

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA PETROLERA**



**PROYECTO DE GRADO**

“ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES HIDROCARBURÍFERAS DEL  
COMBUSTIBLE SÚPER ETANOL 92 Y SU MEJORA EN LA PRODUCCIÓN DE  
BIOCOMBUSTIBLES”

POSTULANTE: ALEXIS ANTONIO IRIARTE GAMBOA

TUTOR: MSc. Ing. MARIO DAZA BLANCO

LA PAZ – BOLIVIA



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de grado está dedicado principalmente a Dios, por brindarme fuerzas y salud para lograr mis objetivos, durante toda mi trayectoria académica.

A mi madre Helga, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor, gracias a ti he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mi padre Marco, por ser el pilar fundamental de mi familia y un ejemplo de profesional dedicado y competente en su rubro. Por apoyarme siempre durante mi vida académica y personal, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años.

A mi hermano mayor Bryan, por ser un ejemplo de ser humano y profesional, por estar siempre presente a mi lado, por brindarme tantos conocimientos desde mi infancia y por su gran cariño.

A mis amigos y amigas, por sus palabras de aliento y apoyo, incluso desde lejos.

El presente proyecto va dedicado a todos ustedes.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A mis padres Helga y Marco, por el apoyo incondicional brindado durante el transcurso de mi vida, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación durante mi vida académica y por sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.
- A la Universidad Mayor de San Andrés, por haberme acogido durante sus ambientes en el transcurso de mi vida universitaria, particularmente a la Carrera de Ingeniería Petrolera por haber permitido formarme como profesional y crecer como persona y como ser humano.
- A todos mis docentes de la Carrera de Ingeniería Petrolera y Curso Básico, por haber compartido sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi vida académica, y sobre todo en especial, al ingeniero Mario Daza tutor del presente proyecto de grado, por apoyarme y brindarme su tiempo, pero por sobre todo por ser un ejemplo de profesional a seguir.
- A todos mis amigos y amigas tanto de la Carrera de Ingeniería Petrolera, como los de otras áreas académicas, deportivas y de recreación por todos los momentos que pasamos juntos, por las tareas que juntos realizamos y por la confianza que en mi depositaron, muchas gracias.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ACRÓNIMOS	xiii
SIMBOLOGÍA	xv
RESUMEN EJECUTIVO	xvii
<b>CAPÍTULO I. GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Planteamiento del Problema .....	3
1.3.1 Identificación del Problema .....	3
1.3.2 Formulación del Problema .....	4
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	4
1.5 Justificación .....	5
1.5.1 Justificación Técnica .....	5
1.5.2 Justificación Económica .....	5
1.5.3 Justificación Social .....	6
	iii

1.5.4	Justificación Ambiental .....	6
1.6	Alcance .....	6
1.6.1	Alcance Temático .....	6
1.6.2	Alcance Geográfico .....	7
1.6.3	Alcance Institucional.....	7
1.6.4	Metodología.....	7
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>		<b>8</b>
2.1	Breve Reseña Histórica de los Biocombustibles.....	8
2.2	Biocombustibles.....	9
2.2.1	Clasificación de Biocombustibles .....	10
2.3	Etanol.....	12
2.3.1	Propiedades del etanol.....	13
2.3.2	Proceso de obtención de etanol.....	14
2.3.3	Impacto Ambiental de la Producción de Etanol.....	19
2.4	Octanaje (Número de Octano).....	21
2.4.1	Elevadores de Octanaje .....	22
2.5	Mezcla de Gasolinas.....	24
2.5.1	Número de octanos de una mezcla.....	24
2.5.2	Punto de Inflamación.....	24
2.5.3	Contenido de Azufre.....	24
2.5.4	Presión de Vapor Reid de una Mezcla .....	25
2.6	Súper Etanol 92 .....	25
2.6.1	Reducción de la importación .....	27
2.7	Matriz FODA .....	27

<b>CAPÍTULO III. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR LOS MOTORES A GASOLINA EN LA CIUDAD DE LA PAZ</b> .....	30
3.1 Antecedentes.....	30
3.2 Fuentes de Emisión de Contaminantes de la ciudad de La Paz.....	31
3.3 Características del Parque Automotor de la Ciudad de La Paz.....	32
3.3.1 Estructura.....	32
3.3.2 Motor.....	33
3.3.3 Frenos.....	34
3.3.4 Sistema de Transmisión.....	36
3.3.5 Método de Propulsión.....	37
3.3.6 Sistema de Suspensión.....	37
3.3.7 Acondicionamiento Eléctrico e Híbrido.....	38
3.3.8 Número de Cilindros por Motor.....	39
3.3.9 Tipo de Transmisión.....	40
3.3.10 Sistema de Alimentación del Combustible.....	42
3.4 Emisiones anuales en la Ciudad de La Paz.....	43
3.4.1 Origen de los Contaminantes.....	46
3.4.2 Problemas Ambientales.....	48
3.4.3 Medidas para el Control y Reducción de Contaminantes.....	48
3.4.4 Beneficios del Control de Contaminantes para el Medio Ambiente.....	50
3.4.5 Límites máximos de emisión de contaminantes en prueba estática.....	50
<b>CAPÍTULO IV. MARCO PRÁCTICO</b> .....	52
4.1 Mejora en la Producción de Biocombustibles.....	52
4.1.1 Gasolina.....	52

4.2	Propiedades de los Combustibles.....	53
4.2.1	Volatilidad.....	53
4.2.2	Octanaje.....	54
4.2.3	Estabilidad al Almacenamiento .....	56
4.2.4	Poder Calorífico (Calor de Combustión).....	56
4.2.5	Densidad Específica o Relativa.....	56
4.2.6	Viscosidad.....	57
4.2.7	Presión de Vapor Reid .....	57
4.3	Combustión.....	58
4.3.1	Relación estequiometria.....	62
4.3.2	Poder Calorífico.....	64
4.3.3	El Poder Calorífico para el Bioetanol y la Gasolina Convencional .....	65
4.4	Resultados Obtenidos.....	67
4.5	Análisis FODA.....	69
4.6	Especificaciones Técnicas para una Planta de Tratamiento de Bioetanol....	70
4.6.1.	Objetivo .....	71
4.7.	Adecuación de la planta.....	71
4.7.1.	Destilación azeotrópica .....	71
4.7.2.	Tecnología para deshidratar el etanol.....	72
4.8.	Obtención de azúcar y alcohol a partir de maíz.....	75
4.8.1.	Descripción del proceso .....	76
4.9	Cálculos Necesarios para la Obtención del Nuevo RON .....	78
4.9.1	Primer Caso .....	78
4.9.2	Segundo Caso.....	79



4.9.3	Gasolina vs Gasolina más etanol .....	81
4.9.4	Almacenaje .....	82
4.10	Plan de Seguridad Industrial Aplicado a la Gestión de Producción de Biocombustibles.....	83
4.10.1	Identificación de Actividades y Peligros Asociados a las Mismas .....	84
4.10.2	Evaluación de Riesgos.....	86
4.11	Plan de Contingencias Orientado al Empleo del Súper Etanol 92 .....	87
4.11.1	Zona de Contingencia .....	88
4.11.2	Nivel de Contingencia .....	88
4.11.3	Organización de las Brigadas .....	89
4.11.4	Procedimientos a Seguir Durante las Actividades.....	90
4.11.5	Acciones de Respuesta Frente a las Situaciones de Emergencia .....	92
4.11.6	Programa de Capacitación de las Brigadas .....	96
4.12	Impacto Social Generado por el Uso de Biocombustibles .....	96
4.12.1	Impacto Social a Nivel Internacional .....	96
4.12.2	Impacto Social del uso de Súper Etanol 92 en la ciudad de La Paz .....	99
	<b>CAPÍTULO V. EVALUACIÓN ECONÓMICA .....</b>	<b>103</b>
5.1	Demanda de gasolina en el País .....	103
5.2	Producción de Etanol a Nivel Nacional .....	106
5.3	Demanda de Súper Etanol 92.....	107
5.4	Estimación de los ingresos según demanda para el etanol 92 .....	107
5.5	Análisis Económico.....	108
	<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>110</b>
6.1	CONCLUSIONES .....	110

6.2 RECOMENDACIONES..... 111

**BIBLIOGRAFÍA**

**GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Consumo de energía por sector y tipo de combustible 2016 .....	32
Tabla 3.2: Cilindros que tiene el parque automotor en La Paz .....	40
Tabla 3.3: Tipo de transmisión del parque automotor de La Paz .....	41
Tabla 3.4: Emisiones anuales de CO en La Paz.....	43
Tabla 3.5: Emisiones anuales de SO <sub>2</sub> en La Paz .....	44
Tabla 3.6: Emisiones anuales de NO <sub>x</sub> en La Paz .....	44
Tabla 3.7: Emisiones anuales de PM10 en La Paz.....	44
Tabla 3.8: Emisiones anuales de PM2.5 en La Paz.....	45
Tabla 3.9: Emisiones anuales en la ciudad de La Paz 2015 (Toneladas/año).....	46
Tabla 3.10: Emisiones anuales en la ciudad de La Paz 2015 (Porcentaje) .....	46
Tabla 3.11: Límites máximos de emisiones permitidas para fuentes móviles con motor de gasolina marcha mínima o ralentí (Prueba estática).....	51
Tabla 3.12: Límites máximos permisibles de emisión de contaminantes en prueba estática.....	51
Tabla 4.1: Especificaciones de la gasolina Extra y Súper NTE INEN 935:99 .....	52
Tabla 4.2: Valores de RON para mezclas de etanol con gasolina extra y súper .....	55
Tabla 4.3: Valores de PVR para mezclas de etanol con gasolina extra y súper .....	57
Tabla 4.4: Porcentaje en masa de la gasolina y el etanol .....	60
Tabla 4.5: Fracciones másicas y volumétricas para la gasolina oxigenada con 10% de etanol en volumen.....	61
Tabla 4.6: Resultados de la ecuación estequiometria de E10 y de la gasolina corriente .....	63
Tabla 4.7: Resultados .....	67

Tabla 4.8: Matriz FODA .....	69
Tabla 4.9: Volúmenes para la formulación de gasolina G-97 y G-90.....	78
Tabla 4.10: Determinación del valor para RON 96.4 .....	79
Tabla 4.11: Volúmenes para la formulación de Gasolina 97 RON y Gasolina 90 RON	79
Tabla 4.12: Determinación del valor para RON 97.2 .....	80
Tabla 4.13: Comparación de propiedades de la gasolina vs gasolina más etanol....	81
Tabla 4.14: Comparación gases de escape de la gasolina vs gasolina más etanol .	81
Tabla 4.15: Identificación de peligros en la producción de biocombustibles.....	84
Tabla 4.16: Resultados de la encuesta.....	99
Tabla 5.1: Demanda de Gasolinas a nivel nacional para el periodo 1999 – 2016 ..	103
Tabla 5.2: Capacidad de producción de los ingenios azucareros proveedores de etanol anhidro .....	106
Tabla 5.3: Demanda estimada de súper etanol 92 .....	107
Tabla 5.4: Precio de la gasolina especial vs súper etanol 92.....	107
Tabla 5.5: Análisis económico .....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Molécula de Etanol $C_2 H_5 OH$ .....	13
Figura 2.2: Planta para la obtención de azúcar y alcohol a partir de maíz.....	16
Figura 2.3: Alcances del desarrollo sostenible .....	20
Figura 2.4: Relación de compresión alcanzada por los pistones de un motor .....	21
Figura 3.1: Motor de un vehículo .....	33
Figura 3.2: Frenos de un vehículo .....	35
Figura 4.1: Combustión en un motor de combustión interna.....	58
Figura 4.2: Destilación azeotrópica .....	72
Figura 4.3: Tecnologías para deshidratar el etanol.....	72
Figura 4.4: Proceso de obtención de azúcar y alcohol a partir de caña de azúcar ...	73
Figura 4.5: Planta para la obtención de azúcar y alcohol a partir de maíz.....	75
Figura 4.6: Almacenaje .....	82
Figura 4.7: Almacenaje de alcohol .....	83

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1: Número de cilindros de los vehículos en porcentaje .....	39
Gráfico 3.2: Número de cilindros del motor (Cantidad de Vehículos Vs Años modelo)...	39
Gráfico 3.3: Tipo de transmisión .....	41
Gráfico 3.4: Tipo de transmisión calidad de vehículo vs año del modelo.....	41
Gráfico 3.5: Sistema de alimentación de combustible .....	42
Gráfico 3.6: Sistema de alimentación de combustible (cantidad de vehículos vs año modelo).....	43
Gráfico 4.1: RON vs. % de etanol en mezcla con gasolina extra y súper .....	55
Gráfico 4.2: Relación aire/combustible para diferentes combustibles .....	64
Gráfico 5.1: Demanda de gasolinas período 1999 - 2018.....	103
Gráfico 5.2: Demanda de GLP período 2006 – 2018.....	104
Gráfico 5.3: Demanda de GNV a 2018 .....	104
Gráfico 5.4: Demanda de diésel a 2018.....	105
Gráfico 5.5: Demanda de combustibles a 2016 .....	105

## ACRÓNIMOS

ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
Asosur	Asociación Nacional de Surtidores
CAINCO	Cámara de Industria, Comercio, Servicios y Turismo de Santa Cruz
CMX	Comité Mixto de Higiene y Seguridad Ocupacional
COV's	Compuestos orgánicos volátiles
COVNM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano
DDGS	Dry Distillers Grains and solubles
EEUU	Estados Unidos de América
ETBE	Etil ter-Butil Éter)
FFV	Flexible Fuel Vehicles
FODA	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas
GAMLP	Gobierno autónomo municipal de La Paz
GE	Gasolina Especial
GEI	Gases de efecto invernadero
GLP	Gas Licuado de Petrolero
GNV	Gas Natural Vehicular
GSE92	Gasolina Súper Etanol 92
GTC	Guía Técnica Colombiana
HSO	Higiene y Seguridad Ocupacional
IPER	Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos
INE	Instituto Nacional de Estadística
MH	Ministerio de Hidrocarburos

MMT	Metil Ciclopentadienil Tricarbonil Manganeso
NE	Nivel de Exposición
NP	Nivel de Probabilidad
NR	Nivel de Riesgo
P	Probabilidad
PIB	Producto Interno Bruto
RECON	Crudo Reconstituido
RUAT	Registro Único para la Administración Tributaria Municipal
RGV	Refinería Gualberto Villarroel
UMSA	Universidad Mayor de San Andrés
YPFB	Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos



## SIMBOLOGÍA

ASM	Aceleration Simulation Module
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Etanol o Alcohol Etilico
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CO	Monóxido de carbono
$C_p$	Calor específico a presión constante kJ/(kg.K)
$C_v$	Calor específico a volumen constante kJ/(kg.K)
E10	Biocombustible (90% gasolina y 10% etanol)
H <sub>Um</sub>	Humedad del medio ambiente (%)
$k$	Relación de calor específico
L	Carrera del pistón
$n$	Número de cilindros
$n_e$	Rendimiento térmico
N.O.	Número de octanos
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
O <sub>3</sub>	Ozono
$\rho$	Densidad (g/ml)
P <sub>Um</sub>	Presión del medio ambiente (kpa)
PMI	Punto Muerto Inferior
PMS	Punto Muerto Superior

ppm	Partes por millón
$Q$	Calor
$r_c$	Relación de compresión
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre 9
$T$	Temperatura
T <sub>Um</sub>	Temperatura del medio ambiente (°C)
U	Energía interna
$V$	Volumen
VA	Válvula de admisión
VE	Válvula de escape

## RESUMEN EJECUTIVO

En el primer capítulo, generalidades, se identificó el problema y se estableció la directriz del presente trabajo, que se basa en analizar y estudiar las propiedades hidrocarburíferas del biocombustible Súper Etanol 92 a partir de su introducción al mercado boliviano desde el mes de octubre del año 2018. Además se justificó la realización del mismo, tomando como principal punto la identificación de las principales ventajas y desventajas del empleo de este biocombustible.

El segundo capítulo hace referencia a los conceptos que se emplearon para el desarrollo del proyecto. El marco teórico no sólo comprende conceptos principales en cuanto a la definición y propiedades del etanol y el Súper Etanol 92, también se incluyeron algunas de las ventajas y desventajas de su empleo según la bibliografía consultada.

El estudio de la contaminación atmosférica provocada por los motores a gasolina en la ciudad de La Paz fue desarrollado en el tercer capítulo, identificando, en primera instancia, las fuentes de emisión de contaminantes y las características del parque automotor, para luego establecer las emisiones anuales de estos contaminantes en la ciudad en base a bibliografía consultada del GAMLP e identificar los problemas ambientales que estos provocan.

En el cuarto capítulo, se llevó a cabo un estudio comparativo del uso del biocombustible y la gasolina. En consecuencia, se determinaron las ventajas y desventajas del uso del biocombustible en los motores de automóviles livianos, así como también su impacto ambiental y los efectos de su uso permanente en la calidad del aire. Además, se realizó un análisis FODA del empleo del biocombustible.

Se realizó una evaluación económica de la introducción del Súper Etanol 92 en el mercado boliviano en el quinto capítulo. Para ello se utilizaron dos indicadores económicos, el VAN y el TIR. Asimismo, se determinó el tiempo en el cual se recupera el total de la inversión a partir del flujo neto del proyecto.

Finalmente, en el sexto capítulo se presentaron las conclusiones y recomendaciones generales del proyecto.

## CAPÍTULO I. GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

Los biocombustibles son combustibles obtenidos de la biomasa (cultivos agrícolas como aceite de palma, caña de azúcar, soja, etc.) o de los residuos orgánicos. El combustible generado es un combustible líquido que se puede utilizar en los motores de los vehículos. Esta fuente de energía se considera energía no renovable debido a que el tiempo de generación y recuperación de los campos es inferior al de consumo.

El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa. Las plantas crecen gracias al proceso de fotosíntesis, en el que la luz del sol, el dióxido de carbono de la atmósfera, el agua y los nutrientes de la tierra forman moléculas orgánicas complejas como el azúcar, los hidratos de carbono y la celulosa, que se concentra en la parte fibrosa de la planta.

En octubre de la gestión 2018 la estatal petrolera Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) lanza el primer biocombustible boliviano, el Súper Etanol 92. No obstante, el Ministerio de Hidrocarburos, aclara que la venta de gasolina especial será normal, al mismo costo y volúmenes de siempre, ya que la comercialización del Súper Etanol 92 sólo es una alternativa.

El etanol como aditivo para la gasolina es posible a partir de la Ley 1098, promulgada el 15 de septiembre de 2018, mediante la cual se sienta el marco legal en Bolivia para “La Producción, Almacenaje, Transporte, Comercialización y Mezcla de Aditivos de Origen Vegetal”.

La incorporación de alcohol anhidro como aditivo de la gasolina hasta 12%, en una mezcla con gasolina base por cada litro del combustible, supone una serie de beneficios como la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero e inversiones en el complejo agrícola alcoholero del orden de 1.600 millones de dólares para la ampliación de la capacidad de siembra, molienda y procesamiento de caña de azúcar.

Asimismo, el primero de noviembre de 2018, YPFB inicia la comercialización de la gasolina Súper Etanol 92, a un precio de 4,5 bolivianos por litro en la ciudad de Santa Cruz para después llevar el producto al resto de las ciudades del territorio nacional. La incorporación de este combustible implica mayor seguridad en la provisión de azúcar para el mercado interno y para la exportación, además de la disminución en la importación de gasolina.

Se calcula que la confluencia de estos factores implica un incremento de casi un punto porcentual del PIB global en el primer período, con un incremento anual promedio de 0,4 puntos porcentuales del PIB global hasta la gestión 2025.

## **1.2 Antecedentes**

Bolivia se caracteriza por ser un país importador de gasolina y diésel oil, debido a que es considerado un país gasífero y no petrolífero, este último afecta en que el país no sea autosustentable en cuanto a combustibles líquidos, motivo por el cual se vea en la necesidad de importar combustibles líquidos para satisfacer su demanda interna.

En ese entendido, el gobierno nacional con la finalidad de disminuir la demanda de gasolina RON 91 introdujo en el mercado nacional el primer biocombustible, el Súper Etanol 92, el cual tiene como objetivo disminuir las importaciones de combustible líquido así como también realizar un cambio en la matriz energética para que de esta forma la dependencia sobre los combustibles fósiles disminuya contribuyendo a la disminución de gases de efecto invernadero, lo que implica una disminución de las emanaciones de CO<sub>2</sub> en un 6% anual, lo que representa una superficie de bosque equivalente de 672 Km<sup>2</sup> por año.

En la gestión 2018 se produjeron 80 millones de litros de alcohol anhidro (etanol), por lo que el país dejó de importar 80 millones de litros de gasolina. Se estima que para 2025 esta cifra se incremente a 380 millones de litros. Por otro lado, hasta este año se prevé comercializar 6.635 millones de litros acumulados de Súper Etanol 92, biocombustible que será producto de la mezcla gradual del alcohol anhidro (etanol) con gasolina base en un 12%.

Con la finalidad de llevar a cabo la comercialización adecuada de este primer biocombustible la estatal petrolera YPFB invertirá más de 5 millones de dólares para adecuar sus instalaciones para el almacenamiento, producción y comercialización del biocombustible.

Por su parte, el Centro Boliviano de Economía de la CAINCO estima que el proyecto podría contribuir con el PIB global de Bolivia en 0,2%, lo que equivale aproximadamente a 90 millones de dólares anuales para los próximos cinco años.

El biocombustible es comercializado a 4.5 bs/litro, precio que fue definido mediante Resolución Administrativa RAR-ANH-DJ N° 0357/2018 emitida por la Agencia Nacional de Hidrocarburos en fecha 29 de octubre de 2018, que define los márgenes tanto mayorista y minorista, además del precio del etanol y de manera consecutiva el precio de venta final.

### **1.3 Planteamiento del Problema**

#### **1.3.1 Identificación del Problema**

Durante el último trimestre de la gestión 2018 el gobierno nacional introdujo dentro del mercado un nuevo combustible el Súper Etanol 92, el cual reemplazó a la gasolina RON 91 por el entendido de que este biocombustible tiene un mayor octanaje y es más amigable con el medio ambiente. Hoy en día este biocombustible es comercializado en parte del territorio nacional por un precio de 4.50 bs/litro.

El objetivo principal de la introducción de este combustible en el mercado boliviano es el de disminuir la importación de gasolina. Sin embargo, la reacción por parte de la población boliviana ante este primer biocombustible comercializado por YPFB no fue de las mejores, motivo por el cual se puso en el mercado la Gasolina Especial Plus, con un octanaje menor al del biocombustible pero manteniendo el precio de 3.74 bs/litro.

A simple vista, parecería que el Súper Etanol 92 no es la solución que contribuya a la disminución de importación de gasolina, incluso se estaría poniendo en duda su permanencia en el mercado debido a la llegada de la Gasolina Especial Plus.

No obstante, desde el punto de vista económico, cabe recalcar que el precio del biocombustible no se encuentra subvencionado en la misma magnitud a comparación del precio de la Gasolina Especial Plus. Por otro lado, el Súper Etanol 92 al tener mayor contenido de etanol, en teoría, presentaría mayores beneficios para el medio ambiente.

Entonces, es necesario estudiar a fondo ciertos aspectos de este biocombustible como: sus características fisicoquímicas e hidrocarburíferas, su rendimiento como biocombustible, las ventajas y desventajas desde el punto de vista ambiental y económico, para determinar si el Súper Etanol 92 debe permanecer o no en el mercado boliviano en base a resultados que se pretende obtener de dicho estudio.

### **1.3.2 Formulación del Problema**

¿Cuál podría ser un combustible alternativo, amigable con el medio ambiente, cuyas características fisicoquímicas e hidrocarburíferas sean similares al de la gasolina especial tal que pueda sustituir este combustible y por ende reducir la importación de gasolina por parte del Estado Boliviano?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar técnica y económicamente la producción del combustible Súper Etanol 92 con el fin de determinar si es capaz de reducir el consumo de gasolina especial a nivel nacional.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Describir la contaminación atmosférica provocada por los motores a gasolina en la ciudad de La Paz.
- Determinar las propiedades hidrocarburíferas y fisicoquímicas de la mezcla de 88% de gasolina base y 12% de etanol anhidro.
- Calcular el octanaje para tres diferentes composiciones de mezcla de gasolina base y etanol anhidro.

- Desarrollar un análisis FODA a fin de identificar las principales ventajas y desventajas del Súper etanol 92.
- Elaborar un plan de seguridad industrial aplicado a la gestión de producción de biocombustibles.
- Identificar el impacto ambiental y social generado por la introducción del Súper Etanol 92 al mercado boliviano.
- Elaborar la evaluación económica del empleo del Súper Etanol 92 a fin de determinar si es factible continuar con la producción de este biocombustible.

## **1.5 Justificación**

### **1.5.1 Justificación Técnica**

Con la llegada de primer biocombustible al territorio nacional se necesita conocer las principales ventajas y desventajas que se tiene del mismo realizando diversos análisis. Además de deben identificar las fortalezas que tiene el Súper Etanol 92 como combustible comparado con otros, las oportunidades que ofrece a la población, al gobierno y al medio ambiente, las debilidades que tiene este biocombustible comparado con la gasolina RON 91 y por último las amenazas que presenta la introducción de este biocombustible a nivel nacional.

El análisis y estudio de las características hidrocarburíferas y fisicoquímicas de una sustancia nos permiten evaluar si esta cumple con los objetivos para los cuales está destinada. A partir de este análisis, es posible determinar las mejores alternativas para poder optimizar la producción de etanol.

### **1.5.2 Justificación Económica**

El análisis económico, así como el técnico son bastante significativos. Un parámetro muy importante es siempre el económico puesto que el Súper Etanol 92 ingresó al mercado nacional con un costo de 4.50 bs/litro el cual debe ser estudiado para verificar si este valor es elevado o no comparado con el resto de combustibles disponibles.



Si bien a simple vista éste tiene un costo superior al de la gasolina especial, diésel oíl y gasolina súper 91, se debe considerar el octanaje, el poder calorífico y el rendimiento del combustible evaluado por el kilometraje recorrido por litro de combustible para poder evaluar la parte económica.

Por otra parte, se debe analizar la subvención que se tiene sobre este combustible comparado con el resto de combustibles y si este permitirá disminuir la importación de gasolina o no.

### **1.5.3 Justificación Social**

Con un análisis y estudio de las principales ventajas y desventajas que presenta el etanol como aditivo vegetal para la gasolina, la sociedad se beneficia debido a que le permite conocer más respecto a este biocombustible, por otra parte, un estudio de la calidad del biocombustible en los diversos puntos del territorio nacional permitiría a los bolivianos ver si se cumple con los parámetros determinados por la Agencia Nacional de Hidrocarburos.

### **1.5.4 Justificación Ambiental**

Una aspecto importante de introducir biocombustibles en el territorio nacional es que, como su nombre lo indica, es un combustible que se caracteriza por ser amigable con el medio ambiente lo cual es de mucha importancia. Como se sabe, los combustibles son los mayores productores de gases de efecto invernadero por lo cual al cambiar la matriz energética del país permite reducir estos gases. Lo importante es verificar en que dimensiones se reducirán estos gases con la introducción de este biocombustible.

## **1.6 Alcance**

### **1.6.1 Alcance Temático**

Este proyecto aporta con la identificación técnica y económica de las características hidrocarburiíferas y fisicoquímicas del biocombustible Súper Etanol 92, permitiendo, a partir de este estudio y evaluación técnica-económica, obtener un análisis de las mejores alternativas para la optimización de etanol.

### **1.6.2 Alcance Geográfico**

Dentro del territorio nacional los combustibles producidos por la estatal YPFB Refinación S.A., son comercializados por todo el territorio nacional y regulados por la ANH, el biocombustible Súper Etanol 92 no es la excepción.

El epicentro de este proyecto tiene centrada su aplicación en las instalaciones de estaciones de servicio de las principales ciudades del país: La Paz, Cochabamba, Santa Cruz y Tarija, con el objetivo de evaluar la calidad con la cual este biocombustible es comercializado dentro del territorio nacional.

### **1.6.3 Alcance Institucional**

La Universidad Mayor de San Andrés se caracteriza por ser una de las pocas universidades del país en fomentar la investigación en todas las áreas, el presente proyecto de grado tiene la finalidad de investigar de manera técnica a nuevos combustibles de alto octanaje convirtiéndose en una guía metodológica para estudiantes del Estado Plurinacional de Bolivia.

### **1.6.4 Metodología**

La metodología para el desarrollo del proyecto se basa principalmente en la investigación documental en el marco del método inductivo - deductivo, recurriendo a información de las entidades gubernamentales como la Agencia Nacional de Hidrocarburos, Ministerio de Hidrocarburos y Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, además de reglamentos nacionales y normas internacionales.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Breve Reseña Histórica de los Biocombustibles

La historia de los biocombustibles y la idea de utilizarlos como combustibles no es nueva, la misma se remonta a principios del siglo XX. Para poder entenderla, es necesario recordar lo que dijeron e hicieron dos de los padres de la industria automotriz: Sir Rudolph Diésel y Henry Ford.

El primero, quien creó el motor de diésel en 1895, dijo: “El uso de aceites vegetales como combustibles puede parecer insignificante ahora. Pero estos aceites pueden convertirse con el paso del tiempo en tan importantes como los productos del petróleo o el carbón son ahora”.

Rudolf Diésel, entre 1893 y 1897 construyó el primer motor del mundo que quemaba aceite vegetal (aceite de palma) en condiciones de trabajo. Usó aceite de maní en sus motores de compresión, para impulsar una de sus creaciones en la exposición de París de 1900.

Por otra parte, según se indicó en 1925 en el New York Times, Henry Ford predijo que el etanol sería el combustible del futuro: “Existe combustible en cada partícula de materia vegetal que puede ser fermentable. Existe suficiente alcohol en la cosecha de un año de un acre de papas como para movilizar la maquinaria necesaria para cultivarla por 100 años.”

Luego, a lo largo del siglo XX se llevaron a cabo varias experiencias en la utilización de aceites vegetales como combustible, pero sin lograr alcanzar mayor trascendencia. Fue a partir de la década del 70, que los biocombustibles comenzaron a desarrollarse de forma significativa a raíz de la crisis energética que tuvo lugar en esos años, en donde el precio del petróleo alcanzó niveles muy altos debido a que hubo reducciones del lado de la oferta.

En 1975, con el lanzamiento del Programa Nacional de Alcohol (PROALCOÓL), en Brasil, se puso en marcha el que es considerado como el primer y mayor programa de energías renovables a gran escala hasta la fecha, cuyo objetivo era el de estimular la

sustitución de las gasolinas por alcohol, y en consecuencia, reducir la dependencia del país frente a la utilización de combustibles fósiles (en relación a la importación de petróleo).

Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se realizaron en 1982, en Austria y Alemania, y fue en 1985 cuando en Silberberg (Austria) se construyó la primera planta piloto de producción del mismo. Actualmente países como Alemania, Francia, Austria, Estados Unidos, Canadá, Suecia y Brasil, son pioneros en el desarrollo, producción y utilización del biodiesel.

Hoy en día, los biocombustibles se han transformado en una fuente natural e importante de energía alternativa. Debido a la volatilidad del precio del petróleo, al eventual agotamiento de los combustibles fósiles y al calentamiento global, estos combustibles son cada vez más utilizados a nivel mundial.

