucional más importante en relación al cambio climático, que tiene su origen en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 1992.

**BUSCA....** reducir las emisiones de GEIs de los principales países industrializados con el fin de que en el periodo que va de 2008 a 2012 esas emisiones descieran un 1,8%\* por debajo de las registradas en 1990.

**SE APLICA A....** las emisiones de 6 Gases de Efecto Invernadero: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HCF, PFC y SF<sub>6</sub>.

\*Según la propuesta inicial de 1997, los países firmantes debían lograr que en el plazo que va de 2008 a 2012 las emisiones de GEIs descendieran un 5,2% por debajo de las registradas en 1990. En la cumbre de Bonn (julio de 2001) ese límite se ha fijado en un 1,8%, ya que de lo contrario se corría el riesgo de que el Protocolo no se ratificara.

# ÍNDICE

<b>1. Origen del Protocolo de Kioto.....</b>	<b>1</b>
<b>2.Contenido del Protocolo de Kioto .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Gases contemplados .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Objetivos del Protocolo de Kioto .....</b>	<b>3</b>
<b>2.3. Países firmantes.....</b>	<b>4</b>
<b>2.4. Mecanismos flexibles del Protocolo de Kioto.....</b>	<b>5</b>

\*Según la propuesta inicial de 1997, los países firmantes debían lograr que en el plazo que va de 2008 a 2012 las emisiones de GEIs descendieran un 5,2% por debajo de las registradas en 1990. En la cumbre de Bonn (julio de 2001) ese límite se ha fijado en un 1,8%, ya que de lo contrario se corría el riesgo de que el Protocolo no se ratificara.



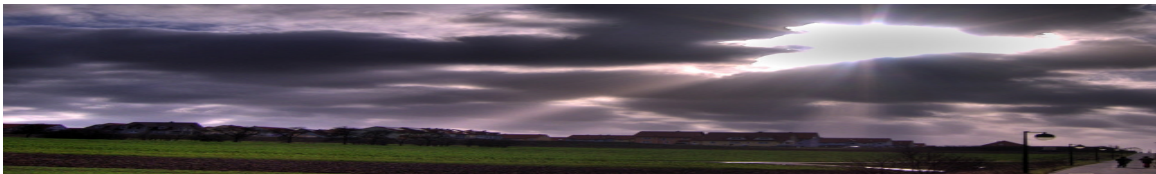
## 1. ORIGEN DEL PROTOCOLO DE KIOTO

**E**l Protocolo de Kioto tiene su origen en la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático** que fue aprobado en la Sede de las Naciones Unidas, en Nueva York, el 9 de mayo de 1992. Esta Convención es fruto de un proceso internacional de negociación a raíz de la publicación del Primer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés). En este Informe se confirmaba la existencia y peligrosidad del fenómeno del cambio climático.

La Convención Marco sobre el Cambio Climático busca “la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático” y establece una estructura general para los esfuerzos intergubernamentales encaminados a resolver el desafío del cambio climático. Reconoce que el sistema climático es un recurso compartido que puede verse dañado por todas las actividades (incluyendo las industriales) que emiten dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEIs).

En virtud de esta Convención, los países firmantes:

- Recogen y comparten la información sobre las emisiones de GEIs, las políticas nacionales y las prácticas óptimas en materia de reducción de emisiones.
- Ponen en marcha estrategias nacionales para abordar el problema de las emisiones y adaptarse a los efectos previstos del cambio climático, incluida la prestación de apoyo financiero y tecnológico a los países en desarrollo.
- Cooperan para prepararse y adaptarse a los efectos del cambio climático.

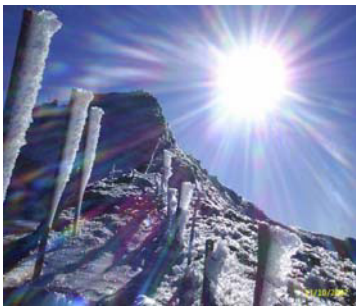


Sin embargo, cuando se adoptó la Convención, los Estados Parte sabían que sus compromisos no serían suficientes para abordar en serio los problemas del cambio climático.