## **2.2 Biocombustibles**

Biocombustibles es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa; es decir, organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos.

Desde una perspectiva etimológica, serían los combustibles de origen biológico, pero esta definición incluiría el petróleo, ya que este procede de restos fósiles que existen desde hace millones de años. Una mejor definición sería que son combustibles de origen biológico obtenidos de manera renovable a partir de restos orgánicos.

Son alcoholes, éteres, ésteres y otros componentes químicos obtenidos a partir de productos agrícolas, del procesamiento de productos agroindustriales o de residuos orgánicos, llamados biomasa, como las plantas herbáceas y leñosas, residuos de la agricultura y actividad forestal, y una gran cantidad de desechos industriales, como los desperdicios de la industria alimenticia.

Los biocombustibles constituyen la primera fuente de energía que conoció la humanidad. Entre las fuentes de los biocombustibles, están la biomasa proveniente de cultivos como caña de azúcar, maíz, sorgo, yuca y otros, usada para producir etanol, y

los aceites provenientes de palma africana, soja, higuera, jatrofa curcas, colza y otras plantas, utilizados para producir biodiesel. Los biocombustibles se encuentran clasificados dentro de las energías de base renovable.

A su vez, se entiende como energía renovable a aquella energía producida y/o derivada de fuentes que se renuevan ilimitadamente (hídrica, solar y eólica) o generada por combustibles renovables (biomasa producida en forma sostenible); se expresa generalmente en unidades de energía y, en el caso de los combustibles, se basan en valores caloríficos netos.

Los combustibles de origen biológico pueden sustituir parte del consumo en combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo o el carbón.

A continuación se describe la clasificación de los biocombustibles.

### 2.2.1 Clasificación de Biocombustibles

De manera general los biocombustibles se clasifican en:

- **Etanol** (destilado de vegetales y residuos).
- **Metanol** (destilado de la madera y pirólisis de vegetales y residuos).
- **Metano** (gas, descomposición de residuos y fangos de depuradoras).
- **Bioaceites** (aceites extraídos de plantas como la soja, el girasol, la oliva, el cáñamo, etc.).
- **Biodiesel** (transesterificación de aceites vegetales, manufacturación a partir de
- alcoholes).

A su vez, estos biocombustibles ofrecen diversas posibilidades de mezclas con los siguientes nombres y propiedades:

- **MTBE** (metil terbutil éter): Aditivo que oxigena la gasolina y reduce la emisión de monóxido de carbono. Es importante señalar que en Estados Unidos se ha prohibido su uso debido a su toxicidad.
- **E85**: Mezcla de 85% de bioetanol y 15 % de gasolina, utilizada en vehículos con motores especiales. En EEUU las marcas más conocidas ofrecen vehículos adaptados a estas mezclas. También se comercializan, en algunos

países (EEUU, Brasil, Suecia,) los llamados vehículos FFV (Flexible Fuel Vehicles) o Vehículos de Combustibles Flexibles con motores adaptados que permiten una variedad de mezclas.

- **METANOL:** Se denomina alcohol metálico o alcohol "de madera" porque originalmente se obtenía de la destilación de esta materia prima en ausencia de aire. Actualmente puede producirse a partir de gas natural, carbón, madera, e incluso de residuos orgánicos (biomasa celulósica).
- **E5:** Significa una mezcla del 5% de bioetanol y el 95% de Gasolina normal. Esta es la mezcla habitual y mezcla máxima autorizada en la actualidad por la regulación europea, sin embargo, es previsible una modificación de la normativa europea que aumentará éste límite al 10% (E10) ya que diferentes estudios constatan que los vehículos actuales toleran sin problemas mezclas hasta el 10% de bioetanol y los beneficios para el medioambiente son significativos.
- **E10:** Significa una mezcla del 10% de bioetanol y el 90% de gasolina normal. Esta mezcla es la más utilizada ya que hasta esta proporción de mezcla los motores de los vehículos no requieren ninguna modificación e incluso produce la elevación del número de octano en la gasolina mejorando su resultado y obteniendo una notable reducción en la emisión de gases contaminantes.
- **ETBE:** Un biocombustible derivado del bioetanol es el ETBE (etil ter-butyl eter) que se obtiene por síntesis del bioetanol con el isobutileno, subproducto de la destilación del petróleo. El ETBE posee las ventajas de ser menos volátil y más miscible con la gasolina que el propio etanol y, como el bioetanol, se añade a la gasolina en proporciones del 10-15%. La adición de ETBE o bioetanol sirve para aumentar el índice de octano de la gasolina, evitando la adición de sales de plomo. Este compuesto es el más utilizado, siendo hasta el momento la mejor forma de aprovechar el bioetanol.
- **E95 y E100:** Mezclas hasta el 95% y 100% de bioetanol son utilizados en algunos países como Brasil con motores especiales.

### 2.3 Etanol

El etanol es un alcohol de origen vegetal, fabricado a partir de materias ricas en azúcares o en almidón como, por ejemplo, la remolacha, la caña de azúcar, sorgo, maíz o algunos cereales como el trigo y la cebada.

El etanol puede producirse de dos formas. La mayor parte de la producción mundial se obtiene del procesamiento de materia biológica, en particular de ciertas plantas con azúcares. El etanol así producido se conoce como bioetanol. Por otra parte, también puede obtenerse etanol mediante la modificación química del etileno, por hidratación.

Este etanol, conocido como bioetanol, está sujeto a una fuerte polémica, para unos se perfila como un recurso energético potencialmente sostenible que puede ofrecer ventajas medioambientales y económicas a largo plazo en contraposición a los combustibles fósiles, mientras que para otros es el responsable de grandes deforestaciones y del aumento del precio de los alimentos, al suplantar territorios vírgenes y terrenos agrícolas para su producción, dudando además de su rentabilidad energética. A pesar de que se obtiene fácilmente del azúcar o del almidón en cosechas de maíz y caña de azúcar, entre otros, los actuales métodos de producción de bioetanol utilizan una cantidad significativa de energía en comparación con la energía obtenida del combustible obtenido. Por esta razón no es posible sustituir enteramente el consumo actual de combustibles fósiles por bioetanol.

Dadas sus propiedades químicas puede sustituir o mezclarse con gasolinas de origen fósil y su uso se ha extendido principalmente para reemplazar el consumo de derivados de petróleo.

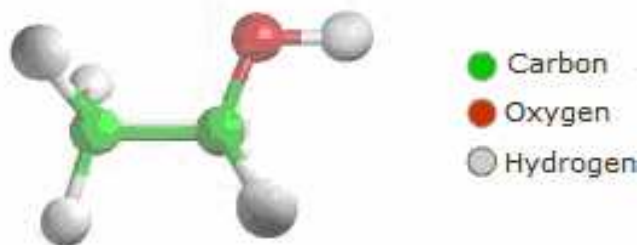
El etanol se utiliza cada vez más como añadido para oxigenar la gasolina estándar, reemplazando al MTBE (éter metil éter-butílico). Este último es responsable de una considerable contaminación del suelo y del agua subterránea. También puede utilizarse como combustible en las celdas de combustible.

Se pueden encontrar dos tipos de etanol utilizados como combustibles o aditivos, el etanol anhidro y el etanol hidratado. Se diferencian en el contenido de agua que poseen, que es de aproximadamente 0,5% en el anhidro y cercano al 5% en el hidratado. El

primero se utiliza mezclado con gasolinas de origen fósil, mientras que el hidratado se utiliza puro en los vehículos que han sido debidamente adaptados para este combustible. El etanol hidratado proviene directamente de la torre de destilación, mientras que para obtener el anhidro, se requiere un proceso adicional, mediante el cual se remueve la mayoría del agua del combustible.

En mezclas con gasolina, aumenta el número de octanos, mejorando la combustión y además reduce las emisiones contaminantes como el monóxido de carbono e hidrocarburos. Las dos mezclas comunes son E10 Y E85 que contienen el etanol al 10% y al 85% respectivamente.

**Figura 2.1: Molécula de Etanol  $C_2 H_5 OH$**



**Fuente: Díaz Rafael. (2015). Alcohol Etilico: Fórmula, propiedades, riesgos y usos. Disponible en: <https://www.lifeder.com/alcohol-etilico/>**

Si esta sustancia procede de plantas, entonces al ser quemada (oxidada) devuelve a la atmósfera el dióxido de carbono que la planta tomó del aire tiempo atrás. Por tanto, desde el punto de vista ecológico es un sistema que respeta el medio ambiente, pues no hay un aumento neto de gases de efecto invernadero, pero hay que considerar la energía utilizada para su producción y solo así tener un balance final.

### **2.3.1 Propiedades del etanol**

El etanol quizá sea el más importante de la serie de los alcoholes, debido a sus aplicaciones: como solvente inerte en laboratorios, preparación de bebidas alcohólicas, fabricación de perfumes, preparación de barnices, lacas y explosivos. En medicina como desinfectante y antiséptico. Y últimamente mezclado con gasolina para uso como combustible en Motores de Combustión Interna. Todo esto debido a sus propiedades:



- Soluble al agua
- Mayor densidad que la gasolina
- Contiene el 72% de energía de la gasolina
- Mayor octanaje que la gasolina
- Su llama es invisible Conductor de electricidad Contiene oxígeno, etc.

### 2.3.2 Proceso de obtención de etanol

El Etanol es el alcohol etílico producido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales (cereales, caña de azúcar, remolacha o biomasa) combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa. Dependiendo de su fuente de obtención, su producción implica fundamentalmente el proceso de separación de los azúcares, y la fermentación y destilación de los mismos.

Al obtener los azúcares, a partir de un proceso de fermentación o destilación se obtiene el Etanol hidratado. Para llegar al Etanol carburante (Anhidro), se hace un proceso de deshidratación.

En general, se utilizan tres familias de productos para la obtención del alcohol:

- a) Azúcares, procedentes de la caña o la remolacha, por ejemplo.
- b) Cereales, mediante la fermentación de los azúcares del almidón.
- c) Biomasa, por la fermentación de los azúcares contenidos en la celulosa y hemicelulosa.

Para producir etanol de granos como el maíz es necesario convertir los almidones del grano en azúcares, lo que se consigue por medio de enzimas. Los azúcares resultantes se fermentan, proceso mediante el cual se obtiene el etanol.

En el caso de la caña de azúcar, el proceso es un poco más simple, pues no se requieren las enzimas, ya que aproximadamente el 20% de la caña ya es azúcar. La caña se empieza a fermentar desde que es cortada, pero para obtener etanol se la debe someter a un proceso de fermentación realizado en los ingenios.

El esquema general de fabricación del bioetanol, muestra las siguientes fases en el proceso:

- a) **Dilución:** es la adición del agua para ajustar la cantidad de azúcar en la mezcla o, en última instancia, la cantidad de alcohol en el producto. Es necesaria porque la levadura, usada más adelante en el proceso de fermentación, puede morir debido a una concentración demasiado grande del alcohol.
- b) **Conversión:** la conversión es el proceso de convertir el almidón/celulosa en azúcares fermentables. Puede ser lograda por el uso de la malta, extractos de enzimas contenidas en la malta, o por el tratamiento del almidón (o de la celulosa) con el ácido en un proceso de hidrólisis ácida.
- c) **Fermentación:** la fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico realizado por las levaduras, básicamente. De la fermentación alcohólica se obtienen un gran número de productos, entre ellos el alcohol.
- d) **Destilación o Deshidratación:** la destilación es la operación de separar, mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla (etanol/agua). Una forma de destilación, conocida desde la antigüedad, es la obtención de alcohol aplicando calor a una mezcla fermentada.

El método más antiguo para separar el etanol del agua es la destilación simple, pero la pureza está limitada a un 95-96% debido a la formación de un azeótropo de agua/etanol de bajo punto de ebullición. En el transcurso de la destilación hay que desechar la primera fracción que contiene principalmente metanol, formado en reacciones secundarias.

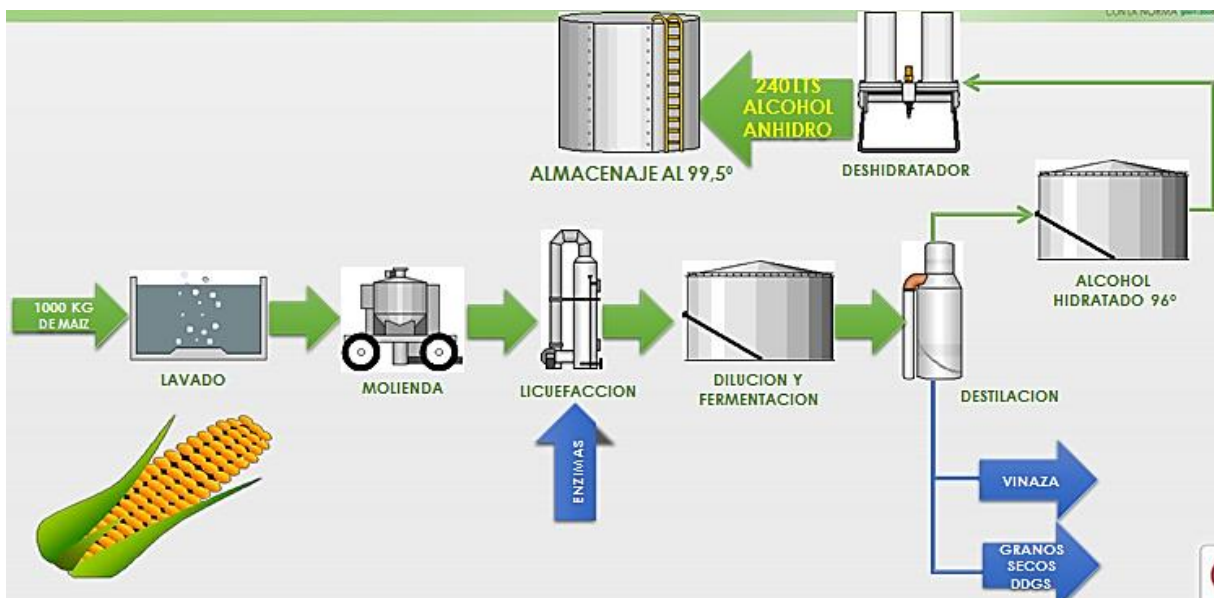
Para poder utilizar el etanol como combustible mezclándolo con gasolina (anhidro), hay que eliminar el agua hasta alcanzar una pureza del 99,5 al 99,9%. El valor exacto depende de la temperatura, que determina cuándo ocurre la separación entre las fases agua e hidrocarburos.

Para obtener etanol libre de agua se aplica la destilación azeotrópica en una mezcla con benceno o ciclo hexano. De estas mezclas se destila a temperaturas más bajas el azeótropo, formado por el disolvente auxiliar con el agua, mientras que en el etanol se queda retenido. Otro método de purificación muy utilizado actualmente es la absorción física mediante tamices moleculares.

### 2.3.2.1 Obtención de azúcar y alcohol a partir de maíz

Este tipo de tecnología de optimización para la obtención de bioetanol, aún no se implementó en Bolivia; sin embargo, la empresa AgroSol tiene planeado implementar una destilería en la ciudad de Santa Cruz, manejando el esquema que se muestra a continuación:

**Figura 2.2: Planta para la obtención de azúcar y alcohol a partir de maíz**



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2017). Presentación Etanol.

El proceso mostrado en la figura 2.3 se lo describe de la siguiente manera:

- **Molienda:** El proceso de molienda seca comienza con la limpieza del grano de maíz (puede ser cebada, trigo o sorgo), que una vez limpio pasa a través de los molinos que lo muelen en un polvo fino –harina de maíz.
- **Licuefacción:** La harina de maíz se sopla en grandes tanques donde se la mezcla con agua y las enzimas –amilasa alfa- y pasa a través de las cocinas donde se licua el almidón. A la mezcla se le agregan componentes químicos para mantenerla con un pH de 7. En esta etapa se aplica calor para permitir la licuefacción, en una primera etapa a alta temperatura (120-150°C) y luego a temperatura más baja (95°C). Estas altas temperaturas reducen los niveles de bacterias presentes en el puré o mosto.

- **Sacarificación:** El puré de las cocinas luego es refrescado –a una temperatura levemente debajo del punto de ebullición del agua- y se le agrega una enzima secundaria (glucoamilasa) para convertir las moléculas del almidón licuado en azúcares fermentables (dextrosa) mediante el proceso de sacarificación. Las enzimas funcionan como catalizadores para acelerar los cambios químicos.
- **Fermentación:** El etanol es producto de la fermentación. Al puré se le agrega levadura para fermentar los azúcares (cada molécula de glucosa produce dos moléculas de etanol y dos de dióxido de carbono) y con ello obtener el etanol y el anhídrido carbónico. Usando un proceso continuo, el puré fluirá a través de varios fermentadores hasta que fermente completamente. En este proceso el puré permanece cerca de 48 horas antes que comience el proceso de destilación. En la fermentación, el etanol conserva mucha de la energía que estaba originalmente en el azúcar, lo cual explica que el etanol sea un excelente combustible.
- **Destilación:** El puré fermentado, ahora llamado cerveza, contendrá alcohol –cerca del 15%- y agua –al 85%-, así como todos los sólidos no fermentables del maíz y de la levadura. El puré entonces será bombeado a un flujo continuo, en el sistema de la columna de destilación, donde la cerveza se hierve, separándose el alcohol etílico de los sólidos y del agua. El alcohol dejará la columna de destilación con una pureza del 90 al 96%, y el puré de residuo, llamado stillage, será transferido de la base de la columna para su procesamiento como subproducto.
- **Deshidratación:** El alcohol pasa a través de un sistema que le quita el agua restante. La mayoría de las plantas utilizan un tamiz molecular para capturar las partículas de agua que contiene el etanol al momento de salir del sistema de destilación. El alcohol puro, sin el agua, se lo denomina alcohol anhidro.
- **Desnaturalizado:** El etanol que será usado como combustible se debe desnaturalizar con una cantidad pequeña (2-5%) de algún producto, como nafta, para hacerlo no apto para el consumo humano.
- **Subproductos:** Hay dos subproductos principales del proceso: el anhídrido carbónico y los granos destilados. El anhídrido carbónico se obtiene en grandes

cantidades durante la fermentación. Muchas plantas lo recogen, lo limpian de cualquier alcohol residual, lo comprimen y lo venden para ser usado como gasificante de las bebidas o para congelar carne. Los granos destilados, húmedos y secos (DDGS), se obtienen del stillage, el cual se centrifuga para separar los sólidos suspendidos y disueltos. Un evaporador se utiliza para concentrar los sólidos suspendidos y disueltos y después se envían a un sistema de secado para reducir el contenido de agua a aproximadamente un 10/12%. Los DDGS contienen el núcleo del maíz menos el almidón. Algunas plantas también elaboran un jarabe que contiene algunos de los sólidos que pueden ser comercializados juntos o en forma independiente de los granos destilados.

### **Otros (Molienda húmeda)**

La molienda húmeda es un proceso capital intensivo, en el cual las plantas procesan un gran volumen de granos. En general la capacidad instalada es de varias centenas de millones de litros de etanol/año, mientras que las plantas que trabajan bajo el proceso de molienda seca a lo sumo disponen de una capacidad de producción anual de 230 millones de litros (60 millones de galones).

La operación de molienda húmeda es más compleja porque el grano se debe separar en sus componentes, con la ventaja que al lograr una separación más efectiva de los mismos se obtienen subproductos de mayor valor agregado. En la molienda húmeda solamente el almidón se fermenta mientras en la molienda seca se fermenta el puré entero.

La molienda húmeda consiste en empapar el maíz en agua caliente en un proceso llamado empapamiento, luego se retira el agua y los núcleos ablandados pasan a los molinos y a los separadores donde se separa el germen, extrayéndose de éste el aceite de maíz. Las piezas restantes –almidón, gluten y fibras- se muelen y se pasan a través de separadores donde se retira la fibra, se separa el almidón y el gluten. Luego se lava y se seca el almidón que puede ser usado como almidón o ser convertido en dulcificantes (jarabes de maíz, maicenas o etanol).

Sintéticamente los pasos del proceso son los siguientes:

- Almacenamiento y limpieza.
- Maceración del grano de maíz.
- Molienda gruesa (obtención del germen).
- Molienda fina (obtención del gluten feed).
- Separación del gluten y almidón (obtención del gluten meal y del almidón).
- Hidrólisis del almidón.

### **2.3.3 Impacto Ambiental de la Producción de Etanol**

La pérdida de la autosuficiencia de combustibles fósiles, la importación de crudo para abastecer las refinerías y el cumplimiento de la legislación ambiental ha llevado a considerar el etanol como la solución más viable para sustituir parte de las importaciones de gasolina y mejorar la calidad del aire de las ciudades boliviana. Es entonces que nace la necesidad de evaluar desde el punto de vista ambiental, los procesos para la producción de etanol a partir de recursos agrícolas propios del país, como la caña de azúcar y el maíz.

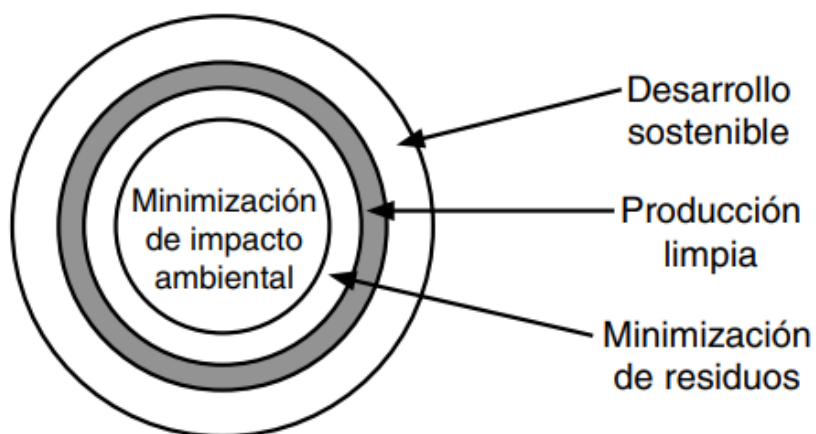
El punto de partida para satisfacer los estándares de producción limpia es el diagnóstico ambiental del proceso industrial, a fin de determinar las oportunidades de prevención y reducción en el origen de la contaminación y las alternativas viables para realizar dicha reducción. Es así como en las últimas cuatro décadas el diseño de procesos y la manufactura de sustancias químicas han experimentado gran evolución en este sentido. Inicialmente los sistemas de reacción y separación eran diseñados y optimizados sólo con un objetivo económico.

Hoy en día, bajo el esquema de producción limpia, deben tenerse en cuenta en forma adicional al objetivo económico y energético, tanto la consideración de los impactos ambientales del proceso, así como otras etapas del ciclo de vida del producto.

La minimización de residuos se ha estudiado extensamente en la industria y los círculos académicos, como una de las herramientas para alcanzar la producción limpia y contribuir al desarrollo sostenible. Esta herramienta incorpora tanto la reducción en la fuente como el uso de reciclados para reducir las cantidades y riesgos de los residuos; sin

embargo, no diferencia entre residuos peligrosos y no peligrosos. En este sentido, la minimización del impacto ambiental es una norma más estricta y aunque tiene alcances similares a los de la minimización de residuos, resalta más los diferentes impactos de las especies químicas sobre el ambiente.

**Figura 2.3: Alcances del desarrollo sostenible**



**Fuente: Montoya María Isabel. (2016). Evaluación del impacto ambiental del proceso de obtención de alcohol carburante. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.**

La evaluación del impacto ambiental de un proceso puede ser vista como un problema de decisión que involucra dos niveles: índices de inspección del proceso e indicadores de desempeño ambiental en cuanto a las especies químicas. Siendo la base de los índices de inspección, los indicadores de desempeño ambiental ofrecen suficiente flexibilidad para considerar el destino de todos los componentes involucrados y sus posteriores impactos.

Se debe tener en cuenta que el etanol produce  $\text{CO}_2$  en su combustión. De este modo, no se puede hablar de una energía completamente limpia o renovable. Sin embargo, es cierto que el nivel de gases emanados de efecto invernadero es considerablemente más bajo si se lo compara con otros combustibles como la gasolina por ejemplo.

De hecho, el dióxido de carbono que genera, proviene en última instancia del  $\text{CO}_2$  absorbido por la planta cuando estaba en crecimiento, por lo que hay quienes consideran que, si se evita la emisión de  $\text{CO}_2$  para su producción y transporte, la huella de la combustión de este tipo de combustible va a ser neutra al emitir  $\text{CO}_2$  que fue previamente absorbido de la atmósfera.

## 2.4 Octanaje (Número de Octano)

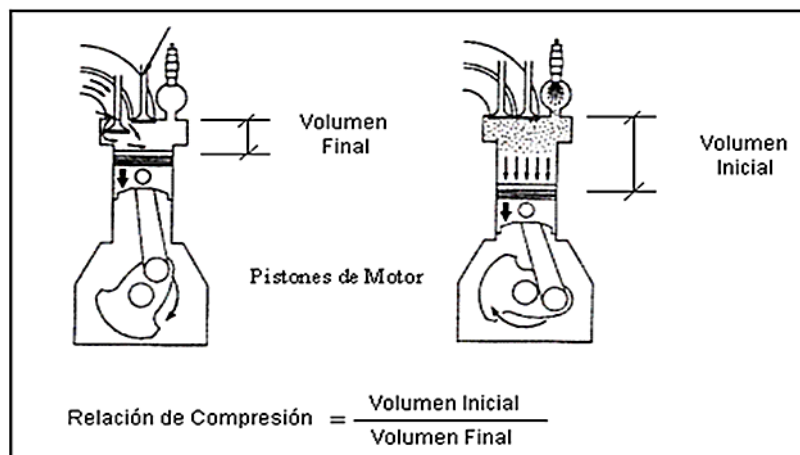
Es una característica esencial de las gasolinas o carburantes utilizados en los motores de encendido por bujía. El octanaje determina las cualidades antidetonantes de combustión de las gasolinas, por tanto está directamente asociada al rendimiento. Este último es proporcional a la relación de compresión que se alcanza.

Se define como relación de compresión a la relación entre el volumen libre en el cilindro del motor cuando el pistón es desplazado y el volumen libre del cilindro que ocupan los gases al comprimirse. La combustión de la mezcla aire/gasolina iniciada por la chispa de una bujía, se propaga mediante ondas concéntricas, que comprimen el pistón y la mezcla aun no quemada, elevando la temperatura.

En las reacciones de combustión, existe la formación de compuestos intermedios (peróxidos), cuya cantidad en la mezcla residual al alcanzar cierto valor, se descomponen violentamente, provocando una explosión o detonación.

Esta detonación debe de coincidir al alcanzar la relación de compresión; si sucede antes, entonces se generará un golpeteo que no dejará alcanzar la relación de compresión eficiente; y en adición, se alterará negativamente las propiedades mecánicas y térmicas del motor. Si la detonación ocurre después de alcanzar la relación de compresión, no se presentará el golpeteo.

**Figura 2.4: Relación de compresión alcanzada por los pistones de un motor**



Fuente: Peláez Jesús. (2009). Excelencias del Motor. Madrid, España.



En base a lo mencionado, cada motor debe emplear el combustible para el que fue diseñado, dado que el uso de una gasolina de mayor octanaje tendría el mismo efecto que aquella requerida para el adecuado funcionamiento del motor.

La definición de número de octano indica el efecto equivalente que tiene una mezcla de n- heptano e iso-octano en un motor. Es decir, si el octanaje es por ejemplo 90, significa que tendrá un efecto de golpeteo similar al generado por una mezcla de 90 partes de iso-octano y 10 partes de n-heptano. El ensayo empleado para la determinación del octanaje se realiza mediante el procedimiento descrito en la norma ASTM D-2699.

#### **2.4.1 Elevadores de Octanaje**

Siendo el octanaje una de las más importantes propiedades de la gasolina, se ha encontrado que la adición en pequeños porcentajes de aditivos incrementa el octanaje. El MMT es dosificado en las gasolinas para alcanzar un incremento de 2 a 3 octanos, mientras que los productos oxigenados como MTBE, ETBE, Etanol, etc., son empleados en cantidades mayores, llegando en algunos casos (etanol) a usarse como compuesto principal de los combustibles.

##### **2.4.1.1 Metil Ter-Butil Éter (MTBE)**

El metil tert butil éter es un compuesto orgánico utilizado como aditivo oxigenante de las gasolinas, tiene un octanaje de 119, presión de vapor Reid 9 psi y punto de ebullición de 109° F. Su uso fue promovido en los últimos años con el objeto de aumentar el octanaje de las gasolinas al reducir notablemente la generación de monóxido de carbono y de ozono, así como la presencia de partículas de plomo, provenientes de las emisiones vehiculares. A principios de la década de los ochenta se le consideró un compuesto revolucionario de alto beneficio en el control de la contaminación del aire; sin embargo, en la actualidad su uso está desaconsejado por ser un compuesto agresivo al medio ambiente, pues tiene el potencial de contaminar la capa freática, además de otros problemas.

#### **2.4.1.2 Etil Ter-Butil Éter (ETBE)**

A diferencia del anterior, éste tiene mejores cualidades para realizar las mezclas, debido al bajo PVR que presenta, el cual está alrededor de 4 psi. Asimismo, presenta un octanaje de 119. Actualmente se ha desfasado el consumo de MTBE por el de ETBE, debido a que estudios sobre el primero han determinado su alta toxicidad generada por la combustión de la mezcla gasolina/MTBE. Uno de los productos intermedios de la reacción de combustión de esta mezcla es el formaldehído, el cual es altamente tóxico, a diferencia del acetaldehído, producto intermedio de la reacción de combustión gasolina/ETBE que es menos tóxico.

#### **2.4.1.3 Metil Ciclopentadienil Tricarbonil Manganeso (MMT)**

Uno de los aditivos más utilizados a nivel internacional es el Metil Ciclopentadienil Tricarbonil Manganeso (MMT), compuesto órgano-metálico reconocido como aditivo antidetonante de las gasolinas. Cuando es añadido en concentraciones entre 10 – 18 mg Mn/litro de gasolina, éste provee una ganancia de octanaje alrededor de 1-2 RON.

El MMT es utilizado en refinerías a fin de alcanzar especificaciones de octanaje de conformidad con las regulaciones establecidas, lo que facilita ciertos aspectos operacionales de la refinería. El MMT ha sido usado en forma continua en las gasolinas sin plomo en Canadá desde 1977 hasta la presente fecha.

Su uso alcanzó cerca del 100% de las gasolinas a partir de 1990, cuando el plomo en las gasolinas fue prohibido en Canadá. Actualmente la autorización explícita sobre su uso se ha extendido a un gran número de países tales como Australia, USA, China, Francia, Reino Unido, Argentina, Rusia, Canadá, etc. MMT es hoy empleado, entre otros, en muchos países de Latinoamérica como Argentina, Bolivia, Perú, diversos países de Centroamérica y del Caribe, etc. El uso de MMT hoy día alcanza a más de 45 países en los cinco continentes.

Sin embargo, estudios recientes demuestran que el MMT afecta principalmente al catalizador cuya función es evitar que el vehículo expulse gases contaminantes además que aumenta el consumo de gasolina, baja la potencia del vehículo, y algunas piezas del vehículo se podrían ver afectadas por la utilización de este tipo de aditivo en la gasolina.

## 2.5 Mezcla de Gasolinas

### 2.5.1 Número de octanos de una mezcla

En el blending (mezcla) de gasolinas, el número de octano de una mezcla de gasolinas no puede ser determinado linealmente a partir de los octanajes de sus componentes, es por esta razón que se emplea índices obtenidos a través de la experiencia para la determinación del octanaje de una mezcla. El número de octano de una mezcla se define mediante la siguiente fórmula:

$$B_t \times RBN_t = \sum (B_i \times RBN_i)$$

Dónde:

**B<sub>t</sub>** = Volumen de gasolina total mezclada, bbl.

**RBN<sub>t</sub>** = índice lineal de octanaje de la mezcla final

**B<sub>i</sub>** = Volumen total de cada componente i, bbl.

**RBN<sub>i</sub>** = índice lineal de octanaje de cada componente

### 2.5.2 Punto de Inflamación

Se define como la mínima temperatura a la cual los vapores originados en el calentamiento de una muestra de combustible se inflaman cuando se ponen en contacto con una llama piloto de una forma determinada. Teniendo en cuenta el punto de inflamación se podrá estimar cuales van a ser las condiciones de almacenamiento de ese combustible.

### 2.5.3 Contenido de Azufre

El azufre que se encuentra en un combustible líquido deriva del crudo de petróleo del que procede el combustible y a veces puede derivar de algún proceso al que ha sido sometido en el fraccionamiento, interesará que el contenido de azufre sea el menor posible, ya que la legislación marca unos límites. Los problemas que puede provocar el azufre contenido en un combustible líquido son:

- Corrosiones en los equipos en los que se quema el combustible. Contaminación ambiental, que se debe evitar.
- Influye sobre el poder calórico del combustible, pudiendo hacer que sea menor. Puede variarlo bastante.

#### 2.5.4 Presión de Vapor Reid de una Mezcla

La Presión de Vapor Reid (PVR) de una mezcla se obtiene mediante la aplicación de la Ley de Raoult. Se calcula como el promedio de las Presiones de Vapor Reid de los componentes que conforman la mezcla [16].

La fórmula empleada para el cálculo es:

$$M_t (PVR)_t = \sum M_i (PVR)_i$$

Dónde:

**M<sub>t</sub>** = Número total de moles de la mezcla final

**(PVR)<sub>t</sub>** = Presión de Vapor Reid obtenida

**M<sub>i</sub>** = Número de moles del componente i

**(PVR)<sub>i</sub>** = Presión de Vapor Reid de cada componente

#### 2.6 Súper Etanol 92

La nueva Gasolina Súper Etanol 92 (GSE92) fue puesta a la venta en el mercado boliviano, de forma inicial en cerca de 20 estaciones de servicio de Santa Cruz a un costo de Bs 4,50 el litro. Luego su comercialización fue extendida hasta llegar a los departamentos La Paz, Cochabamba y Tarija. Actualmente la GSE92 es comercializada en 500 surtidores de Bolivia.

El primer despacho del producto fue hacia el surtidor “El Parí”, mientras que la venta comenzó esa misma semana, después de que la Asociación Departamental de Propietarios de Estaciones de Servicio de Combustibles derivados de Hidrocarburos (Asosur Santa Cruz) comunicase oficialmente la ubicación de los surtidores que vendían el bioetanol.

Por otro lado, la Asosur Santa Cruz menciona el trabajo contrarreloj para invertir en las plantas industriales, con las condiciones técnicas que hagan viable la producción de etanol. La gasolina base de la GSE92 es provista en su totalidad por YPFB Refinación, mientras que el etanol anhidro para la mezcla (biocombustible) es entregado por los ingenios Guabirá, Aguaí, Unagro en volúmenes iguales (hasta fin de la gestión 2018 aproximadamente se entregaron dos millones de litros por ingenio, y la presente gestión serán entregados al menos 80 millones de litros, entre las tres agroindustrias cañeras y azucareras).

La incorporación de alcohol anhidro como aditivo de la gasolina al 12% en una mezcla con gasolina base al 88% por cada litro del combustible, se traduce en una serie de beneficios, tales como la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, nuevas e importantes inversiones en el complejo agrícola alcoholero del orden de \$us 1.600 millones para la ampliación de la capacidad de siembra, molienda y procesamiento de caña de azúcar.

“Cuando se cargue en un vehículo el primer litro de GSE92, todos nuestros cálculos en términos de beneficio para Bolivia, se comenzarán a concretar y entraremos de forma directa a la era de los biocombustibles, que traerá beneficios a los consumidores con un producto menos contaminante y que potenciará el funcionamiento de los motores al darle mayor octanaje y mayor potencia”, indicaron autoridades del gobierno.

También, se debe enfatizar en el trabajo técnico y alianzas entre el sector privado y el Gobierno Nacional y en la reducción del gasto de divisas del erario público en las importaciones de combustibles. Asimismo, no se descarta implementar el biodiesel, con la experiencia adquirida del etanol, ya que es impulsará más la cadena productiva desde el campo, pasando por las plantas industriales y llegando a los consumidores bolivianos que tendrán el suficiente combustible para sus equipos, maquinarias y vehículos.

Por su lado y en representación de 740 estaciones de servicio de Bolivia, la presidenta de la Asociación Nacional de Surtidores (Asosur), Lily Fiorilo, considera que la venta del nuevo combustible Súper Etanol 92 permite estar a la altura de otros países que ya comercializan productos similares desde hace 25 años, con experiencias positivas.

El Súper Etanol 92 es una alternativa a la gasolina especial y su alto octanaje cuida el motor de los vehículos porque permite que los motorizados arranquen en frío. Sin embargo, la venta de gasolina especial es normal, al mismo costo de siempre y en los mismos volúmenes, ya que la comercialización del Súper Etanol 92 sólo es una alternativa para acentuar la soberanía energética de Bolivia. En función a la demanda, Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos prevé que este combustible “verde” pueda alcanzar volúmenes de comercialización de hasta 55 mil metros cúbicos mensuales, los cuales tendrán su impacto directo sobre la comercialización de los demás combustibles.

### **2.6.1 Reducción de la importación**

Al momento de su comercialización el proyecto del bioetanol demandó una inversión privada de \$us 1.600 millones y generó hasta la fecha más de 20.000 empleos, entre directos e indirectos, principalmente en el área rural.

Dada que su composición química lleva un 12% de alcohol anhidro y 88% de gasolina base, su producción evita la fuga de divisas al extranjero por la importación de insumos y aditivos. Además, la producción y venta del etanol tiene un fuerte impacto no sólo en la economía del país, sino también en el medio ambiente debido a la baja emisión GEI.

Es muy probable de que la era de los biocombustibles traiga beneficios para los consumidores con un producto menos contaminante y potencie el funcionamiento de los motores al darle mayor octanaje.

### **2.7 Matriz FODA**

Se trata de un acrónimo de Fortalezas (factores críticos positivos con los que se cuenta), oportunidades, (aspectos positivos que podemos aprovechar utilizando nuestras fortalezas), debilidades, (factores críticos negativos que se deben eliminar o reducir) y amenazas, (aspectos negativos externos que podrían obstaculizar el logro de nuestros objetivos).

También se puede encontrar en diferentes bibliografías en castellano como “Matriz de Análisis DAFO”, o bien “SWOT Matrix” en inglés.

- **DAFO:** Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades

- **SWOT:** Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

La matriz FODA es una herramienta de análisis que puede ser aplicada a cualquier situación, individuo, producto, empresa, etc, que esté actuando como objeto de estudio en un momento determinado del tiempo.

Es como si se tomara una “radiografía” de una situación puntual de lo particular que se esté estudiando. Las variables analizadas y lo que ellas representan en la matriz son particulares de ese momento. Luego de analizarlas, se deberán tomar decisiones estratégicas para mejorar la situación actual en el futuro.

El análisis FODA es una herramienta que permite conformar un cuadro de la situación actual del objeto de estudio (persona, empresa u organización, etc) permitiendo de esta manera obtener un diagnóstico preciso que permite, en función de ello, tomar decisiones acordes con los objetivos y políticas formulados.

Luego de haber realizado el primer análisis FODA, se aconseja realizar sucesivos análisis de forma periódica teniendo como referencia el primero, con el propósito de conocer si estamos cumpliendo con los objetivos planteados en nuestra formulación estratégica.

Esto es aconsejable dado que las condiciones externas e internas son dinámicas y algunos factores cambian con el paso del tiempo, mientras que otros sufren modificaciones mínimas.

La frecuencia de estos análisis de actualización dependerá del tipo de objeto de estudio del cual se trate y en qué contexto lo estamos analizando.

En términos del proceso de Marketing en particular, y de la administración de empresas en general, diremos que la matriz FODA es el nexo que nos permite pasar del análisis de los ambientes interno y externo de la empresa hacia la formulación y selección de estrategias a seguir en el mercado.

El objetivo primario del análisis FODA consiste en obtener conclusiones sobre la forma en que el objeto estudiado será capaz de afrontar los cambios y las turbulencias en el contexto, (oportunidades y amenazas) a partir de sus fortalezas y debilidades internas.

Ese constituye el primer paso esencial para realizar un correcto análisis FODA. Cumplido el mismo, el siguiente consiste en determinar las estrategias a seguir.

Para comenzar un análisis FODA se debe hacer una distinción crucial entre las cuatro variables por separado y determinar qué elementos corresponden a cada una.

A su vez, en cada punto del tiempo en que se realice dicho análisis, resultaría aconsejable no sólo construir la matriz FODA correspondiente al presente, sino también proyectar distintos escenarios de futuro con sus consiguientes matrices FODA y plantear estrategias alternativas.

Tanto las fortalezas como las debilidades son internas de la organización, por lo que es posible actuar directamente sobre ellas. En cambio, las oportunidades y las amenazas son externas, y solo se puede tener injerencia sobre las ellas modificando los aspectos internos.

**Fortalezas:** son las capacidades especiales con que cuenta la empresa, y que le permite tener una posición privilegiada frente a la competencia. Recursos que se controlan, capacidades y habilidades que se poseen, actividades que se desarrollan positivamente, etc.

**Oportunidades:** son aquellos factores que resultan positivos, favorables, explotables, que se deben descubrir en el entorno en el que actúa la empresa, y que permiten obtener ventajas competitivas.

**Debilidades:** son aquellos factores que provocan una posición desfavorable frente a la competencia, recursos de los que se carece, habilidades que no se poseen, actividades que no se desarrollan positivamente, etc.

**Amenazas:** son aquellas situaciones que provienen del entorno y que pueden llegar a atentar incluso contra la permanencia de la organización.



## **CAPÍTULO III. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR LOS MOTORES A GASOLINA EN LA CIUDAD DE LA PAZ**

### **3.1 Antecedentes**

Los contaminantes atmosféricos más frecuentes y más ampliamente dispersos son el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, el ozono, el dióxido de carbono o las partículas en suspensión. El nivel suele expresarse en términos de concentración atmosférica (microgramos de contaminantes por metro cúbico de aire) o, en el caso de los gases, en partes por millón, es decir, el número de moléculas de contaminantes por millón de moléculas de aire. Muchos contaminantes proceden de fuentes fácilmente identificables. Los vehículos a motor, son la fuente de mayor contaminación ambiental, y son los generadores principales de:

- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de nitrógeno (NOX)
- Compuestos orgánicos volátiles (COV)
- Gases responsables del efecto invernadero (CO<sub>2</sub> y metano)

También, pese a los esfuerzos hechos por reducir los aditivos de plomo en los combustibles, las emisiones de compuestos de plomo aún son un problema de la calidad del aire. Los vehículos a motor contribuyen con otros contaminantes tóxicos como el benceno, 1.3-butadieno y otros carcinógenos asociados a pequeñas partículas sólidas emitidas por el escape. Ya que la flota de vehículos continúa creciendo en la ciudad de La Paz, las emisiones de los vehículos a motor y los productos de su transformación en la atmósfera se han convertido en parte importantes de casi cualquier problema de contaminación.

A continuación, se detalla información específica relacionada a la situación actual de la contaminación en la ciudad de La Paz; como también ciertos aspectos que tienen relación directa con la calidad del aire (condiciones atmosféricas, población, fuentes de emisión, parque automotor, etc.).

### 3.2 Fuentes de Emisión de Contaminantes de la ciudad de La Paz

En cuanto a las fuentes de emisión en la ciudad de La Paz, estas se agrupan en tres sectores:

- **Fuentes móviles**

Como fuentes móviles de emisión se puede identificar claramente, al parque automotor existente actualmente en la ciudad de La Paz, incluyendo automotores livianos y pesados.

- **Fuentes fijas o estacionarias**

Las fuentes fijas de emisión son: las emisiones producidas por las fábricas debido al uso de calderas, generadores o cualquier emisión producida por la combustión de un combustible que sea emanado por medio de una chimenea del sector industrial.

- **Fuentes de área**

Las fuentes de área se pueden agrupar en las siguientes cinco categorías:

- **Pérdidas evaporativas por transporte y almacenamiento de combustibles:** Almacenamiento masivo de gasolina, distribución y ventas de gasolina; almacenamiento de GLP, distribución de GLP, fugas de GLP en usos doméstico; recarga de aeronaves.
- **Evaporación de solventes:** Artes gráficas, consumo de solventes, lavado en seco, limpieza de superficies (desengrase), recubrimiento de superficies industriales, recubrimiento de superficies arquitectónicas, pintura automotriz, pintura de tránsito y esterilización en hospitales.
- **Fuentes evaporativas de hidrocarburos:** Aplicación de asfalto, panaderías, tratamiento de aguas residuales y rellenos sanitarios.
- **Fuentes móviles no carreteras:** Locomotoras de patio y aeropuerto (operaciones de aeronaves).
- **Fuentes de combustión:** Combustión residencial, combustión en hospitales, incendios en estructuras e incendios forestales. Las fuentes de área incluyen a las fuentes naturales tales como emisiones biogénicas e incendios y quemas con ese origen.

**Tabla 3.1: Consumo de energía por sector y tipo de combustible 2016, para la ciudad de La Paz**

Combustible	Despacho (1) gal	Consumo en la ciudad de La Paz				
		F. Móviles(2) gal	F. Fijas(4) gal	Otras(5) gal	Energía total	
					TJ	%
<b>Gasolina</b>	124 640 096	92 561 510			11 615	<b>36.5</b>
<b>Gasolina</b>	37 759 360	28 108 223			3 575	<b>11.2</b>
<b>Diésel</b>	2 591 795	2 314 190			323	<b>1.0</b>
<b>Diésel (23)</b>	135 502 305	59 963 303	10 009	6 328 381	10 637	<b>33.4</b>
<b>Diésel (14)</b>	2 642 250		1 909 026		266	<b>0.8</b>
<b>Diésel</b>	4 243 931		1 093 481		152	<b>0.5</b>
<b>Bunker(4)</b>			17 832		2 643	<b>8.3</b>
<b>GLP (kg)(1)</b>	56 408 304		5 717 623	35 088	1 931	<b>6.1</b>
<b>Madera (kg)(4)</b>			36 297		684	<b>2.1</b>
<b>TOTAL</b>					<b>31 824</b>	<b>100</b>

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

### 3.3 Características del Parque Automotor de la Ciudad de La Paz

El parque automotor de la ciudad de La Paz presenta las características principales de todo parque automotor los cuales son:

#### 3.3.1 Estructura

Desde el punto de vista mecánico, automóvil significa que se mueve por sí mismo, y se aplica para vehículos que se desplazan mediante la fuerza suministrada por un motor.

Para poder desplazarse con seguridad, el automóvil necesita de la participación de una serie de sistemas mecánicos que se realizan funciones diversas. Tener un sistema que proporcione energía de desplazamiento (motor) y un sistema que la traslade (transmisión) a los elementos en contacto con el suelo (ruedas), que a través de su adherencia a la calzada proporciona el movimiento del automóvil.

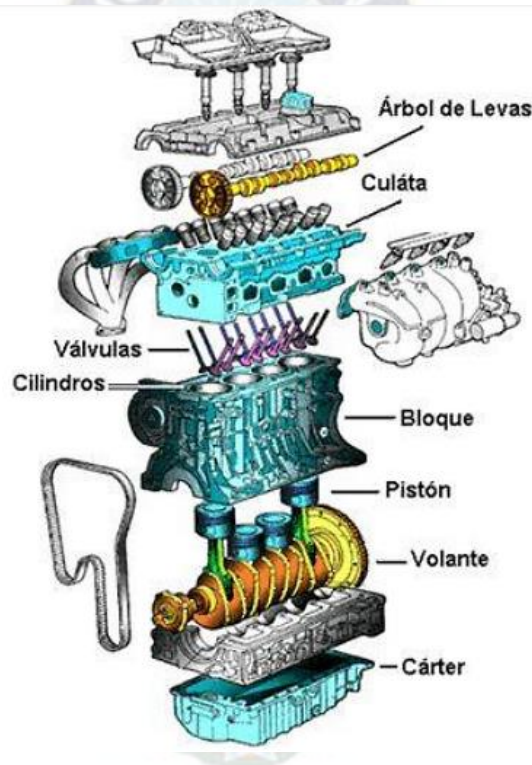
También ha de tener otras cualidades como estabilidad y comodidad (suspensión), debe poder ser dirigido por la trayectoria deseada (dirección) y poder aminorar la velocidad, ser detenido y permanecer inmovilizado (frenos), cuando sea necesario.

### 3.3.2 Motor

El motor de un auto es un motor de combustión interna y este es una máquina que obtiene energía mecánica desde la energía química que se genera cuando explota el combustible en el interior.

El principio de funcionamiento de estos motores consiste en transformar la energía generada en la explosión de la mezcla de combustible y aire en el interior del motor en energía mecánica, mediante el conjunto de elementos formados por el pistón, biela y manivela que la transmiten finalmente como movimiento al cigüeñal.

**Figura 3.1: Motor de un vehículo**



Fuente: Luján Eduardo. (2015). Educamos Conduciendo. Disponible en:  
<http://www.educamosconduciendo.com/biblioteca/elvehiculo>

Las partes de un motor son las siguientes:

- **Bloque de cilindros:** El bloque de cilindros es una pieza fundida donde se encuentran distribuidos los cilindros. Los cilindros son unos orificios por donde se desplazan los pistones y su principal función es la de recibir la mezcla de

aire y gasolina para luego comprimirla y hacerla explotar, generando la fuerza que se ha de transmitir finalmente a las ruedas.

- **Cárter de Aceite:** El cárter de aceite es una bandeja ubicada en la parte inferior del bloque de cilindros y su función principal es la de servir como depósito del aceite.
- **Culata:** La culata es la pieza ubicada en la parte superior del bloque de cilindros. Es la tapa de todos los cilindros, allí se ubican las bujías, las válvulas de admisión y de escape, y los conductos de entrada y salida de gases.
- **Gases de entrada:** La mezcla de aire y gasolina
- **Gases de salida:** El residuo de la combustión (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC)
- **Pistón:** Es un elemento que se desplaza en movimientos ascendentes y descendentes dentro de cada uno de los cilindros. Comunica la fuerza que produce la combustión a la biela, quien a su vez se la trasmite al cigüeñal.
- **Biela:** Es un brazo que transmite el movimiento ascendente y descendente del pistón al cigüeñal.
- **Cigüeñal:** Es un eje con codos en forma de manivela, que reciben el movimiento ascendente y descendente del conjunto biela-pistón, para convertir este movimiento en uno giratorio que será transmitido finalmente a las ruedas.

### 3.3.3 Frenos

Un freno es un dispositivo utilizado para detener o disminuir la velocidad de algún vehículo, generalmente, un eje, Eje de transmisión o tambor. Los frenos son transformadores de energía, por lo cual pueden ser entendidos como una máquina per se, ya que transforman la energía cinética de un cuerpo en calor o trabajo. A pesar de que los frenos son también máquinas, generalmente se les encuentra en la literatura del diseño como un elemento de máquina y en literaturas de teoría de control pueden encontrarse como actuadores.

Es utilizado por numerosos tipos de máquinas. Su aplicación es especialmente importante en los vehículos, como automóviles, trenes, aviones, motocicletas o bicicletas para mayor funcionamiento, seguridad, etc.

Figura 3.2: Frenos de un vehículo



Fuente: Luján Eduardo. (2015). Educamos Conduciendo. Disponible en:  
<http://www.educamosconduciendo.com/biblioteca/elvehiculo>

Las partes del freno son:

- **Bomba de Freno:** Es el elemento encargado de transmitir la presión ejercida por el conductor sobre el pedal del freno. Dicha presión es llevada por los conductos hasta las ruedas para detener su movimiento. Es una especie de jeringa llena con líquido de frenos.
- **Booster:** Esta ubicado generalmente entre el pedal del freno y la bomba, su misión es la de ayudar a empujar el embolo de la bomba. Esto hace que el conductor requiera menos fuerza para hundir el pedal. Sistema de Tambor o Campana.
- **Campana:** Tambor unido con la rueda, al detener la campana se detiene también la rueda.
- **Cilindro de rueda:** Pequeño cilindro ubicado dentro de campana. Recibe la presión que viene de la bomba del freno usándola para abrir las bandas que

detendrán la campana y por tanto las ruedas. Está constituido por, el cuerpo del cilindro dos émbolos metálicos.

- **Resorte de recuperación:** Resorte usado para regresar las bandas a su lugar original, evitando que las ruedas queden frenadas.
- **Forros:** Elementos construidos en un material de alta fricción como el asbesto, incorporados como forros de las bandas. Son quienes realmente realizan el contacto con la campana y por tanto los que más sufren desgaste.

### 3.3.4 Sistema de Transmisión

El sistema de transmisión de un vehículo consiste en una serie de componentes encargados de conducir desde el cigüeñal la potencia suficiente para que las ruedas motrices giren.

Para conocer el funcionamiento de los distintos tipos de transmisión que puede llevar equipado nuestro vehículo, es imprescindible conocer los diferentes elementos que componen este sistema:

**Embrague:** Su misión es acoplar o desacoplar el giro del motor de la caja de cambios de forma que no cause tirones, sino que el movimiento suceda de forma progresiva. Este elemento ubicado entre el volante motor (o de inercia) y la caja de velocidades, puede ser de distintas clases: hidráulico, electromagnético, de fricción, de disco y hasta de muelles.

- **Caja de velocidades:** Es la responsable de la relación entre el cigüeñal y las ruedas, aumentando o disminuyendo las revoluciones a las que gira cada uno de ellos para sacar el mayor provecho posible al motor. Pueden ser automáticas o manuales.
- **Árbol de transmisión:** Se trata de una pieza cilíndrica que va unida por un extremo a la caja de cambios y por el otro al piñón del grupo cónico-diferencial para transmitir el movimiento, en determinados tipos de vehículos, se prescinde de este elemento dentro del sistema de transmisión.
- **Grupo cónico-diferencial:** Cuando el movimiento longitudinal (inducido por el embrague y la caja de cambios) llega al árbol de transmisión, éste lo une a

grupo cónico-diferencial donde se convierte en movimiento transversal y es dirigido a los palieres. Pero su verdadera labor es mantener constante la suma de velocidades que llevan las ruedas motrices antes de tomar una curva, permitiendo que las ruedas exteriores den más vueltas que las interiores y evitando que patinen. Pese a la importancia que tiene el diferencial en el buen funcionamiento de los automóviles, en vehículos pequeños puede no resultar visible, ya que se aloja dentro de la caja de velocidades.

- **Palieres:** Los palieres o semiárboles de transmisión reciben el movimiento, tal como indicamos, en ángulo recto para ejercerlo directamente sobre las ruedas motrices, incluso en modelos de automóviles que carezcan de árbol de transmisión.

### 3.3.5 Método de Propulsión

Un sistema de propulsión o tren motriz es el sistema que usa un vehículo para moverse. Esto incluye varios tipos de componentes: motor, sistema de transmisión, ejes de transmisión, diferenciales, ruedas, hélices, orugas, baterías y tanques de combustible. Durante el siglo XX y las dos primeras décadas del XXI, numerosos vehículos utilizaban motores de combustión, en particular automóviles, camiones, autobuses, barcos y aviones, impulsados típicamente por combustibles fósiles tales como gasolina, gasóleo y fuel oil.

Para enfrentar los problemas ambientales, se han desarrollado distintos sistemas de propulsión alternativa, entre ellos celdas de combustible, frenos regenerativos, baterías inerciales y sistemas de propulsión híbridos.

### 3.3.6 Sistema de Suspensión

El sistema de suspensión del vehículo es el encargado de mantener las ruedas en contacto con el suelo, absorbiendo las vibraciones, y movimiento provocados por las ruedas en el desplazamiento de vehículo, para que estos golpes no sean transmitidos al bastidor.



Consta de las siguientes partes:

- **Resortes:** Están constituidos por un material elástico y tienen forma de espiral, se recogen al recibir el peso del automóvil cuando tropieza con un imperfecto del camino y lo regresan a su sitio por efecto de reacción.
- **Ballestas:** Cumplen la misma función de un resorte, pero tienen forma de hoja. Son utilizados en camperos o en vehículos pesados.
- **Barras de torsión:** Son barras de acero de gran resistencia a la torsión, utilizadas por autos como el Renault 4 como reemplazo de los resortes. Barras estabilizadoras: Evitan la excesiva inclinación de la carrocería cuando se toma una curva.
- **Amortiguadores:** Sirven para frenar la frecuencia oscilatoria de los resortes, de no tenerlos o de encontrarse en mal estado, cuando el vehículo cae en un bache quedaría rebotando y despegando la llanta del pavimento lo cual resulta peligroso.

### 3.3.7 Acondicionamiento Eléctrico e Híbrido

Un vehículo híbrido es aquel en el que se utilizan sistemas de propulsión híbridos, entre ellos automóviles, camiones, bicicletas, barcos, aviones y trenes.

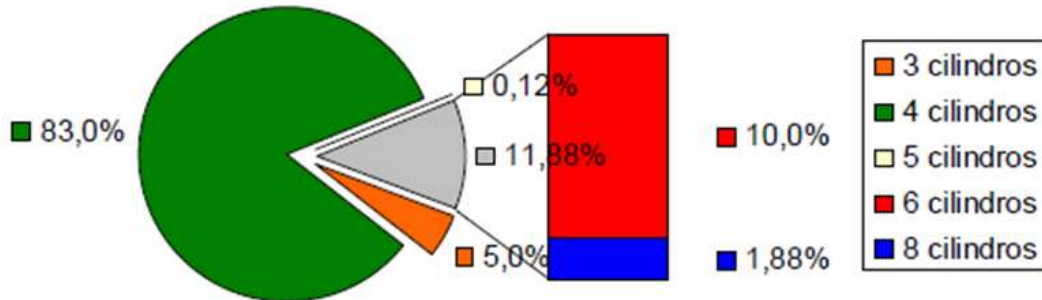
El término, se refiere más comúnmente al vehículo híbrido eléctrico, que combina un motor de combustión interna y uno o varios motores eléctricos. Otros tipos de sistemas de propulsión híbridos incorporan una celda de combustible, supercondensador, motor de aire comprimido o batería inercial, en combinación con un motor de combustión o eléctrico.

Según el sistema utilizado, un vehículo híbrido puede tener una mayor eficiencia energética. Esto puede deberse al uso de un motor más pequeño, y la utilización de sistemas de recuperación de energía (tales como frenos regenerativos). Como consecuencia del menor consumo energético, se obtienen beneficios económicos y ambientales. Sin embargo, algunas tecnologías híbridas tienen perjuicios ambientales, por ejemplo la producción y reciclado de baterías.

### 3.3.8 Número de Cilindros por Motor

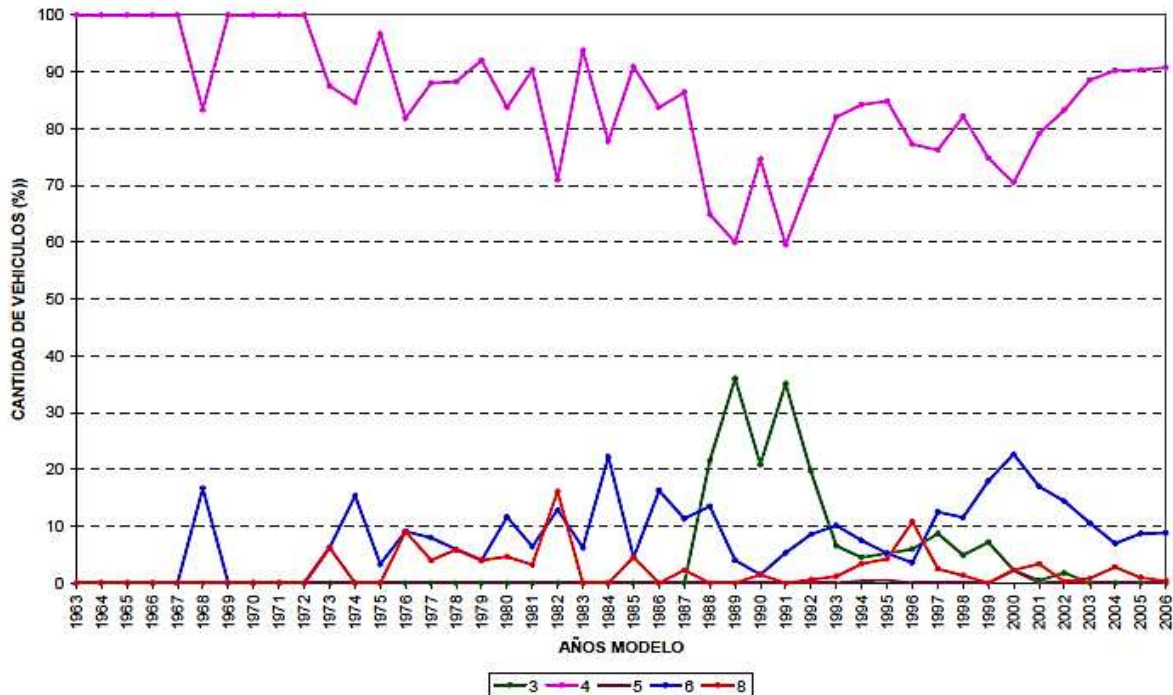
La potencia de un motor depende de la cantidad de mezcla que haga combustión en el cilindro, por lo que a mayor cilindrada se tendrá mayor cantidad de mezcla que haga explosión, subiendo el consumo de combustible y por ende la producción de emisiones contaminantes.

**Gráfico 3.1: Número de cilindros de los vehículos en porcentaje**



Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

**Gráfico 3.2: Número de cilindros del motor (Cantidad de Vehículos Vs Años modelo)**



Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

Como se puede ver en el gráfico 3.1; se tiene que en la ciudad de La Paz, el parque automotor tiene:

**Tabla 3.2: Cilindros que tiene el parque automotor en La Paz**

Motor de 4 cilindros	83%
Motor de 6 cilindros	10%
Motor de 3 cilindros	5%
Motor de 8 cilindros	8%
Motor de 5 cilindros	0.12%

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

La tabla 3.2 presenta las características de los motores del parque automotor de la ciudad de La Paz, donde se puede observar que la mayor cantidad de motores son de 4 cilindros los cuales son el 83% del parque automotor posteriormente de 6 cilindros con un 10%, de 8 cilindros 8%, de 3 cilindros 5% y finalmente de 5 cilindros 0.12%.