El órgano supremo de la Convención es la Conferencia de la Partes (COP), que reúne anualmente a todos los Estados que han ratificado la Convención. En la primera de las Conferencias de las Partes (COP1) en Berlín en 1995, las Partes pusieron en marcha una nueva ronda de conversaciones para decidir la adopción de compromisos más firmes y más

detallados para los países industrializados. Después de dos años y medio de negociaciones intensas, se adoptó el Protocolo de Kioto en la COP3 de Kyoto (Japón), el 11 de diciembre de 1997.

Debido a la complejidad de las negociaciones, quedaron sin resolver un considerable número de cuestiones, por ejemplo, las trascendentales normas que regulaban el funcionamiento de este Protocolo. Aunque 84 países firmaron el Protocolo, lo que significaba que tenían intención de ratificarlo, muchos se resistían a hacer que el Protocolo entrara en vigor, antes de tener una idea clara sobre las normas del tratado. Por ello, se inició una nueva ronda de negociaciones para especificar las normas concretas del Protocolo de Kioto, que se organizó en paralelo con las negociaciones sobre las cuestiones pendientes en el marco de la Convención. Estas negociaciones terminaron en la COP7 con la adopción de los Acuerdos de Marrakech (2001), que establecían normas detalladas para la aplicación del Protocolo de Kioto así como algunas medidas importantes para la aplicación de la Convención.



El Protocolo de Kioto tiene los mismos objetivos, principios e instituciones de la Convención, pero refuerza ésta de manera significativa, ya que a través de él las Partes incluidas en el anexo I (países industrializados que en 1992 eran miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico – OECD) se comprometen a lograr objetivos individuales y jurídicamente vinculantes para limitar o reducir sus emisiones de GEIs. Sólo las Partes a la Convención que sean también Partes al Protocolo (es decir, que lo ratifiquen) se ven obligadas por los compromisos del Protocolo. Los objetivos individuales para las Partes incluidas en el anexo I se enumeran en el anexo B del Protocolo de Kioto. Entre todos suman un total de recorte de las emisiones de gases de efecto invernadero de al menos el 5% con respecto a los niveles de 1990 en el periodo de compromiso de 2008-2012. El 31 de mayo de 2002, la Unión Europea ratificó el protocolo de Kioto, que entró en vigor el 16 de febrero de 2005, tras la ratificación de Rusia ya que para su entrada en vigor debían ratificarlo 55 países que representaran el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, varios países industrializados se negaron a ratificar el protocolo, entre ellos, Estados Unidos y Australia.

## 2. CONTENIDO DEL PROTOCOLO DE KIOTO

Un sencillo documento de unas 10.000 palabras contiene el acuerdo institucional más importante en relación al cambio climático. **Su objetivo es reducir las emisiones de GEIs de los principales países industrializados** y según la propuesta inicial de 1997, los países firmantes debían lograr que en el plazo que va de 2008 a 2012 esas emisiones descendieran un 5,2% por debajo de las registradas en 1990. En la Cumbre de Bonn (julio de 2001) ese límite se ha fijado en un 1,8%, ya que de lo contrario se corría el riesgo de que el Protocolo no se ratificara.



Los principales componentes del Protocolo de Kioto son los que a continuación se exponen:

- Gases contemplados
- Objetivos
- Países
- Mecanismos flexibles

### 2.1. Gases contemplados

El Protocolo de Kioto se aplica a las emisiones de seis gases de efecto invernadero:

- dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ );
- metano ( $\text{CH}_4$ );
- óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ );
- hidrofluorocarbonos (HFC);
- perfluorocarbonos (PFC);
- hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ).

### 2.2. Objetivos del Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto marca objetivos obligatorios relativos a las emisiones de GEIs para las principales economías mundiales que lo han aceptado. Estos objetivos individuales van desde una reducción del 8% hasta un crecimiento máximo del 10% respecto a las emisiones del año base, que ha sido fijado en 1990 (se podrá utilizar el año 1995 para los gases fluorados) y

según cita el Protocolo “con miras a reducir el total de sus emisiones de los GEIs a un nivel inferior de no menos de un 5% al nivel de 1990 en el periodo de compromiso 2008-2012” a nivel mundial.