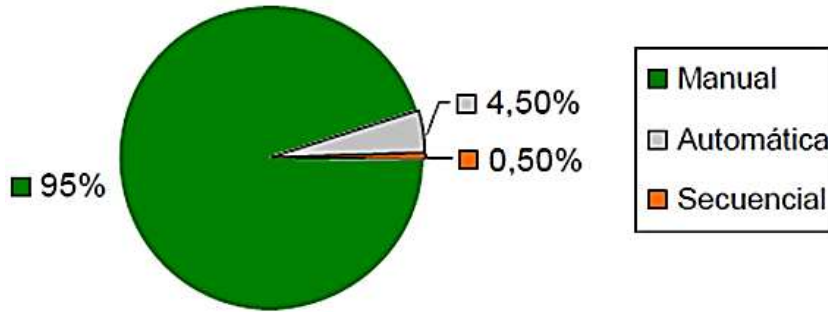
### 3.3.9 Tipo de Transmisión

Por el mecanismo del cambio de velocidades la rotación del cigüeñal se transmite a las ruedas propulsoras. En la ciudad de La Paz, se tienen autos con tres tipos de transmisión:

- Manual
- Secuencial
- Automática

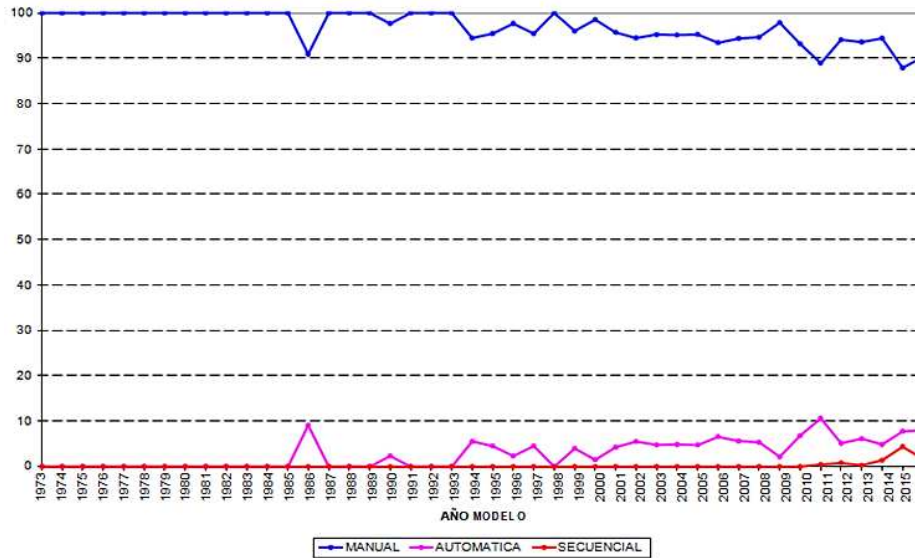
Con respecto al consumo de combustible y la producción de emisiones contaminantes, se tiene que la potencia de un motor de explosión aumenta con el número de rpm hasta que se alcanza la velocidad de régimen, pues el número de vueltas crece en iguales términos que el de explosiones, dependiendo del manejo correcto de la transmisión (marchas) por parte del conductor y de las condiciones de la carretera, se tendrá mayor o menor consumo de combustible como emisiones contaminantes.

**Gráfico 3.3: Tipo de transmisión**



Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

**Gráfico 3.4: Tipo de transmisión calidad de vehículo vs año del modelo**



Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

Como se puede ver en el gráfico 3.3, se tiene que en la ciudad de La Paz., el parque automotor tiene:

**Tabla 3.3: Tipo de transmisión del parque automotor de La Paz**

Transmisión manual	95%
Transmisión automática	4.5%
Transmisión secuencial	0.50%

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

### 3.3.10 Sistema de Alimentación del Combustible

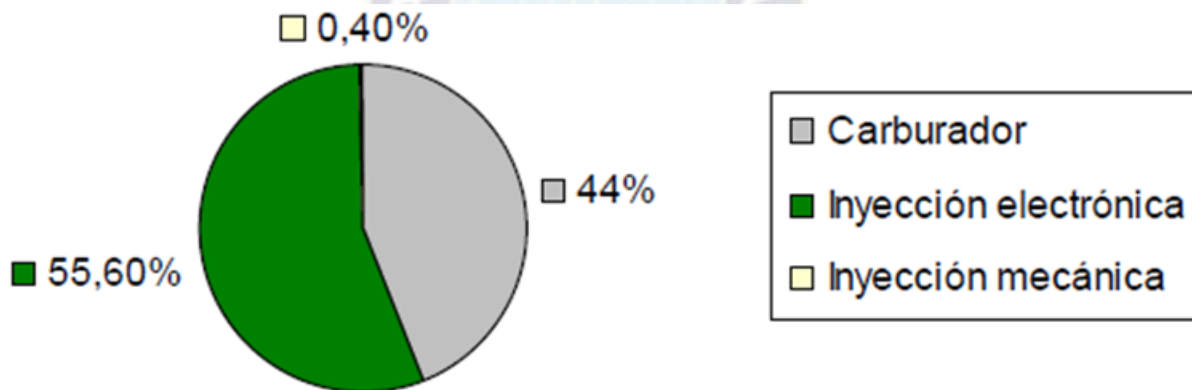
La alimentación en los motores de combustión puede ser por:

- Carburador
- Inyección electrónica
- Inyección mecánica

En la actualidad la tecnología predominante es la inyección electrónica, ya que tiene algunas ventajas con respecto al carburador, y se tiene un mejor control de la dosificación de combustible y por ende de las emisiones.

En el gráfico 3.5 se muestra el estado actual del parque automotor con respecto al sistema de alimentación de combustible, que tienen los automotores.

**Gráfico 3.5: Sistema de alimentación de combustible**

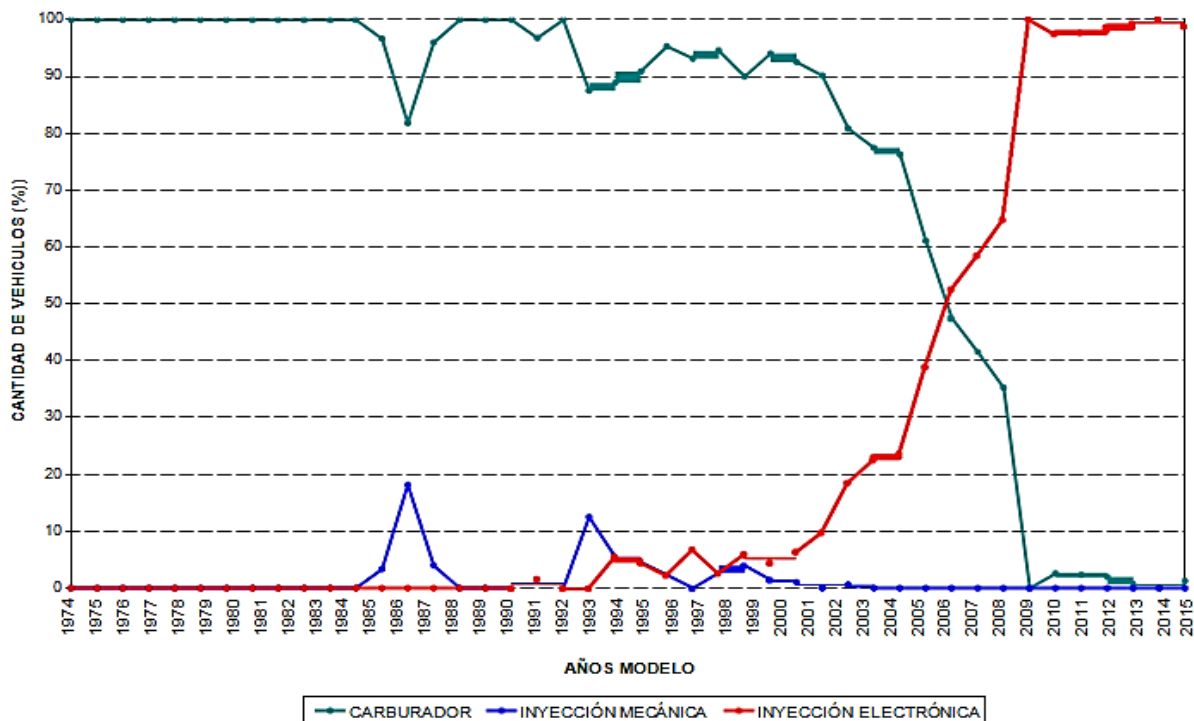


**Fuente:** Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

En el gráfico 3.6 se muestra como el sistema de alimentación de combustible ha ido evolucionando a través de los años, y como se puede ver en el gráfico se tiene que hasta el año 1992 la tecnología predominante en los automóviles era el uso del sistema de alimentación a carburador.

Sin embargo, a partir de este año el sistema de inyección electrónica comienza a tener un ascenso en su uso hasta que en la actualidad los automóviles que se venden en el país ya usan el sistema de alimentación a inyección electrónica y cada vez con más tecnología y control de emisiones.

**Gráfico 3.6: Sistema de alimentación de combustible (cantidad de vehículos vs años modelo)**



Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

### 3.4 Emisiones anuales en la Ciudad de La Paz

Debido a que las diferentes fuentes no contribuyen de igual manera a la generación de todos los contaminantes, es necesario diferenciar su aporte en la generación de cada uno de ellos:

- **CO (Monóxido de carbono):** es el contaminante más abundante en peso, con 94.593 toneladas.

Origen: 97% del CO es aportado por las fuentes móviles.

**Tabla 3.4: Emisiones anuales de CO en La Paz**

Particulares livianos	(43%)
Camionetas	(26%)
Taxis a gasolina	(12%)

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

- **SO<sub>2</sub> (Dióxido de azufre):** se generaron 6.009 toneladas anuales.

Origen: el 56% es aportado por las fuentes móviles.

**Tabla 3.5: Emisiones anuales de SO<sub>2</sub> en La Paz**

Transporte a diésel	(40%)
Fuentes fijas	(44%)
Centrales de generación termoeléctrica	(25.7%)

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

- **NO<sub>x</sub> (Óxidos de nitrógeno):** se generaron 21.699 toneladas.

Origen, el 80% por fuentes móviles.

**Tabla 3.6: Emisiones anuales de NO<sub>x</sub> en La Paz**

Buses y pesados	(42%)
Particulares livianos, taxis y camionetas	(35%)
Centrales de generación termoeléctrica	(17%)

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

- **PM<sub>10</sub> (Material particulado menor a 10 micrones):** se generaron 4.904 toneladas.

Origen, el 56% de las cuales es producida por las fuentes de área. Principalmente canteras, incendios y quemaduras y erosión eólica del suelo.

**Tabla 3.7: Emisiones anuales de PM<sub>10</sub> en La Paz**

Las fuentes móviles generan	(32%)
Buses y vehículos pesados a diésel	(20%)
Las fuentes fijas generan	(12%)
Procesos industriales de producción de agregados, cemento y pinturas	(8%)

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

- **PM2.5 (Material particulado menor a 2.5 micrones):** de las 2.409 toneladas de material particulado fino producido en el DMQ en el año 2003.

Origen: el 46% es producido por las fuentes móviles a diésel (38%).

**Tabla 3.8: Emisiones anuales de PM2.5 en La Paz**

Fuentes de áreas	40%
Fuentes fijas	14%
Procesos industriales de producción de agregados, cemento y pinturas	8%

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

- **COVNM (Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano):** se generaron 30.941 toneladas de este contaminante.

Origen, el 41% de las cuales fue producido por las fuentes móviles, especialmente a gasolina (particulares livianos, taxis y camionetas, 28%); el 36% por las fuentes de área (biogénicas 18%, estaciones de servicio 7%, disolventes comerciales y domésticos 9%, otras 2%); y, el 23% por las fuentes fijas, casi en su totalidad generadas por la fabricación de bebidas alcohólicas, pinturas, vehículos y plásticos.

- **NH<sub>3</sub> (Amoníaco):** se generaron 2.718 toneladas de este contaminante.

Origen, el 55% de las cuales corresponde a emisiones de área, principalmente de origen doméstico, y el 41% corresponde a emisiones de fuentes fijas, principalmente procesos químicos relacionados con la fabricación de plásticos y polímeros.

- **CH<sub>4</sub> (Metano):** se emitieron 9.934 toneladas emitidas.

Origen, el 92% por los rellenos sanitarios de Zámbriza y El Inga.

- **CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono):** las fuentes móviles, a gasolina y a diésel, son los mayores responsables; generan el 77%. Los rellenos sanitarios, incendios y quemas y otras fuentes biogénicas no se contabilizan porque se supone que el carbono liberado en la atmósfera se reabsorbe en la siguiente temporada de crecimiento (ciclo del carbono).



**Tabla 3.9: Emisiones anuales en la ciudad de La Paz 2015 (Toneladas/año)**

	CO	SO <sub>2</sub>	NOX	PM10	PM2.5.5	COVNM	CH <sub>4</sub>	NH <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>Fuentes móviles</b>	91.931	3.365	17.344	1.550	1.097	12.802	788	120	797.615
<b>Fuentes fijas</b>	1.268	2.643	4.199	578	339	7.003	9.117	1.113	435.431
<b>Fuentes de Área</b>	1.394	1	156	2.776	973	11.137	29	1.484	95.253
<b>Total</b>	94.593	6.009	21.699	4.904	2.409	30.941	9.934	2.718	2.328.299

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

**Tabla 3.10: Emisiones anuales en la ciudad de La Paz 2015 (Porcentaje)**

	CO	SO <sub>2</sub>	NOX	PM10	PM2.5.5	COVNM	CH <sub>4</sub>	NH <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>Fuentes móviles</b>	97,2	56,0	79,9	31,6	45,5	41,4	7,9	4,4	77,2
<b>Fuentes fijas</b>	1,3	44,0	19,4	11,8	14,1	22,6	91,8	41,0	18,7
<b>Fuentes de Área</b>	1,5	0,0	0,7	56,6	40,4	36,0	0,3	54,6	4,1
<b>Total</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

La última información disponible para esta investigación es un informe realizado por el Municipio de la ciudad de La Paz al 2015, el cual presenta datos anuales por estación, como también el comportamiento típico diario de cada contaminante; pero a este informe le hace falta la información de emisiones por toneladas año generadas por cada tipo de fuente de emisión.

### 3.4.1 Origen de los Contaminantes

Las principales fuentes que originan principalmente los gases de efecto invernadero son fuentes naturales y fuentes antropogénicas como por ejemplo:

- **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**
  - **Fuentes naturales:** respiración, descomposición de la materia orgánica, erupciones volcánicas, quema de biomasa.

- **Fuentes antropogénicas:** quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y derivados y gas natural), tala y quema de bosques, cambio de uso de suelo, extensión de tierras para el pastoreo Procesos industriales como la fabricación de cemento y acero.
- **Metano (CH<sub>4</sub>)**
  - **Fuentes naturales:** descomposición anaerobia de la materia orgánica en sistemas biológicos, descomposición de animales muertos, emisiones de pantanos.
  - **Fuentes antropogénicas:** actividad agrícola fermentación entérica como consecuencia del proceso digestivo de los herbívoros (37 % del metano presente en la atmósfera), cada vaca emite 90 kilos de metano al año. Descomposición en condiciones anaerobias del estiércol generado por especies pecuarias cultivos de arroz Quema de residuos agrícolas, disposición de residuos sólidos, tratamiento anaerobio de aguas residuales Producción y distribución de gas natural, petróleo y explotación de carbono natural. Se produce por la combustión incompleta de combustibles, pequeñas estufas y quema a cielo abierto
- **Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)**
  - **Fuentes naturales:** Procesos de desnitrificación  $\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ , procesos naturales en suelos, océanos y volcanes, combustión de biomasa.
  - **Fuentes antropogénicas:** fertilizantes, quema de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, agricultura, producción de ácido nítrico, tratamiento de residuos.
- **Halocarburos**
  - **Fuentes naturales:** No existen ya que son producidos por el hombre.
  - **Fuentes antropogénicas:** gases refrigerantes, solventes en aplicaciones industriales, limpieza en seco, propulsor de recipientes en presentación aerosol.

### **3.4.2 Problemas Ambientales**

Los gases presentes en nuestra atmósfera que causan el "efecto invernadero" y favorecen el cambio climático son, principalmente, los siguientes: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), vapor de agua, metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), polifluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Éstos actúan a modo de "manta" que mantiene la temperatura terrestre a unos 15°C, siendo éste uno de los factores que permiten la vida en nuestro planeta.

Estos gases dejan pasar la radiación solar; ésta incide sobre la superficie terrestre provocando una emisión infrarroja "IR" hacia la atmósfera y al actuar los gases como pantalla devuelven esta radiación "IR" a la tierra; se tienen registradas temperaturas de los últimos cien años y se ha observado un aumento de 0,5°C aproximadamente.

El problema ambiental del efecto invernadero es su incremento actual, lo que conlleva el calentamiento de la superficie terrestre y de la atmósfera; este aumento es el resultado de la ruptura de determinados ciclos naturales originados por actividades humanas tales como la deforestación, la quema de combustibles fósiles, expansión industrial, contaminación marina, etc.

### **3.4.3 Medidas para el Control y Reducción de Contaminantes**

El dióxido de carbono es el segundo gas más importante en el calentamiento global por su cantidad después del vapor de agua y el primero asociado a actividades humanas. Todo equipo cuya operación produce dióxido de carbono está aportando al calentamiento global. Algunos de estos están en nuestras casas: automóviles, equipos que utilizan gasolina, gas o carbón (asadores, cocinas, hornos, entre otros), cortadoras de césped y enseres eléctricos (pues la energía que utilizan puede provenir de la quema de combustibles fósiles en la planta generadora).

Como una de las principales fuentes generadoras de Gases de Efecto Invernadero (GEI) son los automóviles, las siguientes son algunas sugerencias para evitar su uso y disminuir sus emisiones:

- En lo posible disminuir su uso (úselo solo cuando sea necesario) y no utilizarlo para trayectos cortos que se puedan realizar caminando.
- Usar alternativas de transporte como es la bicicleta, así como sistemas de transporte masivo (buses, colectivos, trenes, entre otros).
- Si va a detener el carro por más de un minuto es conveniente que lo apague mientras espera (Fuente: Chevrolet). Cada dos minutos parados con el motor encendido gasta tanta gasolina como manejar 1,5 kilómetros. Pero apagar el motor en los semáforos largos puede ser contraproducente ya que los carros no están contruidos para soportar el shock constante de encender y apagarse en cada semáforo en rojo.
- Revisar periódicamente el funcionamiento del vehículo (sincronización anual del motor, revisión del sistema de control de emisiones, alineación y balanceo de las llantas y en general revisiones periódicas de carácter técnico y mecánico del vehículo). A medida en que el kilometraje total de un vehículo aumenta, las emisiones evaporarías y del escape también aumentan, debido al desgaste, desajuste y a la degradación continua de los componentes del auto y del 93 sistema de control de emisiones del vehículo. El propósito de los programas de revisión técnico-mecánica consiste en minimizar este exceso de emisiones.
- Revisar periódicamente los consumos de combustible del vehículo. Si encuentra algún alza injustificada, es conveniente que mande a revisar el auto por un experto (Fuente: Chevrolet).
- Cambiar los filtros, las bujías y el aceite de acuerdo a las recomendaciones técnicas (Fuente: Chevrolet). Reemplazar los filtros de aire puede mejorar el rendimiento del combustible hasta en un 10% (Fuente: FuelEconomy.com).
- Maneje con las ventanas cerradas, ya que afecta la aerodinámica del carro y este tendrá más resistencia para avanzar y por tanto consumirá más combustible. Esta resistencia reduce la eficiencia entre el 2% y el 3% (Fuente: Chevrolet).
- Si es posible, cargue el tanque del carro temprano en la mañana o en la noche, ya que a baja temperatura disminuirá el nivel de evaporación del combustible (Fuente: Chevrolet).

- Asegúrese de mantener la presión adecuada de las llantas, ya que por cada psi (unidad física que corresponde a una libra por pulgada cuadrada) de presión menos de la recomendada, el consumo aumenta en un 0,4% (Fuente: Chevrolet). Los neumáticos deben inflarse hasta el nivel especificado en el manual del usuario del auto. Sin embargo, hay un límite; si los infla demasiado puede perder tracción.
- Aplicar buenas prácticas para conducir como son: no acelerar y frenar bruscamente el vehículo (no acelere a fondo ni muy rápido si no lo necesita) y mantener una velocidad entre los 40 y los 88 km/hora en carretera que es el rango en el cual algunos tipos de vehículos emiten menos emisiones (tal como se puede apreciar en la figura 1 para la emisión de óxidos de nitrógeno en diferentes tipos de vehículos). Para la mayoría de los carros, manejar a 88 kilómetros por hora es lo más conveniente, pero los autos con formas aerodinámicas más eficientes tendrán velocidades de rendimiento óptimo mayores.

#### **3.4.4 Beneficios del Control de Contaminantes para el Medio Ambiente**

Los principales beneficios de la mitigación de gases de efecto invernadero son:

- Beneficios colaterales para la Salud por la reducción de la contaminación del aire.
- Aumento de la seguridad energética.
- Más empleo rural.
- Aumento de la producción agrícola y presión reducida en los ecosistemas naturales.
- Mejora de la base tecnológica.
- Fortalecimiento de las instituciones y la capacidad humana.

#### **3.4.5 Límites máximos de emisión de contaminantes en prueba estática**

Con la información recolectada con respecto a las emisiones contaminantes producidas en la ciudad de La Paz en el año 2015, y su comportamiento típico diario, se realizó la evaluación de las normas que actualmente se utilizan para la revisión técnica vehicular en la ciudad de La Paz.

**Tabla 3.11: Límites máximos de emisiones permitidas para fuentes móviles con motor de gasolina marcha mínima o ralentí (Prueba estática)**

Año modelo	% CO		ppm HC	
	0 -1500	1500 – 3000	0 – 1500	1500 – 3000
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

**Tabla 3.12: Límites máximos permisibles de emisión de contaminantes en prueba estática**

NUEVAS NORMAS PROPUESTAS PARA LOS NUEVOS PERÍODOS				
AÑO MODELO	CO ralentí % (VOL)	CO 2500 rpm % (VOL)	HC ralentí (ppm)	HC_2500 rpm (ppm)
1989 y anteriores	6.0	6.0	1000	1000
1990 a 1993	4.5	4.5	600	600
1994 a 1999	3.6	3.6	500	500
2000 y posteriores	0.7	0.7	170	170

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

## CAPÍTULO IV. MARCO PRÁCTICO

### 4.1 Mejora en la Producción de Biocombustibles

#### 4.1.1 Gasolina

Las gasolinas son los primeros combustibles líquidos que se obtienen del fraccionamiento del petróleo. Se define como líquido volátil e inflamable, formado por hidrocarburos que contienen en sus moléculas 4 a 10 carbonos ( $C_4$  y  $C_{10}$  respectivamente); se obtiene de la destilación del petróleo, entre  $30^\circ C$  y  $200^\circ C$ . Se utilizan en motores de automóviles de 4 tiempos con carburador e inyección.

**Tabla 4.1: Especificaciones de la gasolina Extra y Súper NTE INEN 935:99**

Propiedad	Norma	Unidad	Extra		Súper	
			Min.	Máx.	Min.	Máx.
Número de Octano Research	INEN 2102	RON	80	-	89	-
Corrosión lámina de cobre	INEN 927	-	-	No 1.0	-	No 1.0
PVR	INEN 928	Psia	-	8.12	-	8.12
Benceno		%Vol.	-	1	-	2
Azufre		Ppm	-	2000	-	2000
Olefinas		%Vol.	-	20	-	25
Aromáticos		%Vol.	-	20	-	30
Contenido de goma	INEN 933	Mg $100^{-3}cm^3$	-	4	-	5
Destilación	INEN 926					
10%		$^{\circ}F$	-	158	-	158
50%		$^{\circ}F$	158	250	171	250
90%		$^{\circ}F$	-	192	-	374
Punto final		$^{\circ}F$	-	419	-	428
Residuo		% Vol.	-	2	-	2

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

## 4.2 Propiedades de los Combustibles

Como derivados del petróleo crudo, los combustibles están formados básicamente por hidrocarburos. Pueden contener además, O<sub>2</sub>, S, N,.. etc.

El combustible empleado debe poseer características muy importantes para obtener la combustión:

- Volatilidad
- Numero de octano
- Contenido de azufre
- Presión de vapor Reid
- Densidad, etc.

### 4.2.1 Volatilidad

Es la tendencia a pasar a fase vapor en unas condiciones determinadas. El estudio de la curva de destilación nos dice cómo se va a comportar el combustible, el combustible en este caso, cuando este en un motor. El combustible debe tener un punto de destilación bajo, para permitir un buen arranque en frío.

La volatilidad se determina con la curva de destilación. El combustible líquido es una fracción de la destilación del crudo de petróleo. Se tiene una u otra cosa dependiendo de dónde se corta en la destilación, es decir, de las temperaturas donde se recoja en el intervalo de destilación. No se tiene una temperatura única, sino que a medida que el volumen recogido va aumentando va variando la temperatura.

La temperatura va ascendiendo porque se tiene otros compuestos con más átomos de C en la cadena que se van evaporando poco a poco. Después se condensan al ponerse en contacto con las paredes frías y se recogen. Así, cuanto mayor sea la temperatura, se evaporarán los más pesados, los de mayor número de átomos de carbono en la cadena.

Para asegurar la volatilidad hay que tener en cuenta las propiedades del combustible, diseño del motor y materiales con los que está fabricado. La eficaz utilización de un combustible en un motor depende del diseño del motor (para que haya un mayor



rendimiento), de la preparación del combustible para que el motor tenga mayor potencia y rendimiento. Para que esto se cumpla el combustible que sale directamente de la destilación no tiene estos requisitos, por lo que necesita un tratamiento posterior para que cumpla esos objetivos. Se debe añadir aditivos y otros elementos.

#### 4.2.2 Octanaje

El octanaje es una escala que mide la capacidad antidetonante del combustible (como la gasolina) a detonar cuando se comprime dentro del cilindro de un motor. Su utilidad radica en que la eficacia del motor aumenta con altos índices de compresión, pero solamente mientras el combustible utilizado soporte ese nivel de compresión sin sufrir combustión prematura o detonación.

Para obtener una combustión normal en un motor Otto, el combustible debe tener aptitudes para soportar sin detonación elevadas compresiones, cuando ello ocurre, se dice que está dotado de un elevado poder antidetonante. La calidad de un carburante depende esencialmente del valor de su poder antidetonante, cuya medida está dada por el llamado Número de Octano (N.O.). El valor del N.O. de un carburante se obtiene comparándolo con combustibles de referencia constituidos por mezclas de isoctano ( $C_8H_{18}$ ) de la serie isoparafínica, y heptano ( $C_7H_{16}$ ) o bien isoctano. La escala empleada para la medida del octanaje es totalmente arbitraria, pero con dos puntos de referencia: Comportamiento del heptano: índice 0 y Comportamiento del iso-octano: índice 100.

El número de octanos es el porcentaje del iso-octano en una mezcla de heptano e iso-octano que presenta las mismas características detonantes que el combustible que se está ensayando.

Existen dos procedimientos para medir el índice de octano:

- Método Motor D-2700 (MON): Se mide el comportamiento de un motor a altas velocidades.
- Método Research D-2699 (RON): Se mide el comportamiento de un motor a bajas velocidades.

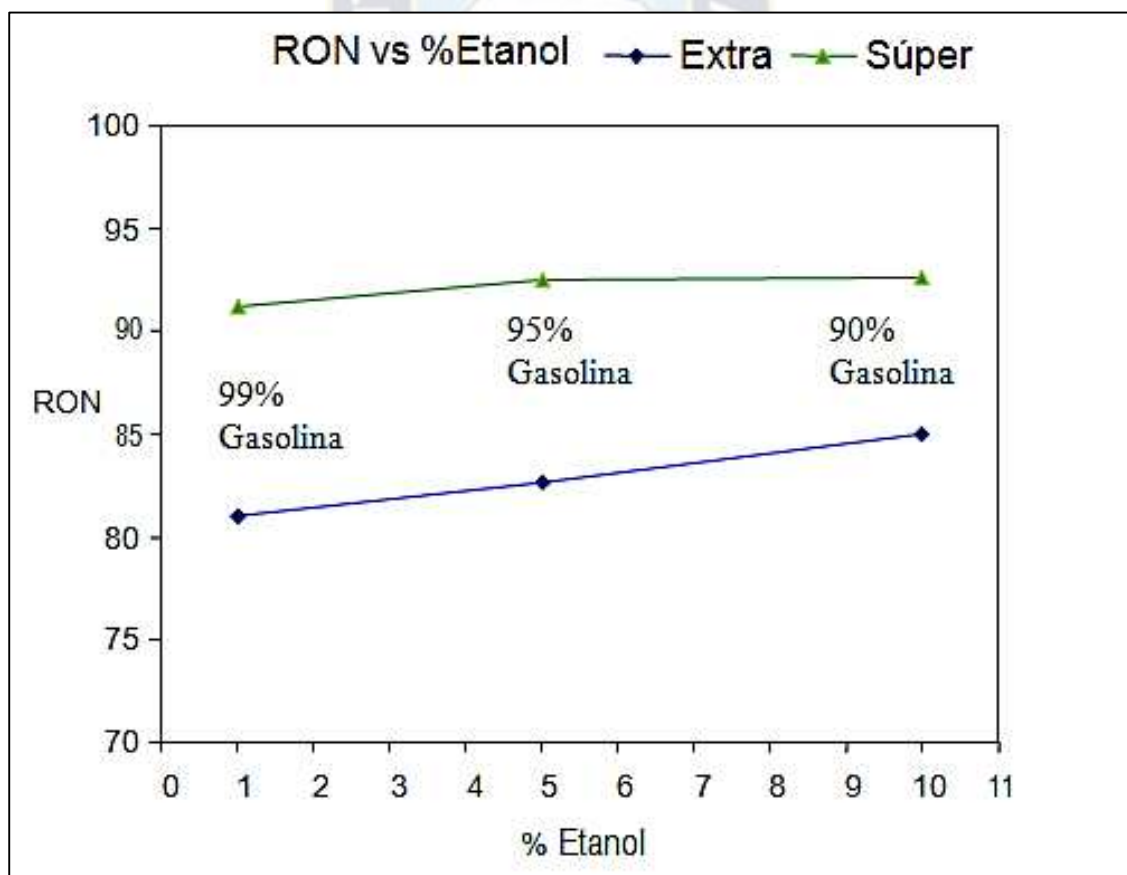
**Tabla 4.2: Valores de RON para mezclas de etanol con gasolina extra y súper**

%Gasolina		% Etanol	RON
Gasolina convencional	99	1	80,57
	95	5	82,62
	90	10	85,03
Súper	99	1	91,26
	95	5	92,48
	90	10	92,61

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

La tabla 4.2 muestra el porcentaje de etanol según tipo de gasolina y su caracterización a través de la sigla RON de acuerdo de su cantidad de octanos.

**Gráfico 4.1: RON vs. % de etanol en mezcla con gasolina extra y súper**



Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

### 4.2.3 Estabilidad al Almacenamiento

Se evalúa por la tendencia que presenta la gasolina a forma gomas. Las gomas son residuos que se forman durante el almacenamiento de los combustibles cuando parte de sus componentes se ha evaporado. Esta evaporación ha transcurrido en contacto con el aire y con metales. Estas gomas corresponden a compuestos originales por la oxidación y polimerización de los combustibles. Los problemas que pueden originar estos residuos pueden estar en el sistema de combustible o en el motor.

- **Sistema de combustible:** se deposita como residuo resinoso en la zona caliente de la toma de admisión. Si se va aumentando el residuo en capas, puede desprenderse y obturar el sistema de aspiración y filtros.
- **Motor:** obstruye las válvulas. Si se deposita en el colector puede llegar a dar humos en el tubo de escape (perdida de potencia)

Todo esto se agrava si el combustible no está bien tratado. Un problema añadido es la propia degradación del combustible, lo que puede llevar a una disminución del nivel de octano, dando mal funcionamiento al motor.

### 4.2.4 Poder Calorífico (Calor de Combustión)

Energía liberada cuando se somete el combustible a un proceso de oxidación rápido, de manera que el combustible se oxida totalmente y que desprende una gran cantidad de calor que es aprovechable a nivel industrial.

### 4.2.5 Densidad Específica o Relativa

Los combustibles se comercializan en volumen, por ello es importante saber la densidad que tienen a temperatura ambiente.

Se define la densidad específica como:

$$\text{Densidad específica o relativa} = \frac{\text{Densidad absoluta de un producto (a una temperatura)}}{\text{Densidad del agua líquida (a } 4^{\circ}\text{C)}}$$

#### 4.2.6 Viscosidad

Es la resistencia interna que presenta un fluido para el desplazamiento de sus moléculas. Esta resistencia viene del rozamiento de unas moléculas con otras. La unidad de la viscosidad es  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Un combustible que tenga la viscosidad muy alta quiere decir que es poco fluido.

#### 4.2.7 Presión de Vapor Reid

Aunque ésta no sea una medida exacta de la volatilidad, mide la tendencia que presenta el combustible a pasar a fase vapor. Para determinarla se mide la presión de vapor formado en el calentamiento de una muestra de un combustible líquido a  $100^\circ\text{F}$  (ASTM-D323).

**Tabla 4.3: Valores de PVR para mezclas de etanol con gasolina extra y súper**

	%Gasolina	% Etanol	PVR (Psia)
Extra	99	1	6,77
	95	5	7,47
	90	10	7,60
Súper	99	1	7,37
	95	5	8,44
	90	10	8,74

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

Esta prueba se emplea para saber qué ocurrirá en el almacenamiento de los productos en la refinería. Este ensayo no es una medida de la presión de vapor real, porque el aire que contiene la cámara va a estar en contacto con los vapores que se producen en el ensayo. Pero es una medida indirecta de elementos ligeros o muy volátiles que contiene el combustible a ensayar. De esto se deduce las conclusiones necesarias de cara al almacenamiento y transporte del combustible.

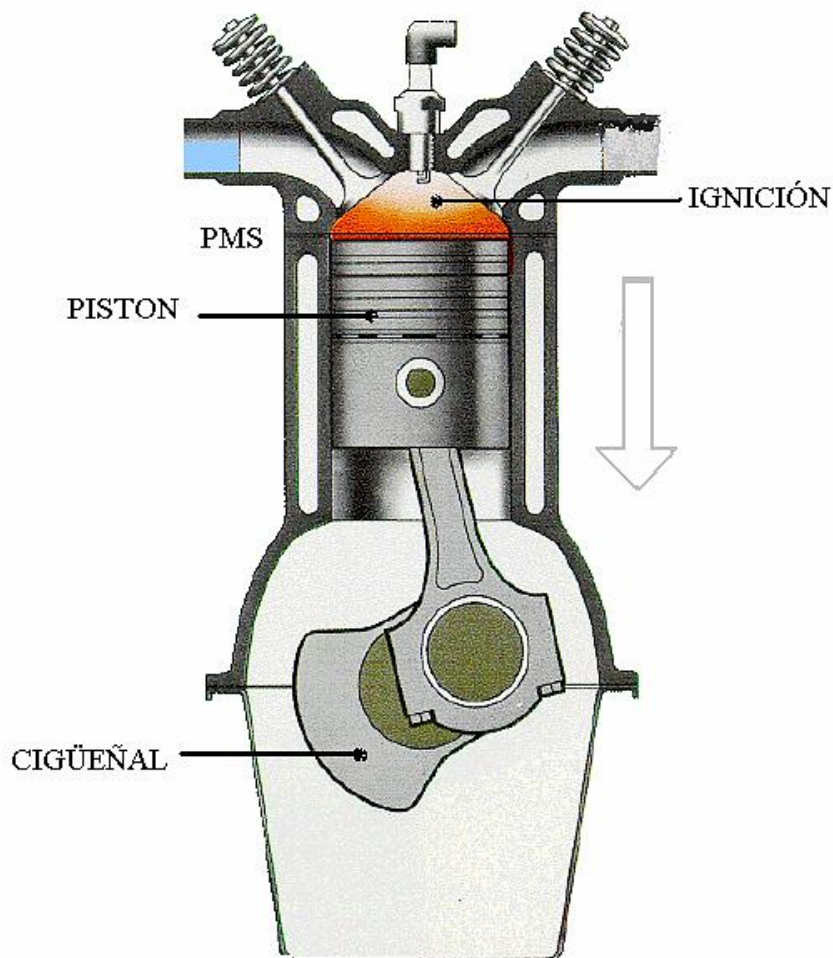
A partir de los datos de la tabla 4.3, se puede observar una mayor de presión de vapor reid en las mezclas homogéneas en mayor porcentaje en etanol, esto es claramente lógico debido a que el etanol es más volátil que la gasolina por lo que se tiene que tener cuidado en su almacenamiento para no presenciar perdidas grandes de combustible por evaporación.

### 4.3 Combustión

La combustión es una reacción de oxidación, en la que normalmente se va a liberar una gran cantidad de calor. La oxidación es la reacción de un elemento químico con el oxígeno.

Una combustión normal en un motor Otto se obtiene cuando ocurre la ignición, en el momento que el pistón se encuentra en el Punto Muerto Superior (PMS) comprimiendo al combustible, el cual libera energía. Consiguiendo el deslizamiento lineal del pistón y por consiguiente el movimiento circular del cigüeñal.

**Figura 4.1: Combustión en un motor de combustión interna**



Fuente: Gutiérrez Gonzalo. (2014). Funcionamiento de los Motores. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/revision/funcionamiento-motor-combustion-paso-a-paso-video>

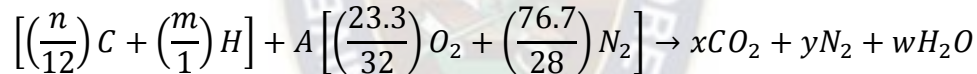
Normalmente la combustión se concentra en los hidrocarburos en donde el oxidante es el aire y el nitrógeno considerado gas inerte, aunque absorbe calor de la combustión, por otra parte, los compuestos orgánicos oxigenados también pueden sufrir reacciones de combustión, pero estas liberan menor energía durante la reacción.

Reactivos de la reacción:

- **C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>**: Combustible de la reacción
- **O<sub>2</sub>**: Comburente de la reacción
- **N<sub>2</sub>**: Gas inerte que se encuentra en el aire, no participa de la reacción, pero absorbe energía durante la misma.

Productos de la reacción:

- **CO<sub>2</sub>**: El dióxido de carbono gas de efecto invernadero
- **H<sub>2</sub>O**: Agua es el otro producto obtenido en una reacción de combustión
- **N<sub>2</sub>**: Este gas sale en la misma proporción estequiometria solo cambia su temperatura



**Reactivos**

**Productos**

Dónde:

**A**: Relación aire-combustible [kg.-aire/kg.-combustible]

**n**: % de carbono en el combustible en peso.

**m**: % de hidrogeno en el combustible en peso.

**x, y y w**: número de moles de los productos.

El estudio siguiente se centra en la mezcla E10 (90% de gasolina + 10% etanol) para la determinación de la relación aire/combustible para el E10 se parte de la siguiente ecuación de combustión completa para un hidrocarburo C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> en masa.

En la tabla a continuación se detalla la respectiva composición porcentual en masa de cada elemento de los compuestos:

**Tabla 4.4: Porcentaje en masa de la gasolina y el etanol**

COMBUSTIBLE	COMPUESTO	Peso por elemento			Total	% masa				
						C	H	O	N	S
Gasolina	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>8</sub>	H <sub>18</sub>		114	84.3	15.7	0.00	0.00	0.00
		96	18							
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>2</sub>	H <sub>6</sub>	O	46	52.2	13	34.8	0.00	0.00
		24	6	16						

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

Se conoce que: C= 12u.m.a., H=1u.m.a. y O=16u.m.a. Con estos datos determina el peso molecular del octano principal componente de la gasolina el cual es de 114 lb/lb mol y el del etanol el cual es de 46 lb/lb-mol.

Por otra parte, se determinó la composición centesimal del octano y del etanol claramente el octano tiene una mayor composición de carbono resultante del 84,3% y 52,2% para el etanol.

Conociendo los valores de la tabla 3.3 se obtiene los valores de la densidad:

$$\rho = \frac{\text{masa (g)}}{\text{volumen (ml)}}$$

Gasolina corriente

$$\rho_{C_8H_{18}} = \frac{m}{22.4 \text{ l} \times m} = 0.736 \text{ g/ml}$$

Etanol

$$\rho_{C_2H_5OH} = \frac{m}{22.4 \text{ l} \times m} = 0.790 \text{ g/ml}$$

Conociendo las densidades del etanol y la gasolina corriente y los datos de la tabla 3.3 se obtiene las fracciones másicas de los elementos.

Cantidad de masa:

Gasolina (90% en volumen):

$$m_{C_8H_{18}} = (0.736 \text{ g/ml}) * 0.9 * 24 \text{ ml} = 15.8976 \text{ g}$$

Etanol (10% en volumen):

$$m_{C_2H_5OH} = (0.79 \text{ g/ml}) * 0.1 * 24 \text{ ml} = 1.896g$$

Masa total (Gasolina 90% + 10%etanol)

$$n_t = m_{C_8H_{18}} + m_{C_2H_5OH} = 15.8976g + 1.896g = 17.7936g$$

Fracciones másicas:

Gasolina (90% en volumen)

$$n_{C_8H_{18}} = \frac{m_{C_8H_{18}}}{n_t} = \frac{15.8076g}{17.7936g} = 0.893$$

Etanol (10% en volumen)

$$n_{C_2H_5OH} = \frac{m_{C_2H_5OH}}{n_t} = \frac{1.896g}{17.7936g} = 0.107$$

**Tabla 4.5: Fracciones másicas y volumétricas para la gasolina oxigenada con 10% de etanol en volumen**

Unidad	Gasolina Corriente	Etanol	Total
V <sub>i</sub>	0,900	0,100	1,000
P <sub>i</sub>	0,736	0,264	1,000
M <sub>i</sub>	0,893	0,107	1,000

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

Dónde:

$v_i$ : Fracción volumétrica de elemento i.

$\rho_i$ : Densidad del elemento i.

$m_i$ : Fracción másica del elemento i.

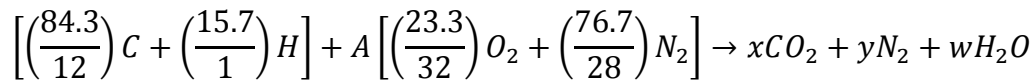
En la tabla 3.4 se observa que, por cada unidad de volumen de gasolina oxigenada, se tiene 89.3% de masa de gasolina corriente y 10.7% de etanol.



### 4.3.1 Relación estequiometria

Utilizando la Ecuación completa de combustión y los datos de la tabla 3.3, se puede calcular la relación de aire/combustible para la gasolina corriente y la mezcla E10 teniendo en cuenta las fracciones másicas de la tabla 3.4.

Calculos para la gasolina



**Reactivos**

**Productos**

Estas incógnitas se resuelven mediante la aplicación del principio de conservación de masa, la cual dice que el número total de moles de cada elemento en los reactivos deben ser igual al de los productos:

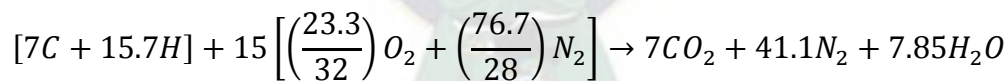
$$C: x = 7$$

$$H: 15.7 = 2w \rightarrow w = 7.85$$

$$O: 2A \left( \frac{23.3}{32} \right) = 2x + w \rightarrow A = 1.37(7) + 5.4 = 15$$

$$N: A \left( \frac{76.7}{28} \right) = y \rightarrow y = 41.1$$

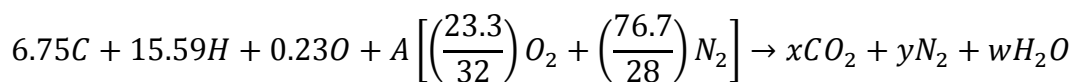
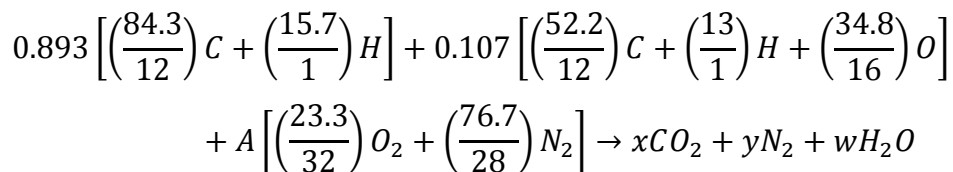
La sustitución produce:



**Reactivos**

**Productos**

**Resolución para el bioetanol E10:**



Estas incógnitas se resuelven mediante la aplicación del principio de conservación de masa, la cual dice que el número total de moles de cada elemento en los reactivos deben ser igual al de los productos:

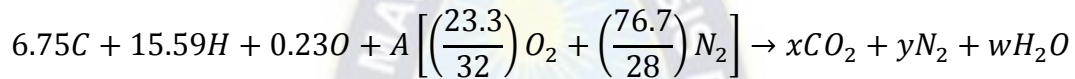
$$C: x = 6.75$$

$$H: 15.59 = 2w \rightarrow w = 7.8$$

$$O: 2A \left( \frac{23.3}{32} \right) = 2x + w - 0.23 \rightarrow A = 1.37(6.75) + 5.35 - 0.15 = 14.4$$

$$N: A \left( \frac{76.7}{28} \right) = y \rightarrow y = 39.44$$

La sustitución produce:



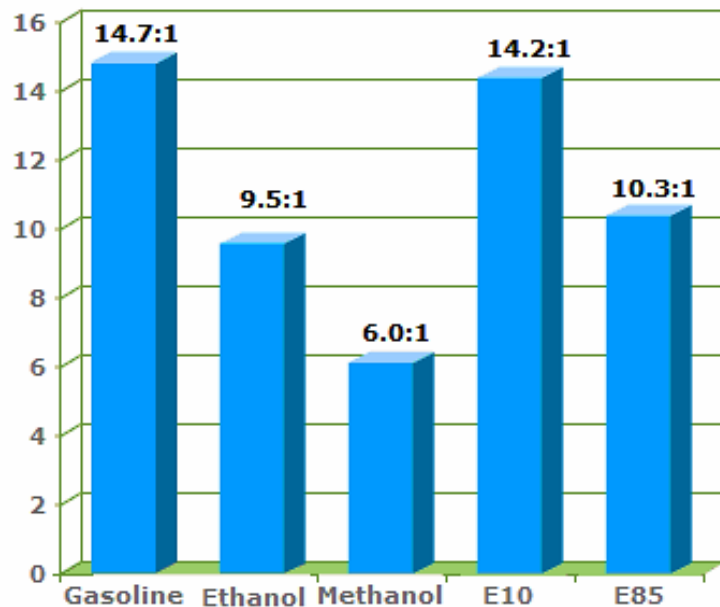
**Tabla 4.6: Resultados de la ecuación estequiometria de E10 y de la gasolina corriente**

Incógnitas	Valor de E10	Valor de Gasolina Corriente
A (lb. aire/lb. combustible)	14,4	15
X	6.75	7
Y	39.44	41.1
W	7.8	7.85

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

De los resultados obtenidos de la estequiometria de las reacciones de combustión tanto para la gasolina como para el E10 (Gasolina + Etanol), se puede concluir que se requiere mayor cantidad en peso de aire con relación de combustible para la gasolina que para el E10. Por otra parte, la producción de dióxido de carbono disminuye en el E10 demostrando su disminución en gases de efecto invernadero.

**Gráfico 4.2: Relación aire/combustible para diferentes combustibles**



Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

En la gráfica 4.2 se puede observar la relación de en peso de aire respecto al combustible para los diversos combustibles, claramente los alcoholes (metanol y etanol) son los que menor cantidad estequiometría de aire requieren 6:1 y 9.5:1 respectivamente, pero al ser mezclados con la gasolina estos ya requieren mayor consumo de aire de 14.2:1 pero no equipara al de la gasolina pura, el cual necesita 14.7:1.

#### 4.3.2 Poder Calorífico

Cuando ocurre una reacción química, los elementos que participan generan cambios en la estructura de las moléculas que conforman, liberando energía química. La entalpía de reacción  $h_{R_0}$  entalpía de combustión  $h_c$  representa la cantidad de calor liberado durante un proceso de flujo permanente cuando 1 kmol (ó 1Kg) de Combustible se quema por completo a una temperatura y presión dada. El poder calorífico, conocido también como valor calorífico VC es igual al valor absoluto de la entalpía de combustión:

$$VCS = |h_c|$$

La entalpía de formación  $\bar{h}_f^0$  en el estado de referencia estándar, se define como la entalpía de una sustancia en un estado especificado debido a su composición química. Para el estado de referencia estándar que es 25°C de temperatura y 1atm de presión (caracterizado por el superíndice), en un sistema de flujo permanente, la entalpía de combustión  $\bar{h}_c$ , se define como:

Relación existente entre la entalpía de combustión y entalpía de formación en los productos y reactivos.

$$\bar{h}_c = H_{\text{productos}} - H_{\text{reactivos}}$$

$$\bar{h}_c = \sum (N * \bar{h}_f^0)_{\text{productos}} - \sum (N * \bar{h}_f^0)_{\text{reactivos}}$$

En el estado de referencia estándar (25°C y 1atm) se asigna un valor de cero a la entalpía de formación de los elementos estables.

#### 4.3.3 El Poder Calorífico para el Bioetanol y la Gasolina Convencional

El poder calorífico que se obtiene es el superior VCS (Valor Calórico Superior) se considera que el agua en los gases de escape se encuentra en estado líquido. Los valores de la entalpía de formación para los productos y los reactivos. Utilizando los datos de la Tabla 16, Tabla 18, y sustituyéndolos en la ecuación 3.9 se obtiene el valor de poder calorífico (VCS) para el bioetanol E10 y la gasolina corriente respectivamente.

Se conoce mediante la bibliografía los valores de entalpia de formación estándar tanto de los reactivos como de los productos, cabe recalcar que el oxígeno no presenta entalpia de formación ya que como su nombre indica este valor estable la energía con la cual ha sido formado un determinado compuesto a condiciones estándar (25°C y 1atm) pues para el caso del oxígeno este no fue formado por otros elementos o compuestos por lo que su valor de entalpia de formación es nulo:

$$(\bar{h}_f^0)_{CO_2} = -393520KJ/mol$$

$$(\bar{h}_f^0)_{H_2O} = -285830KJ/mol$$

$$(\bar{h}_f^0)_{C_8H_{18}} = -208450KJ/mol$$

$$(\bar{h}_f^0)_{C_2H_5OH} = -277690 \text{ KJ/mol}$$

Valores para el poder calorífico superior para la Gasolina Corriente.

$$\bar{h}_c = H_{\text{productos}} - H_{\text{reactivos}}$$

$$\bar{h}_c = \sum (N * \bar{h}_f^0)_{\text{productos}} - \sum (N * \bar{h}_f^0)_{\text{reactivos}}$$

$$\bar{h}_c = \sum (N * \bar{h}_f^0)_{CO_2} + \sum (N * \bar{h}_f^0)_{H_2O} - (N * \bar{h}_f^0)_{C_8H_{18}}$$

$$\bar{h}_c = (7 \text{ kmol})(-393520 \text{ KJ/kmol}) + (7.85 \text{ kmol})(-285830 \text{ KJ/kmol}) - (1.14 \text{ kmol})(-208450 \text{ KJ/kmol})$$

$$\bar{h}_c = -5236.038 * 10^6 \left( \frac{J}{\text{Kmol}} \right)$$

$$-5236.038 * 10^6 \frac{J}{\text{Kmol}} * \frac{1,987 \text{ cal}}{8,341 J} * \frac{1 \text{ BTU}}{252 \text{ cal}} * \frac{1 \text{ KBTU}}{1000 \text{ BTU}} = -4965,81 \left( \frac{\text{KBTU}}{\text{Kmol}} \right)$$

$$\bar{h}_c = -4965,81 \left( \frac{\text{KBTU}}{\text{Kmol}} \right)$$

Según el convenio de signos de la termodinámica el signo negativo significa que la reacción es exotérmica que quiere decir que el sistema libera energía a su alrededor dicha energía puede ser aprovechada en la combustión por el motor del automóvil, por lo que el poder calorífico será el mismo valor con signo positivo.

Como se supone que el agua en los productos va a estar en estado líquido, el valor de  $h_c$  corresponde al VCS.

$$VCS = 4965,81 (\text{KBTU/Kmol})$$

Valores para el poder calorífico superior para el bioetanol E10

$$\bar{h}_c = H_{\text{productos}} - H_{\text{reactivos}}$$

$$\bar{h}_c = \sum (N * \bar{h}_f^0)_{\text{productos}} - \sum (N * \bar{h}_f^0)_{\text{reactivos}}$$

$$\bar{h}_c = \sum (N * \bar{h}_f^0)_{CO_2} + \sum (N * \bar{h}_f^0)_{H_2O} - (N * \bar{h}_f^0)_{C_8H_{18}} - (N * \bar{h}_f^0)_{C_2H_5OH}$$

$$\bar{h}_c = (6.75\text{kmol})(-393520\text{KJ/kmol}) + (7.85\text{kmol})(-285830\text{KJ/kmol}) \\ - (1\text{kmol})(-208450\text{KJ/kmol}) - (0.05\text{kmol})(-277690\text{KJ/kmol})$$

$$\bar{h}_c = -5108.068 * 10^6 (\text{J/kmol})$$

$$-5108.068 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} * \frac{1,987\text{cal}}{8,341\text{J}} * \frac{1\text{BTU}}{252\text{cal}} * \frac{1\text{KBTU}}{1000\text{BTU}} = -4965,81 \left( \frac{\text{KBTU}}{\text{Kmol}} \right)$$

$$\bar{h}_c = -4844,44 \left( \frac{\text{KBTU}}{\text{Kmol}} \right)$$

Nuevamente por el convenio de signos el valor de su poder calorífico será de:

$$VCS = 4844,44(\text{KBTU/Kmol})$$

Teóricamente se observa una disminución del poder calorífico del bioetanol E10 respecto a la gasolina corriente, en base a los criterios de una reacción exotérmica la energía que libera la reacción en forma de calor es menor para la mezcla homogénea de gasolina con aditivo vegetal esta disminución de liberación de energía implicara una reducción en la potencia del motor.

#### 4.4 Resultados Obtenidos

La siguiente tabla muestra un resumen de los resultados de los valores mínimos y máximos de las condiciones ambientales en las que se realizaron las pruebas de ruta para la Gasolina y el Biocombustible RON 92.

**Tabla 4.7: Resultados**

Combustible	Temperatura (°F)		Presión (psia)		Humedad (%)		Relación aire/combustible (lb.aire/lb.combustible)
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	
GASOLINA	47.3	68	10.5	10.6	47	49.5	15.0
BIOCOMBUSTIBLE RON 92	49.3	17.6	10.5	10.6	35	83	14.4

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

Debido a la diferencia de densidades del etanol y la gasolina, se obtiene una mezcla de diferente densidad para el Biocombustible RON 92. Esto es verificado por la agencia nacional de hidrocarburos visualmente una vez realizada la mezcla, y se deja un tiempo en reposo, la mezcla se mantenía homogénea, sin presentar capas diferenciadas entre el etanol y la gasolina. Por lo cual se garantiza que la introducción de la mezcla en los motores de automóviles es lo más homogénea posible. En cuanto a la coloración de la gasolina extra con respecto a la mezcla, existe una gran similitud en el color.

La relación de aire/combustible para el Biocombustible disminuye en 5.6 (lb.aire/lb.combustible) en comparación de la Gasolina extra. Además, se tiene que, por cada unidad de volumen de gasolina oxigenada, se tiene 89.3% de masa de gasolina corriente y 10.7% de etanol.

Se obtuvo una velocidad promedio de 37.5 km/h, con un valor máximo de 60 km/h (vías rápidas), y con un valor mínimo de 15 km/h (vías con tránsito vehicular), la velocidad promedio obtenida está dentro de los límites permitidos por la ley de tránsito para la circulación en vías urbanas. La velocidad con la que se circulaba, se vio especialmente afectada por el tránsito vehicular, hora a la que se realizó la prueba (hora pico, hora de tránsito normal).

Se obtuvo consumo mayor de galones/kilómetro para el uso de Biocombustible RON 92 en comparación con la gasolina especial.

Para la distancia recorrida total en las pruebas, el consumo del Biocombustible RON 92 es de un galón mayor que la Gasolina.

El precio total del combustible en las distancias recorridas es mayor con el RON 92, en una relación de cinco veces más que con la gasolina.


Se tiene un valor menor de índice de viscosidad para el Biocombustible RON 92 en comparación con la gasolina extra.

La temperatura del punto de inflamación es mayor para el Biocombustible RON 92 comparándolo con la gasolina extra con una diferencia de 38 °C.

#### 4.5 Análisis FODA

Lo que se pretende al realizar un análisis FODA del Súper Etanol 92 es identificar las fortalezas que tienen el etanol como combustible comparada con otros combustibles, que oportunidades ofrece a la población al gobierno y al medio ambiente, las debilidades que tiene el etanol comparado con el resto de combustibles y por último analizar las amenazas que presenta.

**Tabla 4.8: Matriz FODA**

		ANÁLISIS INTERNO	
		FORTALEZAS (F)	DEBILIDADES (D)
		Producto de excelente calidad y mayor cantidad de octanos.	Al ser un nuevo tipo de producto existe desconfianza de parte del público hacia su uso.
		Genera reducción de importaciones de combustibles.	Generación de nuevas políticas y leyes de comercialización.
		Mitiga el efecto del precio del crudo.	Falta de incentivo a los productores de caña.
ANÁLISIS EXTERNO	OPORTUNIDADES (O)	ESTRATEGIA (FO)	ESTRATEGIA (DO)
	Buena relación con proveedores	Mantener relaciones estrechas con los proveedores y de este modo garantizar la producción de bioetanol	Generar confianza en los clientes respecto al uso de la nueva Etanol 92.
	Alta demanda de los consumidores por combustibles que generan mayor rendimiento	Establecer las características superiores de la nueva Etanol 92 frente a la gasolina convencional.	Coordinar de manera oportuna los trámites legales de modo que no generen desabastecimiento para la población.
	Potenciación de la imagen corporativa de YPF B a fin de motivar el consumo de sus productos	Conservar precios competitivos para mantener a los clientes interesados.	Coordinar de manera oportuna la producción de caña para su utilización en bioetanol.

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

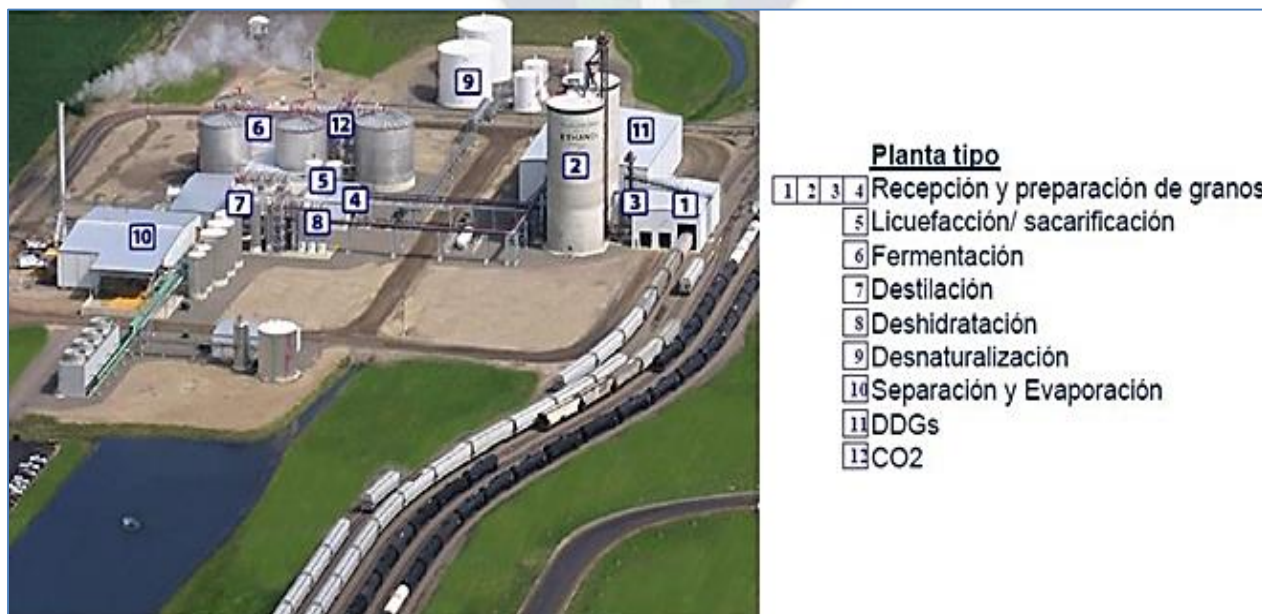


Tabla 4.8: Matriz FODA (Continuación)

ANÁLISIS EXTERNO	AMENAZAS (A)	ESTRATEGIA (FA)	ESTRATEGIA (DA)
	Subvención de hidrocarburos por parte del gobierno	Realizar análisis anuales en cuanto el precio de los insumos, así como de los impuestos para mantener un precio que genere ingresos evitando alzas bruscas de costo al consumidor.	Imponer el producto de maneras que genere confianza en el consumidor y satisfacción de sus demandas
	Amplia gama de combustibles sustitutos	Mantener comunicación constante con el cliente al momento de realizar la venta y recabar experiencias.	Crear conciencia del uso de biocombustibles amigables con el medio ambiente.
	Inestabilidad y problemas sociales que puedan acrecentar por las elecciones gubernamentales	Establecer la diferencia entre biocombustible y los combustibles derivados del crudo y su impacto ante el precio del barril del petróleo.	Definir estrategias que permitan sobrellevar temporadas de ventas bajas por diferentes problemas que pudieran suscitarse.

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

#### 4.6 Especificaciones Técnicas para la Mejora en una Planta de Tratamiento de Bioetanol



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2014). Presentación Etanol.

#### 4.6.1. Objetivo

Se realiza la corrida de prueba en la unidad de destilación primaria la planta de etanol. La carga es de 92 RON proveniente de la unidad de craqueo. Se espera obtener fracciones de mayor octanaje y formular gasolinas de 97 RON para el mercado nacional.

#### Adecuación de la planta

Al construirse la planta de etanol que tiene una capacidad de procesar 300.000 litros por día de alcohol anhidro que permite tener un alcohol puro separado de las moléculas de agua y con alta calidad de sequedad. Las unidades de procesos (UDP<sup>1</sup> y UDV<sup>2</sup> de RFCO) deben estar en producción de Residual, operación que tiene condiciones operativas menos severas.