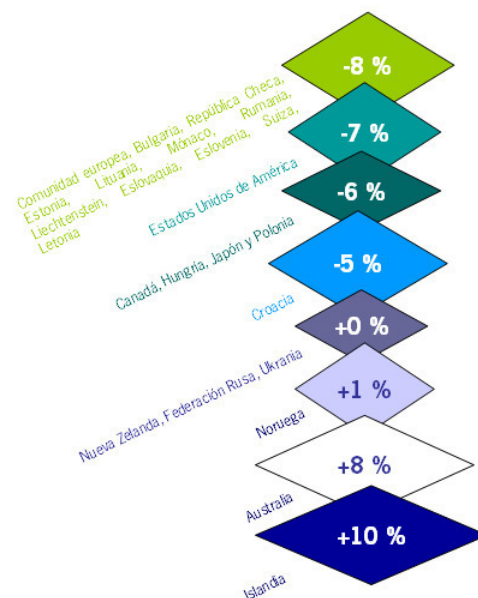
En casi todos los casos, incluso en aquellos que tienen un crecimiento máximo de las emisiones del 10% sobre 1990, estos límites obligan a unas reducciones importantes sobre las emisiones proyectadas.

Además de para el periodo de compromiso 2008-2012, se prevé el establecimiento de objetivos obligatorios futuros para periodos de compromiso posteriores a 2012.

### 2.3. Países firmantes

Los compromisos contraídos en virtud del Protocolo de Kioto varían de un país a otro. Así, el objetivo de recorte global del 5% sobre los niveles de GEIs de 1990 para los países desarrollados oscila entre el recorte del 28% de Luxemburgo y el 21% de Dinamarca y Alemania; y un incremento máximo de las emisiones del 25% en Grecia y de un 27% en Portugal.

A continuación se presenta un esquema de los objetivos de emisión de GEIs contraídos por las diferentes partes:



La Unión Europea ha asumido un objetivo conjunto de reducción del 8% de sus emisiones de 1990 para 2008-2012, si bien esta reducción ha sido distribuida de forma diferenciada entre sus Estados Miembros en función de

sus características individuales. Así, el Estado Español tiene un objetivo de incremento máximo del 15% de sus emisiones de GEIs respecto a las generadas en 1990.

#### 2.4. Mecanismos flexibles del Protocolo de Kioto

Estos mecanismos tienen el doble objetivo de facilitar a los países desarrollados el cumplimiento de sus compromisos de reducción y limitación de emisiones y promocionar la financiación de proyectos "limpios" en países en desarrollo o en transición hacia económicas de mercado.

Entre los mecanismos flexibles se incluyen los siguientes:

- El Comercio de Derechos de Emisión: mediante este mecanismo los países del Anexo I (países industrializados) del Protocolo podrán comprar o vender una parte de sus derechos de emisión a otros países del Anexo I, con el objetivo de alcanzar, de forma eficiente desde el punto de vista económico, los compromisos adquiridos en Kioto. De esta manera, los países que reduzcan sus emisiones más de lo comprometido podrán vender los créditos de emisiones excedentarios a los países que consideren más difícil satisfacer sus objetivos.
- La aplicación conjunta (AC o JI por sus siglas en inglés): este mecanismo regula proyectos de cooperación entre países obligados a contener o reducir sus emisiones, de manera que la cantidad de ahorro gracias a las nuevas instalaciones, respecto a plantas más contaminantes, se comparte entre los participantes en los proyectos.
- Mecanismos de desarrollo limpio (MDL o CDM por sus siglas en inglés): se trata de un mecanismo similar al anterior, dirigido a países con compromisos de reducción de emisiones, de manera que puedan vender o compensar las emisiones equivalentes que han sido reducidas a través de proyectos realizados en otros países sin compromisos de reducción, generalmente en vías de desarrollo.