Se coordina disminuir gradualmente la temperatura de los hornos, en forma similar a las que se consiguen cuando se establece el programa de parada de unidades, pero el límite es un escenario intermedio. El horno F-1 de primaria queda con dos de los cuatro quemadores en servicio, en condiciones de recibir un hidrocarburo líquido liviano con una temperatura apropiada para su manipuleo.

#### 4.7.1. Destilación azeotrópica

Se emplea una columna de destilación fraccionada, en la cual se busca la ruptura de dicho azeotropo<sup>3</sup> para eliminar el agua presente en el alcohol, los agentes de separación usados en la destilación azeotrópica son:

- Benzeno
- Tolueno
- Ciclohexano
- Ciertos casos los n-pentanos

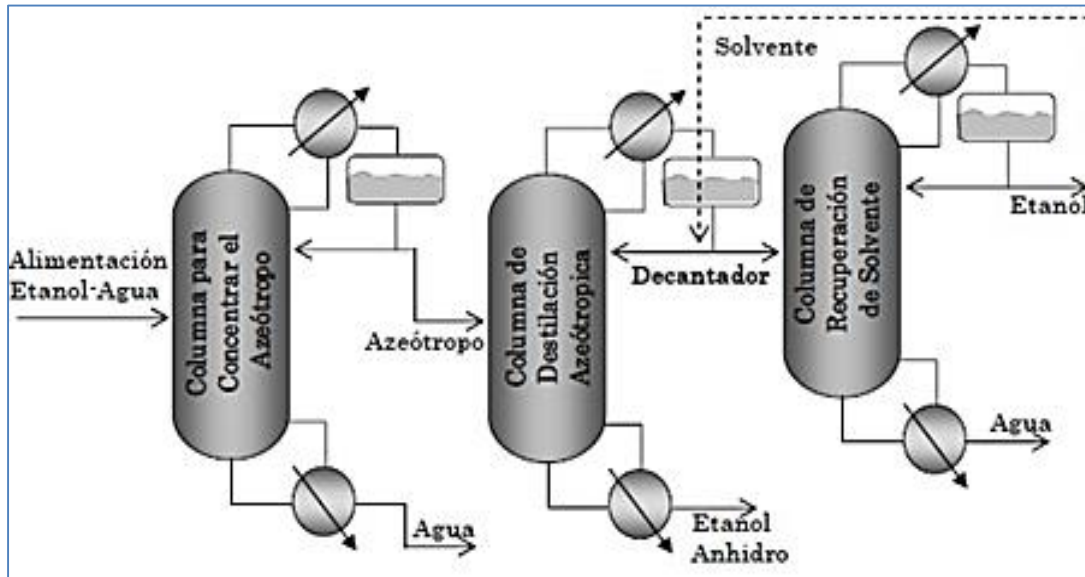
---

<sup>1</sup> UDP: Unidad de destilación primaria

<sup>2</sup> UDV: Unidad de destilación al vacío

<sup>3</sup> Azeotropo: es una mezcla líquida de composición definida (única) entre dos o más compuestos químicos que hierve a temperatura constante y que se comporta como si estuviese formada por un solo componente, por lo que al hervir su fase de vapor tendrá la misma composición que su fase líquida.

Figura 4.2: Destilación azeotrópica



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2014). Presentación Etanol.

## 4.7.2. Tecnología para deshidratar el etanol

### 4.7.2.1. Tamiz molecular

Figura 4.3: Tecnologías para deshidratar el etanol

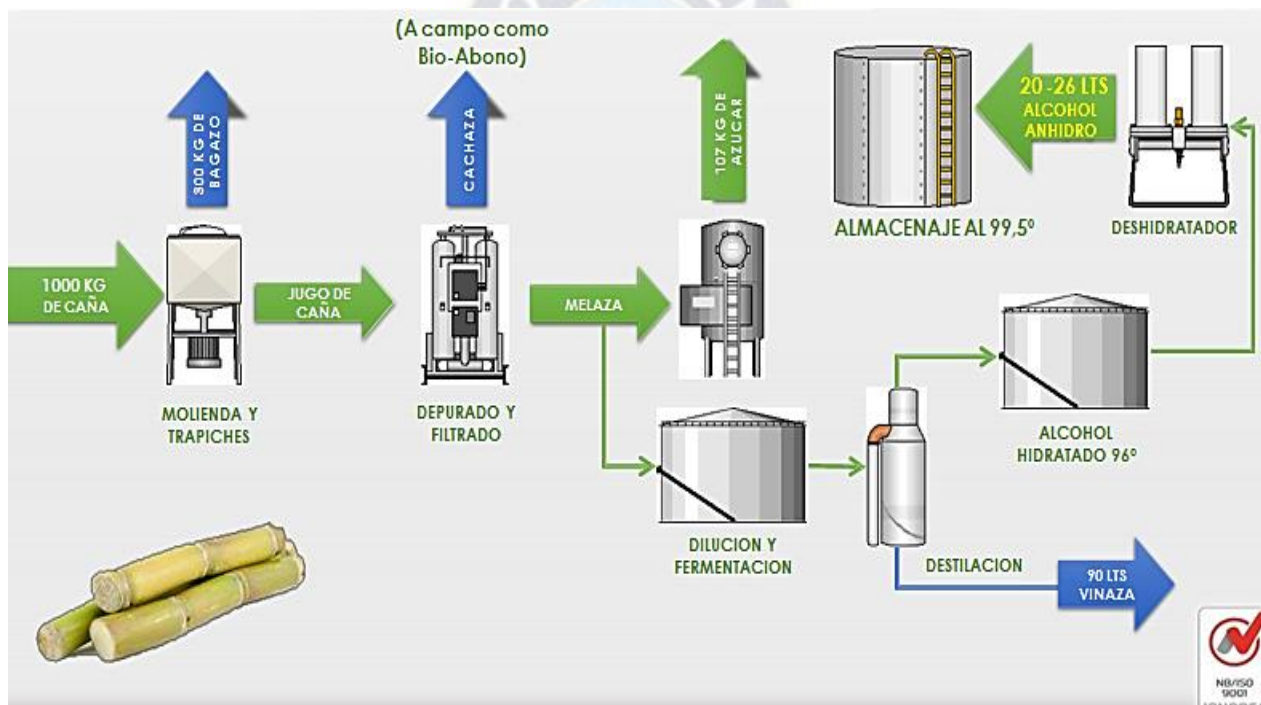


Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2014). Presentación Etanol.

Se emplea un tamiz molecular de zeolita y cerámicas que son sustancias micro-porosas hechas de materiales de arcilla similares (como cristalinas aluminio – silicatos pertenecen a la clase zeolita, se producen en la forma de granos de cerámica pequeños de diferentes tamaños.

La molécula de agua es más pequeña que la molécula de alcohol por lo que esta última pasa libremente por el filtro y la que queda absorbida en la cerámica es la molécula de agua.

**Figura 4.4: Proceso de obtención de azúcar y alcohol a partir de caña de azúcar**



**Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2014). Presentación Etanol.**

El proceso de obtención de alcohol etanol consiste en fermentar melaza de caña de azúcar y así obtener mosto fermentado, el cual tiene una gran riqueza alcohólica, principalmente etanol, al que se lo extrae mediante varias etapas de destilación.

La materia prima de la destilería es la melaza, la que constituye un desecho de la fábrica de azúcar rico en sacarosa y glucosa y que mediante el uso de levaduras serán fermentados.

La fermentación es un proceso en el que producen cambios químicos en un substrato orgánico, ya sean hidratos de carbono, proteínas, etc. por la acción de catalizadores bioquímicos conocidos como enzimas que son elaborados por tipos especiales de microorganismos vivos, hongos; un hongo en particular cuyo nombre científico es *Sacharomicies Servericiae* conocida normalmente como levadura de cerveza, para obtener un óptimo rendimiento se le agrega ácido sulfúrico como antiséptico para la eliminación de infecciones no deseadas como así también penicilina; nutriente tales como el fosfato de amonio, para la reproducción como la urea y también como auxiliares en el desarrollo de las levaduras el sulfato de zinc, sulfato de magnesio y el sulfato de manganeso.

Esta levadura así acondicionada tiene la propiedad que para su alimentación, reproducción y desarrollo, por medio de la enzima Invertaza desdobra a los disacáridos en dos moléculas de monosacáridos (Glucosa y Fructosa) y por acción de la enzima Zimaza a los monosacáridos los desdobra en 2 (dos) moléculas de Alcohol y 2 (dos) de CO<sub>2</sub>, es decir que de una molécula de sacarosa se obtienen 4 (cuatro) moléculas de alcohol y 4 (cuatro) moléculas de CO<sub>2</sub>, los cuales son los productos principales de la fermentación, como consecuencia obtendremos el “mosto fermentado” que tiene un contenido alcohólico de 8 a 12 °GL (grados Gay – Lussac).

A este mosto se le debe extraer las levaduras que contiene, para este procedimiento se utiliza una centrifuga de platos y toberas especiales, la que permitirá la separación de una crema de levaduras del mosto sin que fueran dañadas y aptas para una nueva fermentación luego de una nutrición y aclimatación adecuada; el mosto sin levaduras se llama ahora vino limpio.

El vino limpio al entrar a las columnas de destilación formará dos subproductos: Flegmas y vinazas. Las vinazas son efluentes que están formados por mosto fermentado sin la presencia de alcohol.

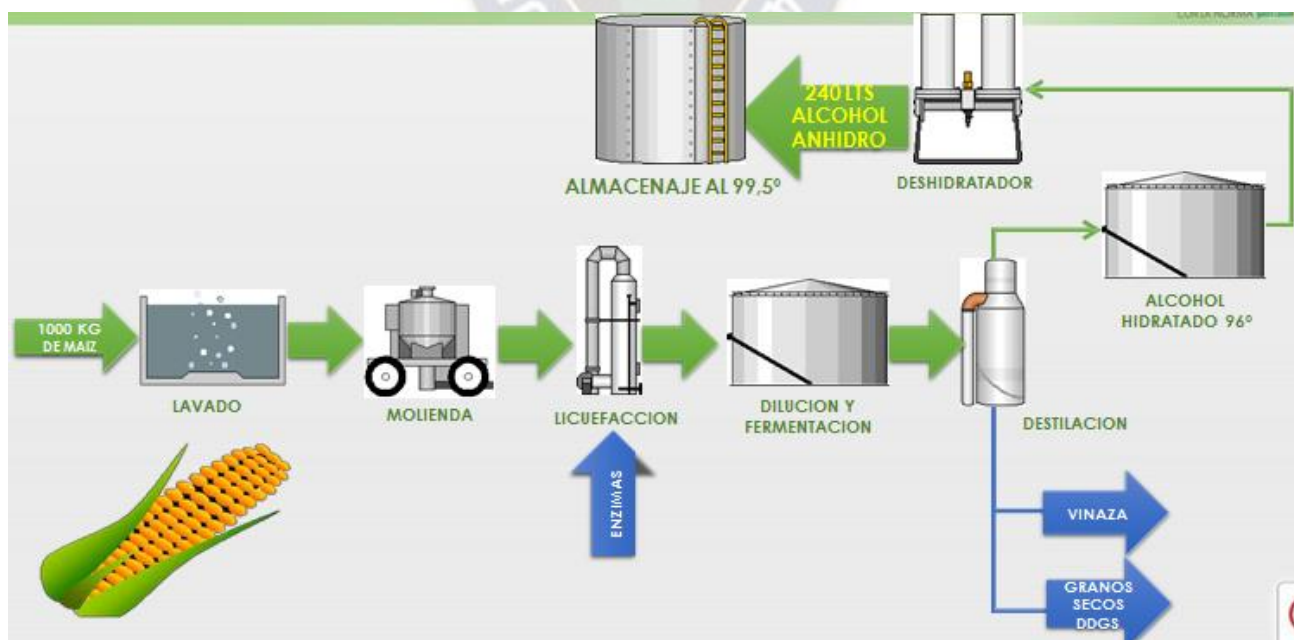
las flegmas en cambio son una mezcla de alcoholes, que luego son depuradas en columnas idénticas a las destiladoras, llamadas depuradoras, para lograr la separación de esterres, aldehídos, cetonas, etc., todos estos llamados alcoholes etílicos mal gusto, de los cuales por retrogradación vuelven a la columna concentrando así la flegma

depurada, la que alimentará a la columna rectificadora, que tiene como objetivo principal concentrar más aún los alcoholes depurados, eliminando agua y alcoholes superiores por la parte inferior de la columna llamados Aceite Fusell (provenientes de hidrocarburos de alta estructuras carbonatadas formadas por la fermentación de ceras, pectinas, pigmentos, etc. que fueron eliminados del proceso de fabricación del azúcar por la melaza), en la parte media de la columna se eliminan los alcoholes medio gusto, el isopropílico, y en la parte superior se extraen los alcoholes etílicos buen gusto de 96 a 96,3 °gl y por la “cabeza” de la columna se condensa y refrigeran los alcoholes livianos que escaparon de la depuración, los cuales se los extrae como alcoholes en pequeñas proporciones, aproximadamente un 10%.

### Obtención de azúcar y alcohol a partir de maíz

Este tipo de tecnología de optimización para la obtención de bioetanol, no sé en plemento en Bolivia, sin embargo, la empresa AgroSol tiene planeado implementar una destilería en la ciudad de Santa Cruz, manejando el esquema que se muestra a continuación:

Figura 4.5: Planta para la obtención de azúcar y alcohol a partir de maíz.



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2014). Presentación Etanol.

#### 4.8.1. Descripción del proceso

- **Molienda:** El proceso de molienda seca comienza con la limpieza del grano de maíz (puede ser cebada, trigo o sorgo), que una vez limpio pasa a través de los molinos que lo muelen en un polvo fino –harina de maíz.

- **Licuefacción:** La harina de maíz se sopla en grandes tanques donde se la mezcla con agua y las enzimas –amilasa alfa- y pasa a través de las cocinas donde se licueface el almidón. A la mezcla se le agregan componentes químicos para mantenerla con un pH de 7. En esta etapa se aplica calor para permitir la licuefacción, en una primera etapa a alta temperatura (120-150°C) y luego a temperatura más baja (95°C). Estas altas temperaturas reducen los niveles de bacterias presentes en el puré o mosto.

- **Sacarificación:** El puré de las cocinas luego es refrescado –a una temperatura levemente debajo del punto de ebullición del agua- y se le agrega una enzima secundaria –glucoamilasa- para convertir las moléculas del almidón licuado en azúcares fermentables –dextrosa- mediante el proceso de sacarificación. Las enzimas funcionan como catalizadores para acelerar los cambios químicos.

- **Fermentación:** El etanol es producto de la fermentación. Al puré se le agrega levadura para fermentar los azúcares –cada molécula de glucosa produce dos moléculas de etanol y dos de dióxido de carbono- y con ello obtener el etanol y el anhídrido carbónico. Usando un proceso continuo, el puré fluiría a través de varios fermentadores hasta que fermente completamente. En este proceso el puré permanece cerca de 48 horas antes que comience el proceso de destilación. En la fermentación, el etanol conserva mucha de la energía que estaba originalmente en el azúcar, lo cual explica que el etanol sea un excelente combustible.

- **Destilación:** El puré fermentado, ahora llamado cerveza, contendrá alcohol –cerca del 15%- y agua –al 85%-, así como todos los sólidos no fermentables del maíz y de la levadura. El puré entonces será bombeado a un flujo continuo, en el sistema de la columna de destilación, donde la cerveza se hierve, separándose el alcohol etílico de los sólidos y del agua.

- **Deshidratación:** El alcohol pasa a través de un sistema que le quita el agua restante. La mayoría de las plantas utilizan un tamiz molecular para capturar las partículas de agua que contiene el etanol al momento de salir del sistema de destilación. El alcohol puro, sin el agua, se lo denomina alcohol anhidro.

- **Desnaturalizado:** El etanol que será usado como combustible se debe desnaturalizar con una cantidad pequeña (2-5%) de algún producto, como nafta, para hacerlo no apto para el consumo humano.

- **Subproductos:** Hay dos subproductos principales del proceso: el anhídrido carbónico y los granos destilados. El anhídrido carbónico se obtiene en grandes cantidades durante la fermentación. Muchas plantas lo recogen, lo limpian de cualquier alcohol residual, lo comprimen y lo venden para ser usado como gasificante de las bebidas o para congelar carne. Los granos destilados, húmedos y secos –DDGS-, se obtienen del stillage, el cual se centrifuga para separar los sólidos suspendidos y disueltos. Un evaporador se utiliza para concentrar los sólidos suspendidos y disueltos y después se envían a un sistema de secado para reducir el contenido de agua a aproximadamente un 10/12%. Los DDGS contienen el núcleo del maíz menos el almidón. Algunas plantas también elaboran un jarabe que contiene algunos de los sólidos que pueden ser comercializados juntos o en forma independiente de los granos destilados.

- **Molienda Húmeda:** La molienda húmeda es un proceso capital intensivo, en el cual las plantas procesan un gran volumen de granos. En general la capacidad instalada es de varias centenas de millones de litros de etanol/año, mientras que las plantas que trabajan bajo el proceso de molienda seca a lo sumo disponen de una capacidad de producción anual de 230 millones de litros (60 millones de galones). La operación de molienda húmeda es más compleja porque el grano se debe separar en sus componentes, con la ventaja que al lograr una separación más efectiva de los mismos se obtienen subproductos de mayor valor agregado. En la molienda húmeda solamente el almidón se fermenta mientras en la molienda seca se fermenta el puré entero.



## 4.9 Cálculos Necesarios para la Obtención del Nuevo RON

### 4.9.1 Primer Caso

Con base 10 Bbl. de NFCC y considerando los datos del (Anexo 1) (peso molecular: 109.8, RON: 93.0, RVP: 6.6), se evalúa la mezcla del corte 1, 3 y 4, las cuales presentan las siguientes características:

**Tabla 4.9: Volúmenes para la formulación de gasolina G-97 y G-90**

	Volumen (Bbl)	Masa (Kg)	Peso Molecular (g/mol)	Moles	RON	RVP psi	RBN
Corte 1	3,0	317,4	84,98	3745,0	98,3	15,0	68,7
Corte 3	2,5	325,1	140,3	2317,2	93,0	5,5	63,9
Corte 4	1,0	136,8	166,4	822,1	98,1	0,0	68,5

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

La mezcla de estos cortes da como resultado:

- **Determinación del RON**

$$B_t * RBN_t = \sum (B_i * RBN_i)$$

$$B_t * RBN_t = 3.0 * 68.7 + 2.5 * 63.9 + 1 * 68.5$$

$$B_t * RBN_t = 434.35$$

$$(3 + 2.5 + 1) * RBN_t$$

$$RBN_t = 66.82 \text{ Adimensional}$$

Luego, este número de  $RBN_t$  corresponde a:

$RBN_t = 66.82$  Del Anexo 1 se determina que el valor corresponde a RON 96.4

**Tabla 4.10: Determinación del valor para RON 96.4**

94	64,7	64,8	64,9	65	65	65,1	65,2	65,3	65,4	65,5
95	65,5	65,6	65,7	65,8	65,9	66	66	66,1	66,2	66,3
96	66,4	66,5	66,6	66,7	66,8	66,9	67	67,1	67,2	67,3
97	67,4	67,5	67,6	67,7	67,8	67,9	68	68,1	68,2	68,3

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (Anexo 1)

- **Determinación del RVP**

$$M_t * RVP_t = \sum (M_i * RVP_i)$$

$$M_t * RVP_t = 3745 * 15 + 2317.2 * 5.5 + 822.1 * 0$$

$$M_t * RVP_t = 68919.6$$

$$(3745 + 2317.2 + 822.1) * RVP_t = 68919.6$$

$$RVP_t = 10.01 \text{ Adimensional}$$

En este caso, el octanaje de la mezcla evaluada es de 96.4, inferior a 97 RON deseado, por lo que se evaluará nuevas cantidades de los cortes 1, 2 y 3.

#### 4.9.2 Segundo Caso

**Tabla 4.11: Volúmenes para la formulación de Gasolina 97 RON y Gasolina 90 RON**

	Volumen (Bbl)	Masa (Kg)	Peso Molecular (g/mol)	Moles	RON	RVP psi	RBN
Corte 1	2,5	264,5	84,98	3112,5	98,3	15,0	68,7
Corte 3	1,0	130,0	140,3	926,6	93,0	5,5	63,9
Corte 4	1,0	136,8	166,4	822,1	98,1	0,0	68,5

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

La mezcla de estos cortes (fracciones) da como resultado:

- **Determinación del RON**

$$B_t * RBN_t = \sum (B_i * RBN_i)$$

$$B_t * RBN_t = 2.5 * 68.7 + 1 * 63.9 + 1 * 68.5$$

$$B_t * RBN_t = 304.15$$

$$(3 + 1 + 1) * RBN_t$$

$$RBN_t = 67.6 \text{ Adimensional}$$

Luego, este número de  $RBN_t$  corresponde a:

$RBN_t = 67.6$  DEL ANEXO 2 se determina que el valor corresponde a RON 97.2

**Tabla 4.12: Determinación del valor para RON 97.2**

96	66,4	66,5	66,6	66,7	66,8	66,9	67	67,1	67,2	67,3
97	67,4	67,5	67,6	67,7	67,8	67,9	68	68,1	68,2	68,3
98	68,4	68,5	68,6	68,7	68,8	68,9	69	69,1	69,2	69,3
99	69,5	69,6	69,7	69,8	69,9	70	70,1	70,2	70,4	70,5

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (Anexo 1)

- **Determinación del RVP**

$$M_t * RVP_t = \sum (M_i * RVP_i)$$

$$M_t * RVP_t = 3112.5 * 15 + 926.6 * 5.5 + 822.1 * 0$$

$$M_t * RVP_t = 51780.5$$

$$(3112.5 + 926.6 + 822.1) * RVP_t = 51780.5$$

$$RVP_t = 10.65 \text{ Adimensional}$$

Los resultados muestran que por cada 10 Bbl. de NFCC de 92 RON obtenemos 4.5 Bbl. de gasolina de 97.2 RON y RVP 10.65, y 5.5 Bbl de gasolina de 89.6 RON y 5.5 RVP.

### 4.9.3 Gasolina vs Gasolina más etanol

Como resumen de los cálculos realizados anteriormente, se presentan las siguientes tablas en las cuales se compara, por un lado las propiedades así como los gases de escape que genera la combustión de gasolina y gasolina más etanol.

**Tabla 4.13: Comparación de propiedades de la gasolina vs gasolina más etanol**

PROPIEDAD	UNIDAD	GASOLINAS		GASOLINA + ETANOL	
		ESPECIAL	PREMIUM	ESPECIAL	PREMIUM
Densidad (60f)	lb/gal	6,247	6,164	6,287	6,214
Gravedad Api (60f)		57,2	59,7	56,0	58,2
Presion De Vapor Reid (100f)	Psia	8	8	8,12	8,12
Ron		84,8	95	86	96
Mon		78	83	80,2	85,3
Indice Antidetonante (Ron+Mon)/2		81,4	89	83,1	90,65
Punto Inicial De Ebullición	R	564,5	568	572,3	564,7
%P/P Azufre	%	0,07	0,07	0,02	0,03
Corrosión En Lamina De Cobre (122f)	Clasificación	1	1	1	1
Temperatura Máxima De Llama	R	3400	3440	3314	3326
Poder Calorífico	KBTU/lb	19,83	20,03	19,19	19,01

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

**Tabla 4.14: Comparación gases de escape de la gasolina vs gasolina más etanol**

GASES DE ESCAPE	GASOLINA	GASOLINA + ETANOL
RELACION AIRE-COMBUSTIBLE (Kg aire/Kg combustible)	15	14,4
DIOXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> ) (g CO <sub>2</sub> /L Combustible)	2316	2270
MONOXIDO DE CARBONO (CO) (g CO/L Combustible)	91,4	89,52
OXIDOS DE NITROGENO (NO <sub>x</sub> ) (g NO <sub>x</sub> /L Combustible)	9	8,82
HIDROCARBUROS (HC) (g HC/L Combustible)	5,15	5,04

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

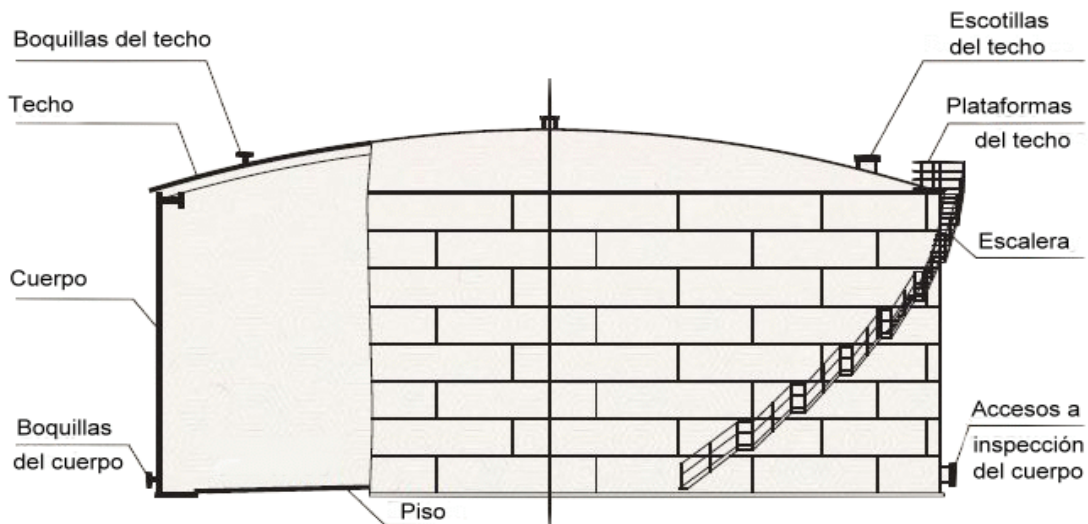
En las tablas 4.13 y 4.14 se pueden evidenciar las diferencias que existen entre la gasolina y la gasolina más etanol (en otras palabras Súper Etanol 92).

A simple vista el etanol tiene características que lo hacen atractivo para el uso en automóviles; sin embargo, hay que tomar en cuenta que no todos los autos están diseñados para funcionar con esta mezcla.

#### 4.9.4 Almacenaje

Se toman las siguientes consideraciones:

**Figura 4.6: Almacenaje**



**Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2014). Presentación Etanol.**

- Para el almacenaje es necesario aplicar la norma API 651 de protección catódica.
- Para mayor protección anticorrosiva se aplica una pintura epóxido fenólico holding primer de un espesor seco de 75 micras.
- El almacenaje de alcohol se lo realiza en tanque vertical atmosférico de techo fijo y techo flotante.
- Para el diseño y construcción de tanques verticales de almacenamiento atmosférico se aplica la normativa API 650 y API 620 y para los tanques en servicio la API 683.

- Los materiales que indican esta normativa son la A36, SS304, SS316, entre otros materiales, separadores vapor – líquido.

**Figura 4.7: Almacenaje de alcohol**



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2014). Presentación Etanol.

#### **4.10 Plan de Seguridad Industrial Aplicado a la Gestión de Producción de Biocombustibles**

Para elaborar un plan de seguridad industrial que provea de las medidas de control necesarias aplicables a la gestión de producción de biocombustibles, es necesario identificar en primera instancia, las actividades que se desarrollan para la obtención de biocombustibles, luego se deben identificar los peligros que surgen de las actividades anteriormente descritas para finalmente identificar y evaluar los riesgos que derivan de cada uno de los peligros encontrados y de esa manera establecer las medidas de control necesarias y planes de contingencia para aquellos riesgos que puedan generar situaciones de emergencia potenciales.

#### 4.10.1 Identificación de Actividades y Peligros Asociados a las Mismas

Para identificar los peligros que pueden causar lesiones o enfermedades a los trabajadores durante las actividades desarrolladas para la producción de biocombustibles, se utiliza la siguiente metodología:

- a) Identificar las actividades que se llevan a cabo para la producción de biocombustibles.
- b) Identificar la fuente, situación o circunstancia peligrosa que surge de las actividades anteriormente descritas.

Lo anteriormente mencionado se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 4.15: Identificación de peligros en la producción de biocombustibles**

Actividad	Fuente, situación o circunstancia peligrosa	Riesgo (s)
BLENDING	Acceso inadecuado (piso inestable, acceso estrecho)	Caída al mismo nivel
		Caída a distinto nivel (más de 1,8 metros)
	Manipulación de herramientas en altura	Caída de herramientas por manipulación
	Mareo, vértigo	Caída al mismo nivel
		Caída a distinto nivel (más de 1,8 metros)
	Contacto con superficies calientes	Quemaduras, lesiones en la piel
	Exposición a cambios de temperatura	Enfermedades por exposición a temperaturas extremas, deshidratación
		Fatiga, incomodidad

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

**Tabla 4.15 Identificación de peligros en la producción de Biocombustibles (Continuación)**

Actividad	Fuente, situación o circunstancia peligrosa	Riesgo (s)
BLENDING	Exposición a tierra debido a suelo sin vaciado	Enfermedades por exposición a polvo
	Fuga de combustibles	Enfermedades por exposición a gases tóxicos o vapores
		Inicio de incendio
		Explosión
	Presencia de hidrocarburos/sustancias peligrosas	Enfermedades por exposición a gases tóxicos o vapores
		Desmayo, asfixia, intoxicación
		Inicio de incendio
		Explosión
Exposición a elevados niveles de ruido	Enfermedades por exposición a ruido	
CARGA Y DESCARGA DEL BIOCOBUSTIBLE	Trabajo en altura	Caída a distinto nivel (más de 1,8 metros)
	Manipulación de herramientas en altura	Caída de herramientas por manipulación
	Mareo, vértigo	Caída al mismo nivel
		Caída a distinto nivel (más de 1,8 metros)
	Presencia de hidrocarburos/sustancias peligrosas	Enfermedades por exposición a gases tóxicos o vapores
		Desmayo, asfixia, intoxicación
		Inicio de incendio
		Explosión
	Fuga de combustibles	Enfermedades por exposición a gases tóxicos o vapores
		Inicio de incendio
Explosión		

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.



**Tabla 4.15 Identificación de peligros en la producción de Biocombustibles (Continuación)**

<b>Actividad</b>	<b>Fuente, situación o circunstancia peligrosa</b>	<b>Riesgo (s)</b>
TRANSPORTE DEL BIOCOMBUSTIBLE	Fallas mecánicas del vehículo	Atropellamiento o golpes por objetos móviles
		Inicio de incendio
	Imprudencia del conductor	Accidentes de tránsito
	Terreno irregular, acumulación de fango	Atrapamiento por vuelco de vehículo
	Fuga de combustibles	Enfermedades por exposición a gases tóxicos o vapores
		Inicio de incendio
		Explosión

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

En teoría el proceso de “Blending” está automatizado; sin embargo, para la identificación de peligros se considera que personal ingresa físicamente al área de los tanques donde se realiza este proceso a fin de supervisar y verificar que las operaciones se desarrollen de manera correcta.

Asimismo, las actividades de carga y descarga son prácticamente las mismas, motivo por el cual se identifican los peligros y riesgos de ambas actividades de manera conjunta y no individualmente.

#### **4.10.2 Evaluación de Riesgos**

La evaluación de riesgos es uno de los instrumentos más adecuados y eficaces para la reducción de los costos sociales y económicos derivados de los accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales, ya que nos ayuda a determinar si un riesgo es aceptable o si es necesario adoptar medidas de control.

En el presente proyecto se utiliza la norma GTC - 45 para la evaluación de riesgos, cuyos indicadores se presentan en los Anexos 2, 3, 4 y 5.

Para evaluar los riesgos derivados de los peligros identificados en el punto 4.13.1 y establecer medidas de control, si fueran necesarias, se utiliza la siguiente metodología:

- a) Identificar los riesgos que derivan de cada uno de los peligros descritos anteriormente.
- b) Establecer el nivel de deficiencia y nivel de exposición según las tablas del Anexo 2 y 3 respectivamente.
- c) Calcular el nivel de probabilidad con la siguiente ecuación:  $NP = ND \times NE$
- d) Establecer el nivel de consecuencia según la tabla del Anexo 4.
- e) Calcular el nivel de riesgo con la siguiente ecuación:  $NR = NP \times NC$
- f) Determinar si el riesgo es aceptable o no según la tabla del Anexo 5.
- g) En caso de que el riesgo no sea aceptable o aceptable con control específico, establecer las medidas de control necesarias.

En el Anexo 6 se presenta la Matriz de Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos, donde se determinan los riesgos aceptables y las medidas de control para los riesgos no aceptables o aceptables con control específico.

#### **4.11 Plan de Contingencias Orientado al Empleo del Súper Etanol 92**

Teniendo en cuenta los puntajes de la Matriz IPER (Anexo 6) se concluye que los riesgos que pueden generar situaciones de emergencia potenciales, asociados al empleo del Súper Etanol 92 son:

- Accidentes de tránsito
- Fuga de combustibles
- Incendio

Los riesgos anteriores están relacionados entre sí ya que puede considerarse que el último riesgo se da a partir de cualquiera de los dos primeros. En ese sentido, se requiere un plan de contingencia en el cual se detalle la manera en la que se debe actuar ante estas situaciones potenciales de emergencia.

No obstante; previamente a la elaboración del plan de contingencia ante estas situaciones, primero se debe identificar la zona de contingencia y el nivel de la contingencia (posibles accidentes) a fin de facilitar la comunicación de la emergencia.

#### **4.11.1 Zona de Contingencia**

Se toman las tres zonas en las que se realizan las actividades para la producción y empleo del Súper Etanol 92.

- **Zona 1:** Área de los tanques donde se lleva a cabo el blending.
- **Zona 2:** Cualquier lugar del trayecto recorrido por el camión cisterna, desde el lugar de carga hasta el lugar de descarga.
- **Zona 3:** Estación de servicio donde se descarga el biocombustible.

#### **4.11.2 Nivel de Contingencia**

Luego de analizar las situaciones de emergencia provocadas por los riesgos anteriormente mencionados, se establecen tres niveles de contingencia:

##### **Accidentes de nivel 1**

Accidentes más probables, que quedan limitados al ámbito local, sin efectos graves sobre la salud, seguridad o medio ambiente. No afecta a las personas ni deja secuelas, se resuelve en el sitio sin pérdidas de días, no tiene repercusión entre los medios de comunicación y/o sus efectos ambientales se corrigen con orden y limpieza, son reversibles y sus emisiones son de baja magnitud.

##### **Accidentes de nivel 2**

Accidente menos probables que pueden causar efectos graves sobre la salud, seguridad o medio ambiente. Requieren atención médica fuera del lugar del accidente provocando pérdida de días y/o baja médica. Se producen daños económicos considerables.

##### **Accidentes de nivel 3**

Accidentes incluso menos probables a los anteriores que pueden causar efectos muy graves sobre la salud, seguridad o medio ambiente, ocasionando pérdidas económicas

significativas. Pueden provocar lesiones físicas graves y/o muerte y el impacto sobre el medio ambiente es considerable.

### **4.11.3 Organización de las Brigadas**

#### **4.11.3.1 Comité Mixto de Higiene y Seguridad Ocupacional**

El Comité Mixto de Higiene y Seguridad Ocupacional (CMX) es el organismo responsable del Plan de Contingencias. Sus funciones básicas son: programar, dirigir, ejecutar y evaluar el desarrollo del plan, organizando asimismo las brigadas.

El CMX está constituido por:

- Director de la Emergencia (Trabajador designado).
- Jefe o Responsable de Seguridad.

El Director de la Emergencia tiene como funciones básicas programar y evaluar el desarrollo del plan de contingencias.

El Jefe o Responsable de Seguridad tiene como funciones básicas dirigir y ejecutar el desarrollo del plan de contingencias, organizando asimismo las brigadas.

#### **4.11.3.2 Brigadas**

El aspecto más importante de la organización de emergencias es la creación y entrenamiento de las brigadas.

##### **Funciones de las Brigadas**

- **Jefe de brigada**

- 1) Comunicar de manera inmediata al CMX de la ocurrencia de una emergencia.
- 2) Verificar si los integrantes de las brigadas están suficientemente capacitados y entrenados para afrontar las emergencias.
- 3) Estar al mando de las operaciones para enfrentar la emergencia cumpliendo con las directivas encomendadas por el CMX.

- **Brigada Contra Incendio/ Fuga / Derrame / Primeros Auxilios**

- 1) Producida una situación de emergencia:

- 2) Comunicar de manera inmediata al Director de Emergencia o al Jefe de Seguridad de la ocurrencia.
- 3) Actuar de inmediato haciendo uso de los equipos contra incendio (extintores portátiles), paños absorbentes, botiquín de primeros auxilios, etc.
- 4) Estar lo suficientemente capacitados y entrenados para actuar en caso de emergencia.
- 5) Adoptar las medidas de ataque que considere conveniente para enfrentar o combatir la situación.
- 6) Tomar las acciones o medidas sobre la utilización de los equipos de protección personal para los integrantes que realicen las acciones de respuesta.
- 7) Al arribo de la Compañía de Bomberos y personal médico informar las medidas adoptadas y las tareas que se están realizando, entregando el mando a los mismos y ofreciendo la colaboración de ser necesario.

#### **4.11.4 Procedimientos a Seguir Durante las Actividades**

A continuación se dan algunas recomendaciones para que las actividades asociadas a la producción y empleo del Súper Etanol 92 se realicen de manera segura a fin de prevenir las situaciones de emergencia.

- **Antes de la carga del biocombustible**

- 1) Se debe ventilar el tanque para liberar la existencia de presión residual resultante de un uso previo de transporte de combustible, en el caso que no cuente con el sistema recuperador de vapores. Para ello se debe dejar el vehículo a la intemperie, una noche para que se enfríe a temperatura ambiente.

- **Durante la carga del biocombustible**

- 1) Se debe ubicar el vehículo en posición correcta como lo indique el operador de carga de la refinería.
- 2) Antes de iniciar la carga, se debe efectuar la conexión a tierra para eliminar la electricidad estática.

- 3) El conductor debe exigir que la carga se efectúe bajo la supervisión de una persona. La persona responsable de cargar el tanque también tendrá la obligación de asegurar que el proceso se lleve a cabo de la manera adecuada.
- 4) Colocar el extintor en un lugar de fácil acceso durante el transporte del biocombustible.
- 5) Respetar las normas de tránsito durante todo el trayecto.
- 6) Conducir a la defensiva teniendo en consideración permanentemente las condiciones climatológicas y el estado de las carreteras por donde se desplaza. Durante la descarga del camión cisterna al punto de descarga.
- 7) Ubicar el vehículo en la posición adecuada para la descarga sin que el vehículo perjudique el libre tránsito de vehículos en la zona de maniobras y sin que el mismo perjudique el libre paso de las personas.
- 8) Accionar freno de mano.
- 9) Colocar triángulos o conos de seguridad.
- 10) Colocar el extintor en lugar adecuado.
- 11) Indicar al operador del grifo o establecimiento que verifique el nivel del biocombustible en el tanque para evitar derrames por sobrellenado.
- 12) Conectar la manguera a la boca de descarga que corresponda.
- 13) Antes de iniciar la descarga, se debe efectuar la conexión a tierra para eliminar la electricidad estática.
- 14) Proceder a la descarga del combustible.
- 15) Mantener alejados a las personas ajenas a las operaciones.

#### **4.11.4.1 Equipamiento**

##### **Métodos de Protección**

En el área donde se realiza el blending se debe contar con los siguientes equipos de protección contra incendios:

- ✓ Vehículo bombero
- ✓ Hidrantes
- ✓ Monitores fijos de incendio
- ✓ Mangueras

Asimismo, el camión cisterna de contar con los siguientes equipos e implementos de seguridad:

- ✓ Extintor portátil, con carga vigente.
- ✓ Botiquín básico de primeros auxilios.
- ✓ Tacos de madera.
- ✓ Luces de emergencia.
- ✓ Conos de seguridad.
- ✓ Linternas antiexplosivas.
- ✓ Palas y picos de material antichispa.
- ✓ Equipo antiderrame constituido por barreras absorbentes, paños y trapos.

#### **4.11.5 Acciones de Respuesta Frente a las Situaciones de Emergencia**

##### **4.11.5.1 Incendios**

- **Incendio durante la carga del biocombustible**
  - 1) En caso de que el incendio se produzca al momento de la carga del Súper Etanol 92 al camión cisterna se deben tomar las siguientes acciones:
  - 2) Cortar la fuente de combustible, en los casos que se trate de un derrame o fuga cerrando llaves o válvulas.
  - 3) Retirar el brazo de llenado, de ser necesario solicitar asistencia.
  - 4) Todas las personas que detecten fuego deben intentar extinguirlo, o contener las llamas para que no se expandan, con los medios disponibles en el momento (extintores, arena, etc.).

- 5) No mover el vehículo; sin embargo, se debe combatir el incendio rápidamente con el extintor. El fuego en cabina debe ser sofocado con una manta.
- 6) De ser necesario se debe solicitar la presencia de bomberos y se les debe proporcionar información sobre el biocombustible.

- **Incendio durante la ruta**

- 1) Retirar el vehículo de la carretera y tratar de alejarlo de árboles, edificios y otros bienes.
- 2) Apagar el motor.
- 3) Combatir rápidamente el fuego con el extintor.
- 4) Llamar a los bomberos.
- 5) Alertar a otros conductores sobre la emergencia.
- 6) No encender el vehículo hasta que no tener la autorización de la Policía o Bomberos.

- **Incendio durante la descarga del biocombustible**

- 1) Detener el flujo, cerrar las válvulas. Los fuegos en líneas de venteo de tanques enterrados se extinguen fácilmente una vez que se corta el flujo de producto usando una frazada o similar sobre el venteo o el extintor portátil.
- 2) Combatir el fuego con el extintor.
- 3) Comunicar la emergencia al personal del sitio.
- 4) Informar a la administración o propietario de la estación de servicio sobre el suceso.

#### **4.11.5.2 Derrames/Fugas**

- **Si el derrame/fuga ocurre en vía pública**

- 1) Evitar que el derrame llegue al alcantarillado, colocando barreras de arena, tierra o con material absorbente.
- 2) Comunicarse con la policía para el control del tránsito o tráfico vehicular.



3) Tener listos los extintores por si se produce un incendio.

- **Si el derrame ha ocurrido en la carretera**

1) Usualmente un derrame ocurre como resultado de una falla del equipo o un accidente. En dichos casos su preocupación debe ser atender al público y al medio ambiente del riesgo potencial creado por la inflamabilidad y toxicidad del biocombustible.

2) Detener el vehículo fuera de la carretera de ser posible y apagar el motor.

3) Tome acción para parar el derrame usando el equipo básico del camión.

4) Establecer una zona de seguridad, solicitar ayuda para mantener los vehículos fuera del área afectada.

5) Tratar de prevenir que el derrame se extienda o que llegue a fuentes de ignición o drenajes usando barreras de arena/tierra o material absorbente.

6) Solicitar asistencia

7) Quedarse viento arriba del derrame y eliminar cualquier fuente de ignición.

- **Si el derrame ha ocurrido en un grifo, estación de servicio, consumidor directo, etc.**

1) Evitar que el derrame llegue al alcantarillado, colocar una barrera de arena, tierra, trapos o paños absorbentes.

2) Tener listos los extintores por si se produce un incendio.

3) No permitir que se enciendan los motores de los vehículos si estos estuvieran durante la ocurrencia del derrame.

4) Mantener alejado a los espectadores y clientes y prohibir la entrada de vehículos al establecimiento.

5) Absorber la mayor cantidad del derrame que sea posible.

6) En caso de lesiones, quemaduras u otros se debe aplicar las técnicas de primeros auxilios y brindar la atención inmediata de un médico y/o trasladar al accidentado al centro de salud más cercano.

- **Acciones después del derrame**

- 1) Mantener la calma y cerciorarse que se haya controlado o confinado convenientemente el derrame.
- 2) Acordonar o restringir el acceso de personas no autorizadas a las zonas donde se ha producido y confinado el derrame.
- 3) Evaluar los daños ocasionados al entorno, tierra, cursos de agua y vecindad.
- 4) Remover con palas el material contaminado y colocarlo en tambores o contenedores.
- 5) Disponer el residuo contaminado en un acopio transitorio.
- 6) La disposición final de materiales contaminados o impregnados del biocombustible debe ser realizada a través de empresas autorizadas para dicho fin.
- 7) Reponer con material limpio el área afectada.
- 8) De ser el caso, se deben tomar muestras de la fuente receptora del agua tanto aguas arriba como aguas abajo del punto de vertimiento. Se deben analizar parámetros tales como hidrocarburos totales, aceites, grasas, alcoholes, fenoles, entre otros y en función a los resultados obtenidos tomar las acciones de remediación que correspondan.
- 9) Elaborar un informe preliminar del derrame y remitirlo a la autoridad competente.
- 10) Informar a otras autoridades locales o centrales según corresponda.

#### **4.11.5.3      *Accidentes de Tránsito***

- 1) Producido el accidente de tránsito:
- 2) Mantener la calma y proteger el sitio.
- 3) Advertir al tráfico en ambas direcciones sobre el accidente a través de los conos o triángulos de advertencia.

- 4) Advertir a todos los que están en el área de los riesgos. Si durante el accidente hubo una fuga causada por la ruptura del tanque o una volcadura, eliminar toda fuente de ignición y no dejar que la gente se acerque.
- 5) Reportar todos los accidentes por radio o teléfono al Director de la Emergencia.
- 6) Solicitar apoyo a los bomberos, entidades hospitalarias, policía, etc.
- 7) En el caso de lesiones, quemaduras u otros se debe aplicar las técnicas de primeros auxilios y brindar la atención inmediata de un médico y/o trasladar al accidentado al centro de salud más cercano.

#### **4.11.6 Programa de Capacitación de las Brigadas**

Para que el plan de contingencias sea efectivo es necesario realizar programas de capacitación de las brigadas y formación continua a los integrantes de la brigada de emergencias, Asimismo, se debe efectuar al menos dos veces al año simulacros de emergencias, cuyos objetivos principales deben ser:

- Detectar errores u omisión tanto en el contenido del plan de contingencias como en las actuaciones a realizar para su puesta en práctica.
- Realizar pruebas de suficiencia de equipos y medios de comunicación, alarma, señalización, luces de emergencia.
- Reestimación de tiempos de evacuación, de intervención de equipos propios y de intervención de ayudas externas.

Los simulacros deben realizarse con el conocimiento y con la colaboración del cuerpo general de bomberos y ayudas externas que tengan que intervenir en caso de emergencia (policía, centros de salud, etc.)

#### **4.12 Impacto Social Generado por el Uso de Biocombustibles**

##### **4.12.1 Impacto Social a Nivel Internacional**

Los biocombustibles representan en la actualidad una fuente potencial de energía renovable, además de que podrían generar nuevos y grandes mercados para los productores agrícolas. No obstante, también se introdujeron algunas problemáticas a

causa del rápido desarrollo que está teniendo el sector de los biocombustibles en los últimos años.

Los gobiernos de los países desarrollados apoyan el desarrollo de este sector dentro de un nuevo modelo de “Mix Energético” buscando así mitigar los efectos ya tangibles del cambio climático y reducir la dependencia actual de los combustibles de origen fósil.

Los biocombustibles toman especial relevancia en este contexto como potenciales sustitutos de los combustibles fósiles, especialmente en el sector de transportes, y los países en vías de desarrollo, como Bolivia, surgen como importantes productores de la materia prima.

Actualmente se evidencia a nivel internacional una falta de legislación y de normativas que regulen criterios, más allá de criterios medio ambientales, para la producción y comercio de los biocombustibles.

La producción de estos combustibles necesita de grandes extensiones de tierra y, por tanto, para la producción de grandes cantidades se necesitan del orden de miles o incluso cientos de miles de hectáreas de terreno. Y la tierra puede ser cultivada, marginal, improductiva, virgen, protegida, etc.

La problemática social que surge de esta situación es que al ser la tierra un bien preciado que debe ser capaz de proporcionar los alimentos suficientes para garantizar el derecho a la alimentación de la creciente población mundial, hoy en día la tierra está siendo utilizada para cultivar granos, como el maíz, cuya finalidad es la producción de biocombustibles y no la alimentación de la población.

En un primer momento, las comunidades ven la introducción de cultivos destinados a la producción de biocombustibles como una oportunidad para el desarrollo de la zona y la mejora del nivel de vida. Estas expectativas iniciales se materializan durante la implementación de los proyectos de producción de biocombustibles con la creación de puestos de trabajo que conllevan a una mejora del nivel de vida.

Sin embargo, la aparición de problemas económicos, sociales o desequilibrios medioambientales hacen que la población o las comunidades de la zona se sientan más y más desalentadas a medida que estos problemas se van haciendo más evidentes.

Lo anterior puede ser debido a diversas causas:

- Falta de legislación o su inadecuada e insuficiente aplicación.
- Falta de información o información sesgada.
- Falta de estudios medioambientales (inexistentes o sin la rigurosidad apropiada y exigible).
- La prioridad a los macro objetivos gubernamentales sobre las garantías sociales de la población.

Asimismo, algunos de los aspectos que deben ser tomados en cuenta a la hora de evaluar el impacto social a causa del uso de biocombustibles son los siguientes:

- **Derechos Humanos Laborales y Sobre la Tierra**

Existe en general alguna normativa al respecto, pero ésta no es conocida por la población afectada o directamente no se aplica. Generalmente, en los países en vías de desarrollo no existe una buena legislación laboral y su aplicación es deficiente. En muchos casos las autoridades se alinean con los inversores y existen casos de expropiación de tierras o de compensaciones inadecuadas a los antiguos propietarios.

- **Seguridad Alimentaria**

Aunque se trata de un problema crónico en algunos de estos países, se constata la escasez de alimentos y de materias primas y el encarecimiento de los mismos. Algunas de las causas detectadas que afectan a la seguridad alimentaria son: la reducción de tierras cultivables disponibles y de su calidad, la degradación de la calidad y variedad de los cultivos, el cambio de estrategias agrícolas y los métodos y cultivos tradicionales así como la disponibilidad de recursos hídricos.

- **Desarrollo Social de Comunidades**

Si bien se puede observar un desarrollo económico en la población local beneficiaria, éste también se traduce en un desequilibrio económico y social. La población no beneficiada por los nuevos cultivos ve modificadas sus formas tradicionales de vida y en casi todos los proyectos de producción de biocombustibles la mayor parte de los beneficios se la llevan los intermediarios.

#### 4.12.2 Impacto Social del uso de Súper Etanol 92 en la ciudad de La Paz

Para evaluar el impacto social del uso del combustible Súper Etanol 92 en la ciudad de La Paz se hace uso de una encuesta compuesta de 10 preguntas. Dicha encuesta ha permitido recabar información de quienes están directamente involucrados en el sector del transporte tanto público como privado.

A continuación, se describen los resultados obtenidos de la encuesta realizada a 100 personas involucradas directamente en el uso de combustibles fósiles y biocombustibles.

**Tabla 4.16: Resultados de la encuesta**

N°	PREGUNTAS	RESPUESTAS				TOTAL
		Si	No	No sé / No responde		
1	¿Está de acuerdo con que el Gobierno intente llevar a cabo un cambio de matriz energética en Bolivia?	83	11	6		100
2	Desde el punto de vista económico ¿Cree que es posible el cambio de matriz energética en el país?	77	7	16		100
		<b>Aceptable</b>	<b>Poco</b>	<b>Nada</b>	<b>No sé / No responde</b>	
3	¿Cree usted que hasta la fecha se han hecho esfuerzos por parte del gobierno para lograr este cambio de matriz energética?	7	55	18	20	100
		<b>Costo más bajo</b>	<b>Cuidado del medio ambiente</b>	<b>Adecuar las nuevas tecnologías</b>	<b>No sé / No responde</b>	
4	¿Cuáles serían las ventajas de un cambio de matriz energética en Bolivia?	40	45	10	5	100

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

Tabla 4.16: Resultados de la encuesta (Continuación)

N°	PREGUNTAS	RESPUESTAS				TOTAL
		Ninguna	Poca costumbre de adquirir nueva tecnología	No sé / No responde		
5	¿Cuáles serían las desventajas de un cambio de matriz energética en Bolivia?	84	13	3		100
		Apurando la conversión de gasolina a gas	Buscando energías alternativas (biocombustibles)	A través de una Ley de obligación de cambio de matriz	No sé / No responde	
6	Según su criterio, ¿cómo el Gobierno actual podría apurar el cambio de matriz energética en automotores, evitando una mayor degradación del medio ambiente?	49	31	16	4	100
		Ninguna	Gas Natural Vehicular	Gasolina Súper Etanol 92	Gasolina Especial Plus	
7	¿Qué medidas efectuadas por el Gobierno hasta la fecha, de cambio de matriz energética en el autotransporte le han beneficiado?	5	17	25	53	100
		Combustibles Fósiles	Biocombustibles	No sé / No responde		
8	¿Con qué tipo de energía estaría de acuerdo para el funcionamiento de los automotores?	34	62	4		100
		Si	No	No sé / No responde		
9	¿Considera que la introducción de GSE92 es el inicio de este cambio?	43	38	19		100

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

**Tabla 4.16: Resultados de la encuesta (Continuación)**

N°	PREGUNTAS	RESPUESTAS			TOTAL
		Si	No	No sé / No responde	
10	¿Está de acuerdo con el precio de comercialización de GSE92?	32	56	12	100

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

En el ítem 1, el 83% de los encuestados responde afirmativamente, señalando que estarían de acuerdo con que el Gobierno lleve adelante un cambio de matriz energética en Bolivia. Un 11% indica que no y un 6% no responde. Lo que lleva también a concluir que tanto el sector público como el privado están de acuerdo con el proceso de transformación de la matriz energética en el país.

En el ítem 2, el 77% responde que económicamente es posible el cambio de matriz energética en el país. Un 16% afirma que no sabe o no responde y el 10% responde negativamente. Efectivamente, el grupo social que va recibir beneficio de este cambio de matriz energética en el parque automotor, tiene gran interés porque se hagan efectivas las disposiciones normativas que alientan económicamente el proyecto.

En el ítem 3, el 7% de los encuestados indica que el esfuerzo realizado por parte del Gobierno actual para lograr este cambio de matriz energética de Bolivia es aceptable, el 55% señala que es poco el esfuerzo, el 18% indica que no se han hecho aún esfuerzos serios por lograr resultados perceptibles y el 20% no sabe o no responde. Esto refleja que los esfuerzos del Gobierno no han sido suficientes como para mostrar logros significativos.

Las respuestas del ítem 4, dan cuenta de la preocupación de los encuestados por el medio ambiente (45%) y luego por la incidencia positiva en bajar el costo del uso del energético automotor (40%). También un 10% señala que de esta manera se estaría entrando a una nueva etapa del uso de tecnologías modernas que contribuyen a evitar mayor degradación del medio ambiente.

En el ítem 5, las respuestas halladas señalan que el 84% de los encuestados no hallan ninguna desventaja o efecto negativo en el cambio de matriz energética en Bolivia. Un



13% indica que existe poca costumbre del boliviano por adquirir una nueva tecnología y adecuarse a ella. Esta respuesta y la anterior demuestran el interés de los encuestados en que este proceso se haga realidad en el menor tiempo posible.

Las respuestas del ítem 6, revelan que el 49% de los encuestados señala que el Gobierno actual podría apurar el cambio de matriz energética en automotores, apurando el cambio de los mismos de gasolina a gas, el 31% indica que deben implementarse biocombustibles, el 16% señala que debe promulgarse una Ley que obligue al cambio de matriz energética y el 4% restante no sabe o no responde.

En el ítem 7, el 53% de los encuestados afirma que hasta la fecha, la introducción al mercado de gasolina especial plus ha presentado beneficios en el cambio de matriz energética, el 25% opina que el Súper Etanol 92 ha conseguido iniciar este cambio, el 17% piensa que la mejor opción es el uso de GNV y el 4% no sabe o no responde. Estas respuestas demuestran que el Súper Etanol 92 no pasa desapercibido y puede considerarse como una alternativa a los combustibles fósiles.

Las respuestas del ítem 8 reflejan que el 62% de los encuestados está de acuerdo con que se utilicen biocombustibles como fuente de energía para el parque automotor, 34% opta por los combustibles fósiles tales como el gas, gasolina o diésel y el 4% restante no sabe o no responde. Lo que quiere decir que la mayoría reconoce que deben buscarse nuevas alternativas de energía para dejar la dependencia de los combustibles provenientes del petróleo.

En el ítem 9, el 43% de los encuestados considera que la introducción de Súper Etanol 92 al mercado es el inicio del cambio de matriz energética del país, 38% piensa que no lo es y 19% no sabe o no responde. Si bien la mayoría presenta una respuesta positiva la diferencia no es significativa frente a las personas que opinan lo contrario, por lo que no se puede asegurar que este biocombustible es aceptado totalmente por la población.

En el ítem 10, el 56% de los encuestados no está de acuerdo con el precio del Súper Etanol 92, mientras que el 32% sí lo está y el 12% restante no sabe o no responde. En este sentido, se considera que uno de los factores que influye en la aceptación de este combustible por parte de la población boliviana es el precio de comercialización.

## CAPÍTULO V. EVALUACIÓN ECONÓMICA

### 5.1 Demanda de gasolina en el País

Para realizar la demanda proyectada de gasolinas se tomó como referencia las proyecciones presentadas por Ministerio de hidrocarburos para el periodo 1999 – 2016. Estas proyecciones contemplan una caída en la demanda de gasolinas, la cual se debe al ingreso del gas natural a la matriz energética como gas vehicular e industrial; sin embargo, el mercado boliviano aún tiene demanda de gasolinas.

**Tabla 5.1: Demanda de Gasolinas a nivel nacional para el periodo 1999 – 2016**

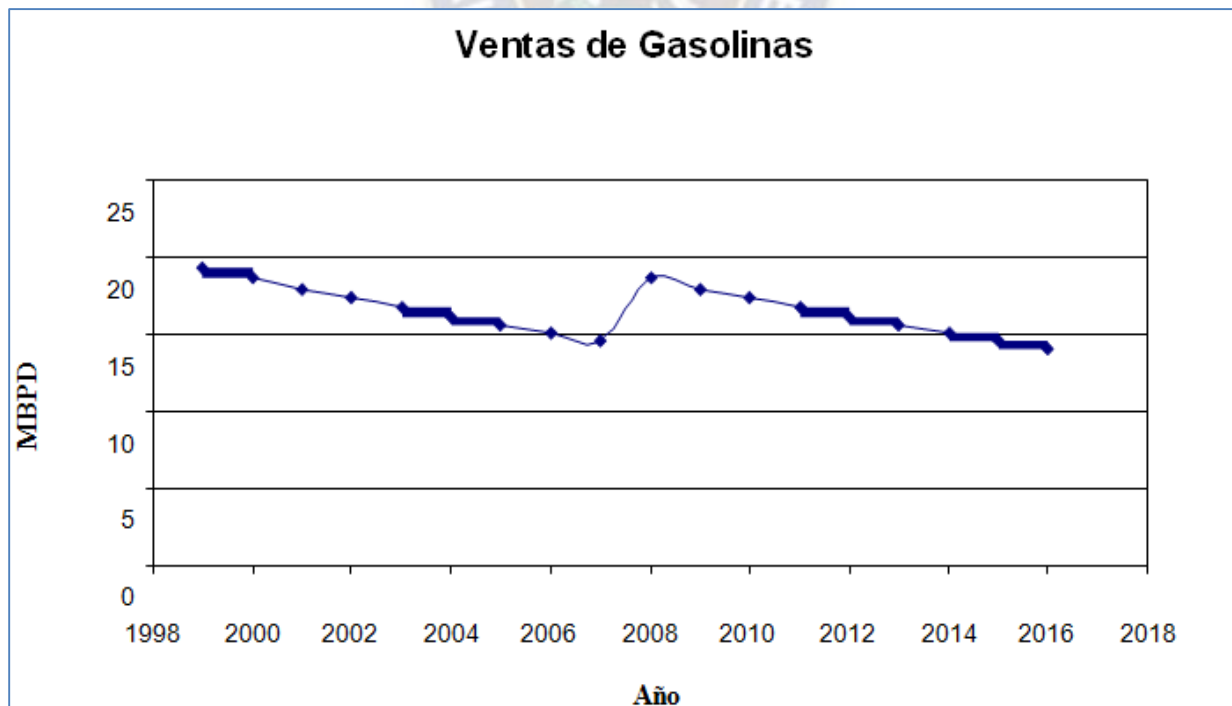
AÑO	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Gasolinas, MBPD	19,4	18,7	18	17,4	16,8	16,2	15,6	15,1	14,6

AÑO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Gasolinas, MBPD	18,7	18	17,4	16,8	16,2	15,6	15,1	14,6	14,1

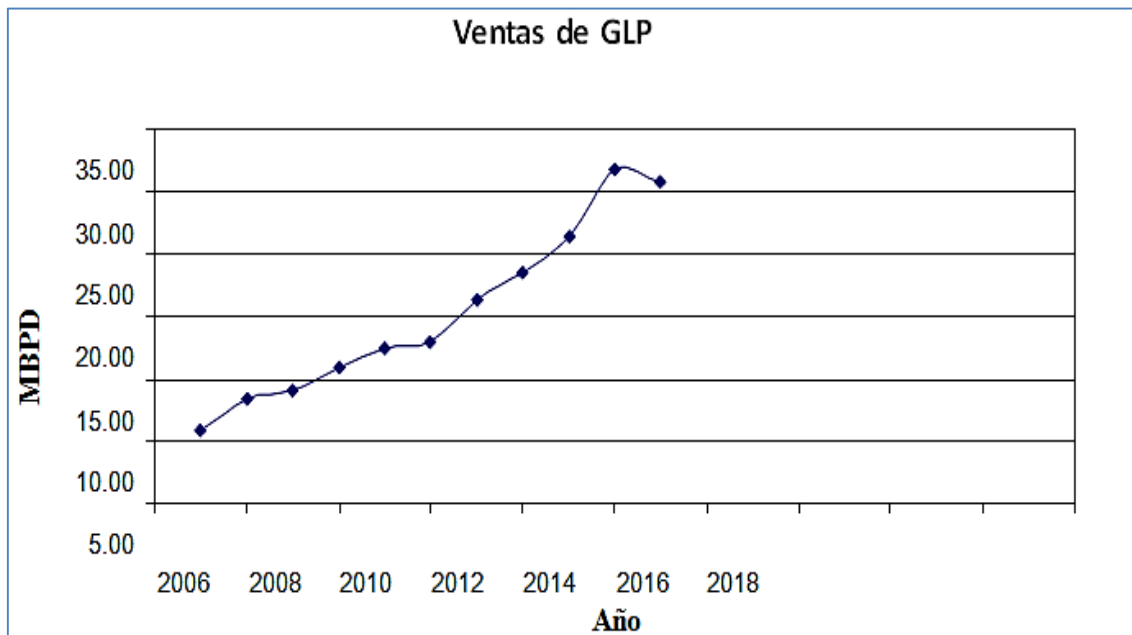
Fuente: Ministerio de hidrocarburos. (2019).

**Gráfico 5.1: Demanda de gasolinas período 1999 - 2018**



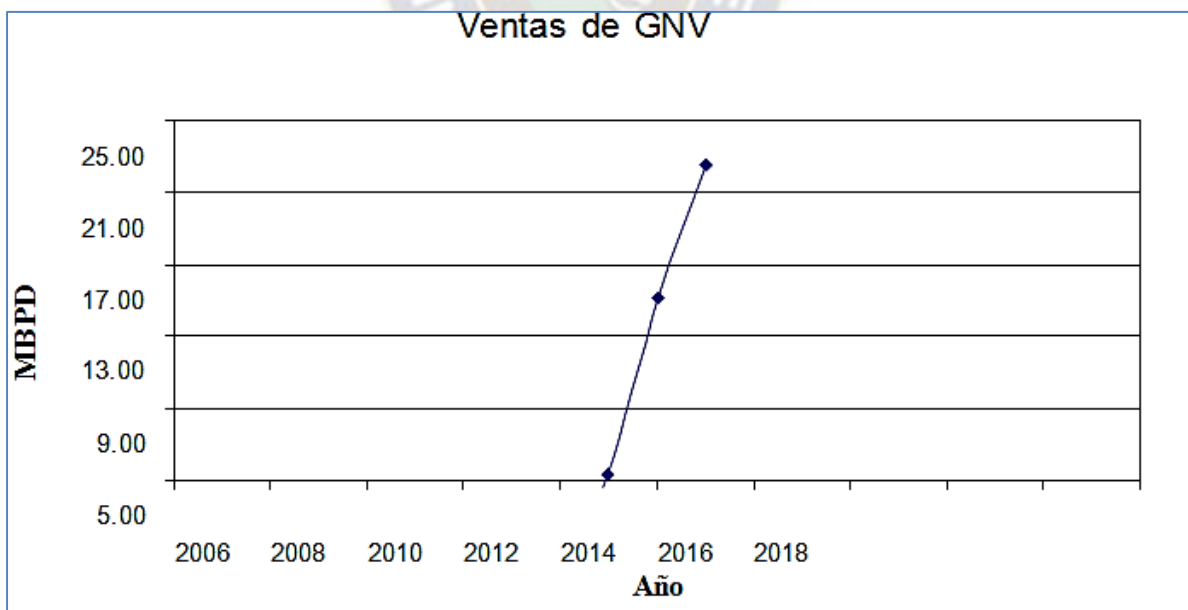
Fuente: Ministerio de hidrocarburos. (2019).

**Gráfico 5.2: Demanda de GLP período 2006 – 2018**



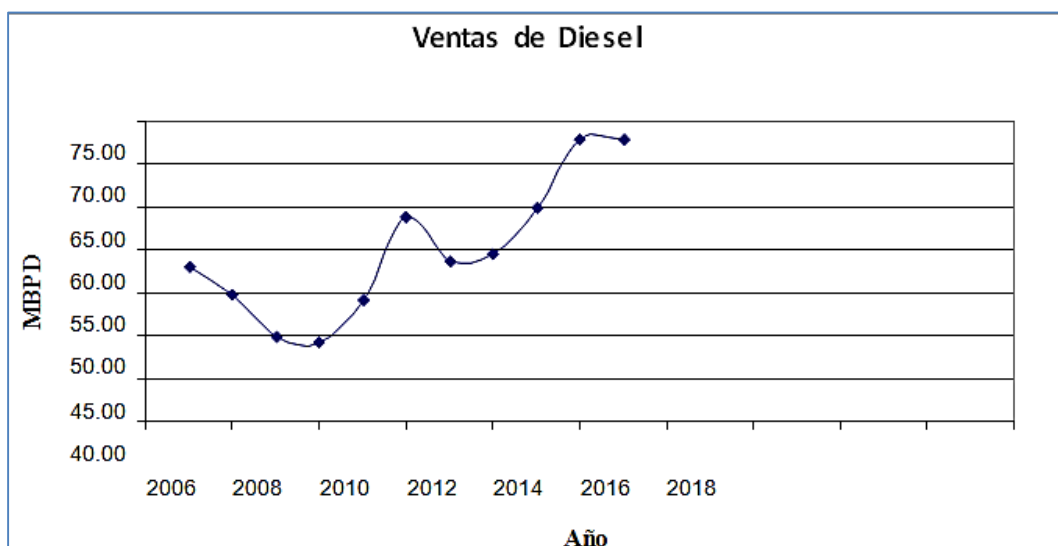
Fuente: Ministerio de hidrocarburos. (2019).

**Gráfico 5.3: Demanda de GNV a 2018**



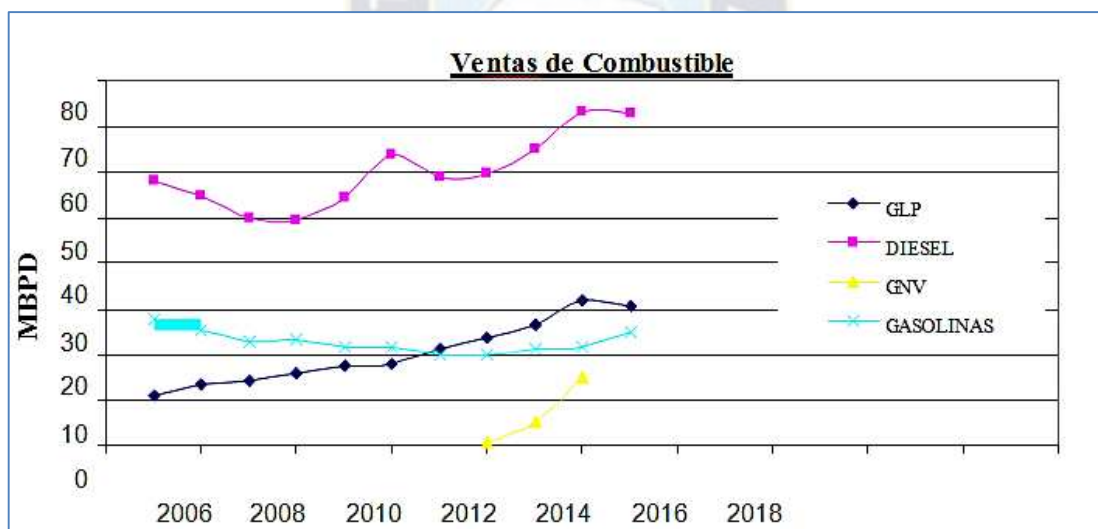
Fuente: Ministerio de hidrocarburos. (2019).

**Gráfico 5.4: Demanda de diésel a 2018**



Fuente: Ministerio de hidrocarburos. (2019).

**Gráfico 5.5: Demanda de combustibles a 2016**



Fuente: Ministerio de hidrocarburos. (2019).




Como se evidencia en el gráfico 5.1, la tendencia de la demanda de gasolinas es a la baja, debido al incremento continuo de consumo que ha tenido el diésel y GLP. Sin embargo, en el periodo 2014-2016, se manifiesta un incremento en la demanda de gasolinas y una disminución del consumo de GLP y diésel, debido a la inclusión del gas natural vehicular (GNV) en el parque automotor, el cual ha empezado a ocupar parte del mercado del GLP.

Las actuales políticas sobre el precio de los combustibles, están direccionadas a incrementar el consumo de gasolinas ecológicas (bioetanol), esperándose que se incremente la demanda de 2020 en adelante.

## 5.2 Producción de Etanol a Nivel Nacional

Dado que el Súper Etanol 92 no es más que un blending compuesto de gasolina base y etanol anhidro, en la siguiente tabla se muestran los tres ingenios a los cuales YPFB Refinación compra etanol anhidro para realizar esta mezcla.

**Tabla 5.2: Capacidad de producción de los ingenios azucareros proveedores de etanol anhidro**

Empresa	Capacidad Producción de Etanol Anhidro	Capacidad de Almacenaje de Etanol Anhidro
 Ingenio Azucarero Guabirá	65 m <sup>3</sup> /día	20000 m <sup>3</sup>
 UNAGRO S A	300 m <sup>3</sup> /día	10000 m <sup>3</sup>
	750 m <sup>3</sup> /día	60000 m <sup>3</sup>

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2014). Presentación Etanol.

La tabla anterior refleja la capacidad de producción de cada ingenio, así como también su capacidad de almacenaje. La misma refleja que se es capaz de producir suficiente etanol anhidro para realizar el blending y obtener Súper Etanol 92 en base a la demanda de dicho combustible en base al siguiente punto.

Por otro lado, se debe recalcar que mediante Resolución Administrativa RAR-ANH-DJ N° 348/2018 de 29/10/2018, se determina el precio de Etanol Anhidro en 4,94 bs/litro.

### 5.3 Demanda de Súper Etanol 92

Gracias a datos proporcionados por la ANH, en la siguiente tabla se muestra la demanda estimada de Súper Etanol 92 para la gestión 2019.

**Tabla 5.3: Demanda estimada de Súper Etanol 92**

Zona Comercial	Súper Etanol 92		
	Demanda Estimada	YPFB Refinación (Base)	Etanol Anhidro
	Programa	Programa	Programa
	Litros por mes	Litros por mes	Litros por mes
La Paz	385.000	338.800	46.200
Cochabamba	230.000	202.400	27.600
Tarija	1.567.600	1.379.488	188.112
Santa Cruz	13.340.000	11.739.200	1.600.800
<b>TOTAL</b>	<b>15.522.600</b>	<b>13.659.888</b>	<b>1.862.712</b>

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2014). Presentación Etanol.

Al ser el Súper Etanol 92 simplemente un blending, la demanda del biocombustible no es más que la suma de gasolina base más etanol anhidro.

En la tabla 5.3 se puede evidenciar que el volumen necesario de etanol anhidro está totalmente garantizado dada la producción del mismo reflejada en la tabla 4.2.

### 5.4 Estimación de los ingresos según demanda para el etanol 92

A continuación se muestran los precios de producción y comercialización tanto de la gasolina especial como el Súper Etanol 92 actualmente en el mercado boliviano.

**Tabla 5.4: Precio de la gasolina especial vs súper etanol 92**

Combustible	Producción bs/litro	Comercialización bs/litro	Subvención bs/litro
Gasolina Especial	8,68	3,74	4,94
Súper Etanol 92	8,23	4,50	3,73

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2019). Disponible en: <https://www.anh.gob.bo/w2019/contenido.php?s=13>

A simple vista se puede evidenciar que la subvención a la gasolina especial es de 4,94 bs/litro, mientras que la subvención a la Súper Etanol 92 es de 3,73 bs/litro; es decir, más de un boliviano menos. En un litro de combustible este valor parece ser insignificante, pero si se lo multiplica por la demanda total anual de combustible a nivel nacional, la subvención al Súper Etanol 92 es mucho menor al de la gasolina especial. Esta cuestión de la analiza en el siguiente punto.

## 5.5 Análisis Económico

La naturaleza del presente proyecto no demanda realizar un flujo de caja debido a que no se trata de un estudio de factibilidad económica de la producción de Súper Etanol 92.

Lo que se pretende realizar con el análisis económico es evidenciar si es conveniente mantener o no este biocombustible en el mercado y si el mismo genera ganancias o pérdidas en relación a la venta de gasolina especial.

El análisis a realizar se proyecta a cinco años considerando un aumento en la demanda de gasolina especial y Súper Etanol 92 del 5% anual, también se considera que los precios de ambos combustibles se mantienen constantes durante todo este período. Lo anteriormente descrito se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 5.5: Análisis económico**

Año	Demanda Total de Combustible (litros)	Demanda (litros)		Precio (bs/litro)	
		GE	GSE92	GE	GSE92
1	1.380.000.000,0	1.193.728.800,0	186.271.200,0	3,7	4,5
2	1.449.000.000,0	1.253.415.240,0	195.584.760,0	3,7	4,5
3	1.521.450.000,0	1.316.086.002,0	205.363.998,0	3,7	4,5
4	1.597.522.500,0	1.381.890.302,1	215.632.197,9	3,7	4,5
5	1.677.398.625,0	1.450.984.817,2	226.413.807,8	3,7	4,5
<b>TOTAL</b>		<b>6.596.105.161,3</b>	<b>1.029.265.963,7</b>		
Año	Ingreso por ventas (bs)		Subvención (bs)		
	GE	GSE92	GE	GSE92	
1	4.464.545.712,0	838.220.400,0	5.897.020.272,0	694.791.576,0	
2	4.687.772.997,6	880.131.420,0	6.191.871.285,6	729.531.154,8	
3	4.922.161.647,5	924.137.991,0	6.501.464.849,9	766.007.712,5	
4	5.168.269.729,9	970.344.890,6	6.826.538.092,4	804.308.098,2	
5	5.426.683.216,3	1.018.862.135,1	7.167.864.997,0	844.523.503,1	
<b>TOTAL</b>	<b>24.669.433.303,3</b>	<b>4.631.696.836,6</b>	<b>32.584.759.496,8</b>	<b>3.839.162.044,6</b>	

Fuente: Iriarte Gamboa Alexis A. (2019). Carrera de Ingeniería Petrolera, UMSA. La Paz, Bolivia.

Proyectando la demanda de combustible a 5 años, la diferencia entre la subvención a la gasolina especial y al Súper Etanol es evidente. Esto se traduce en un ahorro de 28745597452,3 bolivianos lo que representa más de 4159 millones de dólares por año.

Entonces, se puede concluir que la gasolina Súper Etanol 92, desde el punto de vista económico, es una buena alternativa ya que por un lado reduce la importación de gasolina y por otro la subvención a este combustible no es tan grande a comparación de la gasolina especial.





## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

Habiendo culminado el presente proyecto se derivan las siguientes conclusiones:

- Del estudio del parque automotor nacional se pudo evidenciar que el 82% de los vehículos utilizan gasolina como combustible, 11% utiliza diésel, 5% utiliza GNV y el 2% restante utiliza alcohol o es eléctrico.
- De acuerdo con las tablas 3.9 y 3.10, la mayor cantidad de emisiones de contaminantes provienen de fuentes móviles, vale decir del parque automotor.
- En la ciudad de La Paz los motores a gasolina liberan grandes cantidades de GEI superando los 3.000.000 de toneladas de gas por año.
- Se pudo constatar una variación considerable en las propiedades fisicoquímicas de la gasolina y la gasolina más etanol, en especial en el número de octano que varía de 85 a 92 respectivamente según la tabla 4.13.
- Del análisis FODA se pudo evidenciar que la principal ventaja del Súper Etanol 92 es su alto octanaje y su baja emisión de GEI con respecto a la gasolina especial. Mientras que su principal desventaja radica en su precio de comercialización ya que es casi 1 bs más costoso que la gasolina especial.
- Se identificaron los peligros y se evaluaron los riesgos asociados a las actividades que se realizan para la producción del Súper Etanol 92, de los cuales los más representativos son: el derrame de combustible, incendio y explosión.
- Se pudo identificar el impacto social que genera el uso de los biocombustibles, tanto a nivel internacional cuyo principal factor de preocupación es la seguridad alimentaria, como a nivel de la ciudad de La Paz realizando una encuesta que revela la aceptación parcial del Súper Etanol 92 por parte de 100 consumidores.
- Los resultados del análisis económico indican que la introducción de Súper Etanol 92 al mercado boliviano genera menos subvención en comparación a la gasolina especial. Es decir, que por cada 1000 litros de combustible que se venden se subvenciona 4940 bs en el caso de gasolina especial y 3730 bs para

el Súper Etanol 92 lo que se traduce en un ahorro de más de 1000 bs, motivo por el cual resulta más factible para el Gobierno comercializar Súper Etanol 92 que gasolina especial.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Adicional a todo lo desarrollado y en busca de la mejora del presente proyecto, se recomienda lo siguiente:

- Buscar alternativas para la promoción de venta del Súper Etanol 92, invirtiendo en publicidad para hacer saber a la población boliviana los beneficios ambientales que este combustible presenta frente a la gasolina especial.
- Para un mejor estudio sobre biocombustibles se puede trabajar conjuntamente con las carreras de ingeniería mecánica y ambiental para estudiar a mayor detalle los biocombustibles en el interior de los motores y tener un mayor panorama sobre la mitigación de gases de efecto invernadero.
- Implementar las medidas de seguridad planteadas en el presente proyecto para la prevención de riesgos ligados a la producción de Súper Etanol 92, velando siempre por la integridad de los trabajadores que desempeñan sus actividades a lo largo de todo el proceso de producción.
- En caso de detectarse alguna situación anormal en los vehículos que empleen Súper Etanol 92, los mismos deben ser inspeccionados por técnicos calificados a fin de detectar las causas del desperfecto.
- La Agencia Nacional de Hidrocarburos como ente regulador tiene la obligación de realizar un control a las especificaciones de calidad del Súper Etanol 92, por lo que se recomienda que cualquier reclamo o queja proveniente de los usuarios de este combustible sea remitida a esta institución.
- Los biocombustibles son sólo el principio de cambio de la matriz energética, por lo tanto se deben desarrollar programas de capacitación y material informativo que permitan difundir las aplicaciones o usos de la bioenergía en el ámbito de las actividades rurales y forestales, incluyendo sus nexos con la producción de alimentos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Academia Nacional Ingeniería. Instituto de Ingeniería. (2009). Reflexiones sobre una Matriz Energética. Bogotá, Colombia.
- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2014). Presentación Etanol. La Paz, Bolivia.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (1956). Standard Test Method ASTM for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure. Estados Unidos.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (1961). Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method). Estados Unidos.
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social y Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. (2017). Bioetanol de Caña de Azúcar: Energía para el Desarrollo Sostenible. Brasil.
- Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas Corporation, Uribe Uriel Navarro. (2005). Procesos y Tecnología de la Refinación del Petróleo. Bucaramanga.
- Exxonmobil Oil Corporation. (2005). Procedimiento para la Mejora de la Calidad de los Hidrocarburos. Madrid, España.
- González Nury Amparo. (2015). Combustibles Líquidos II. Perú. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/gasolinas>
- Instituto Francés de Petróleo, J. P. Wauquier. (2000). El Refino del Petróleo, Editorial Díaz de Santos, pág. 1-90, 341-348. París, Francia.
- J. H. Gary & G. E. Handwerk & M. J. Kaiser. (2004). Petroleum Refining Technology and Economics. New York, Estados Unidos.

- Meyers Robert A. (2003). Handbook of Petroleum Refining Processes. New York, Estados Unidos.
- Ministerio de Energía y Minas. (2007). Situación Actual y Perspectivas de los Biocombustibles en el Perú. Lima, Perú. Disponible en: [http://www.comunidadandina.org/desarrollo/biocombustibles\\_peru.pdf](http://www.comunidadandina.org/desarrollo/biocombustibles_peru.pdf)
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2009). Demanda de GNV. Lima, Perú.
- P. Wuithier. (1971). El Petróleo Refino y Tratamiento Químico, Ediciones CEPESA. Madrid, España.
- Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (2009). Potencial Contaminación por Cromo en el Proceso de Refinación de Petróleo. Lima, Perú.
- Valverde Montero Leslie. (2009). El MTBE y los Acuíferos. Bogotá. Colombia. Disponibles en: <http://quimorg6.blogspot.com/2008/11/sisntesis-de-aditivosestbe-y-tbe.html>
- Velarde Muñoz Karen. (2011). Propuesta de un Sistema de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional para las Áreas Operativas y de Almacenamiento de Etanol. Buenos Aires, Argentina.
- W.L. Nelson. (1958). Refinación de Petróleo. Tercera Edición 33-88. Reverté, Oklahoma.
- Wilson Loseph W. (1997). Fluid Catalitic Cracking Technology and Operations, PennWell Books. Oklahoma.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Biocarburante:** Combustible de origen renovable que puede utilizarse como sustituto de los combustibles líquidos y gaseosos de origen fósil (gasolina, gasóleo, gas natural). Los biocarburantes comercializados ofrecen balances energéticos positivos, por lo que producen más energía que la empleada en su fabricación y comercialización. Presentan además la ventaja de la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y de la reducción de la dependencia energética de los combustibles fósiles.

**Combustibles Fósiles.** Aquellos combustibles que provienen de depósitos de carbón fósil son petróleo, gas natural y carbón. Estos se queman para obtener energía. Durante el proceso de combustión se liberan gases de efecto invernadero.

**Combustibles Limpios Alternativos:** Aquellos combustibles de origen fósil en su totalidad o en parte, y que presentan la ventaja de ofrecer una reducción muy importante de emisiones contaminantes y partículas frente a los combustibles fósiles convencionales.

**Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's).** Todos los compuestos orgánicos procedentes de fuentes antropogénicas y biogénicas, distintos del metano, que puedan producir oxidantes fotoquímicos por reacción con óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar.

**Contaminación atmosférica.** La presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza.

**Contaminante.** Cualquier sustancia presente en el aire ambiente que pueda tener efectos nocivos sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.

**Gases de Efecto Invernadero.** Componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero.

**Efecto Invernadero.** Efecto producido por los gases de efecto invernadero que consiste en absorber de manera eficaz la radiación infrarroja, emitida por la superficie de la Tierra, por las nubes y por la propia atmósfera debido a los mismos gases.

**Emisión.** Descarga a la atmósfera continua o discontinua de materias, sustancias o formas de energía procedentes, directa o indirectamente, de cualquier fuente susceptible de producir contaminación atmosférica.

**Índice de Octano.** Escala que mide la capacidad antidetonante del carburante (como la gasolina) cuando se comprime dentro del cilindro de un motor.

**Número de Octano.** Índice mediante el cual se mide la capacidad antidetonante de la gasolina. Es común especificar para las gasolinas automotrices dos números de octano, uno conocido como RON que se mide en condiciones de ensayo relativamente moderadas, y otro conocido como MON que se mide a temperaturas y velocidades de motor más altas.

**Presión de Vapor Reid (PVR).** Se refiere a la volatilidad o tendencia a evaporarse de un producto de petróleo. Entre más bajo sea el número, más estable será el producto. El PVR es usado para medir la presión en términos de libras por pulgada cuadrada (psi). En términos de gasolina, el PVR es usado como un mecanismo de control del ozono.

**Octanaje.** Porcentaje de octanos presentes en los carburantes.

**Ozono.** El ozono, la forma triatómica del oxígeno ( $O_3$ ), es un componente gaseoso de la atmósfera. En la troposfera se crea naturalmente y también como consecuencia de reacciones fotoquímicas en las que intervienen gases resultantes de actividades humanas ("smog").

**Poder Calorífico Inferior:** Cantidad de calor desprendida en la combustión completa de una unidad de combustible, supuesto no condensado el vapor de agua y recuperado el calor.

# **ANEXOS**

## Anexo 1 Índice RBN para blending de gasolinas

RESEARCH OCTANE NUMBER										
R.O.N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
11	39,4	39,4	39,4	39,5	39,5	39,5	39,6	39,6	39,6	39,6
12	39,7	39,7	39,7	39,7	39,8	39,8	39,8	39,8	39,9	39,9
13	38,9	38,9	40	40	40	40	40,1	40,1	40,1	40,1
14	40,2	40,2	40,2	40,2	40,3	40,3	40,3	40,3	40,4	40,4
15	40,4	40,4	40,5	40,5	40,5	40,6	40,6	40,6	40,6	40,7
16	40,7	40,7	40,7	40,8	40,8	40,8	40,8	40,9	40,9	40,9
17	40,9	41	41	41	41	41,1	41,1	41,1	41,1	41,2
18	41,2	41,2	41,2	41,3	41,3	41,3	41,3	41,4	41,4	41,4
19	41,5	41,5	41,5	41,5	41,6	41,6	41,6	41,6	41,7	41,7
20	41,7	41,7	41,8	41,8	41,8	41,8	41,9	41,9	41,9	41,9
21	42	42	42	42	42,1	42,1	42,1	42,2	42,2	42,2
22	42,2	42,3	42,3	42,3	42,3	42,4	42,4	42,4	42,4	42,5
23	42,5	42,5	42,5	42,6	42,6	42,6	42,6	42,7	42,7	42,7
24	42,7	42,8	42,8	42,8	42,9	42,9	42,9	42,9	43	43
25	43	43	43,1	43,1	43,1	43,1	43,1	43,2	43,2	43,2
26	43,2	43,3	43,3	43,3	43,3	43,4	43,4	43,4	43,4	43,5
27	43,5	43,5	43,5	43,6	43,6	43,6	43,7	43,7	43,7	43,7
28	43,8	43,8	43,8	43,8	43,9	43,9	43,9	44	44	44
29	44	44,1	44,1	44,1	44,1	44,2	44,2	44,2	44,2	44,3
30	44,3	44,3	44,3	44,4	44,4	44,4	44,5	44,5	44,5	44,5
31	44,6	44,6	44,6	44,6	44,7	44,7	44,7	44,8	44,8	44,8
32	44,8	44,9	44,9	44,9	44,9	45	45	45	45	45,1
33	45,1	45,1	45,1	45,2	45,2	45,2	45,2	45,3	45,3	45,3
34	45,4	45,4	45,4	45,4	45,5	45,5	45,5	45,5	45,6	45,6
35	45,6	45,6	45,7	45,7	45,7	45,8	45,8	45,8	45,8	45,9
36	45,9	45,9	45,9	46	46	46	46,1	46,1	46,1	46,1
37	46,2	46,2	46,2	46,2	46,3	46,3	46,3	46,3	46,4	46,4
38	46,4	46,5	46,5	46,5	46,5	46,6	46,6	46,6	46,6	46,7
39	46,7	46,7	46,7	46,8	46,8	46,8	46,9	46,9	46,9	46,9
40	47	47	47	47	47,1	47,1	47,1	47,2	47,2	47,2



41	47,2	47,3	47,3	47,3	47,3	47,4	47,4	47,4	47,4	47,5
42	47,5	47,5	47,6	47,6	47,6	47,6	47,7	47,7	47,7	47,7
43	47,8	47,8	47,8	47,8	47,9	47,9	47,9	48	48	48
44	48	48,1	48,1	48,1	48,1	48,2	48,2	48,2	48,2	48,3
45	48,3	48,3	48,3	48,4	48,4	48,4	48,4	48,5	48,5	48,5
46	48,6	48,6	48,6	48,6	48,7	48,7	48,7	48,7	48,8	48,8
47	48,8	48,9	48,9	48,9	48,9	49	49	49	49	49,1
48	49,1	49,1	49,1	49,2	49,2	49,2	49,2	49,3	49,3	49,3
49	49,3	49,4	49,4	49,4	49,4	49,5	49,5	49,5	49,6	49,6
50	49,6	49,6	49,7	49,7	49,7	49,7	49,8	49,8	49,8	49,8
51	49,9	49,9	49,9	49,9	50	50	50	50	50	50,1
52	50,1	50,1	50,1	50,2	50,2	50,2	50,2	50,3	50,3	50,3
53	50,3	50,4	50,4	50,4	50,4	50,5	50,5	50,5	50,5	50,5
54	50,6	50,6	50,6	50,6	50,7	50,7	50,7	50,7	50,8	50,8
55	50,8	50,8	50,9	50,9	50,9	50,9	50,9	51	51	51
56	51	51,1	51,1	51,1	51,1	51,2	51,2	51,2	51,2	51,3
57	51,3	51,3	51,3	51,3	51,4	51,4	51,4	51,4	51,5	51,5
58	51,5	51,5	51,6	51,6	51,6	51,6	51,7	51,7	51,7	51,7
59	51,7	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,9	51,9	51,9	51,9
60	52	52	52	52	52	52,1	52,1	52,1	52,1	52,1
61	52,2	52,2	52,2	52,2	52,3	52,3	52,3	52,3	52,4	52,4
62	52,4	52,4	52,4	52,5	52,5	52,5	52,5	52,6	52,6	52,6
63	52,6	52,7	52,7	52,7	52,7	52,8	52,8	52,8	52,8	52,9
64	52,9	52,9	52,9	52,9	53	53	53	53	53,1	53,1
65	53,1	53,1	53,1	53,2	53,2	53,2	53,2	53,3	53,3	53,3
66	53,3	53,4	53,4	53,4	53,4	53,5	53,5	53,5	53,6	53,6
67	53,6	53,6	53,7	53,7	53,7	53,7	53,8	53,8	53,8	53,8
68	53,9	53,9	53,9	53,9	54	54	54	54	54,1	54,1
69	54,1	54,1	54,2	54,2	54,2	54,2	54,3	54,3	54,3	54,3
70	54,4	54,4	54,4	54,5	54,5	54,5	54,6	54,6	54,6	54,6
71	54,7	54,7	54,7	54,8	54,8	54,8	54,8	54,9	54,9	54,9
72	55	55	55	55	55,1	55,1	55,1	55,1	55,2	55,2
73	55,2	55,3	55,3	55,3	55,3	55,4	55,4	55,4	55,5	55,5
74	55,5	55,6	55,6	55,6	55,7	55,7	55,7	55,8	55,8	55,8
75	55,9	55,9	55,9	55,9	56	56	56	56,1	56,1	56,1
76	56,1	56,2	56,2	56,2	56,3	56,3	56,3	56,4	56,4	56,5
77	56,5	56,5	56,6	56,6	56,6	56,7	56,7	56,7	56,8	56,8
78	56,8	56,9	56,9	56,9	57	57	57	57,1	57,1	57,1
79	57,2	57,2	57,2	57,3	57,3	57,3	57,4	57,4	57,5	57,5
80	57,5	57,6	57,6	57,6	57,7	57,7	57,8	57,8	57,8	57,9

RESEARCH OCTANE NUMBER										
R.O.N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
81	57,9	57,9	58	58	58,1	58,1	58,1	58,2	58,2	58,3
82	58,3	58,3	58,4	58,4	58,5	58,5	58,5	58,6	58,6	58,7
83	58,7	58,7	58,8	58,8	58,9	58,9	59	59	59	59,1
84	59,1	59,2	59,2	59,3	59,3	59,4	59,4	59,5	59,5	59,5
85	59,6	59,6	59,7	59,7	59,8	59,8	59,9	59,9	60	60
86	60	60,1	60,1	60,2	60,2	60,3	60,3	60,4	60,4	60,5
87	60,5	60,6	60,6	60,7	60,7	60,8	60,8	60,9	60,9	61
88	61	61,1	61,1	61,2	61,2	61,3	61,3	61,4	61,4	61,5
89	61,5	61,6	61,6	61,7	61,7	61,8	61,8	61,9	62	62
90	62,1	62,2	62,2	62,3	62,4	62,4	62,5	62,5	62,6	62,6
91	62,7	62,7	62,8	62,9	62,9	63	63	63,7	63,1	63,2
92	63,3	63,3	63,4	63,5	63,5	63,6	63,7	63,7	63,8	63,9
93	63,9	64	64,1	64,2	64,3	64,3	64,4	64,5	64,6	64,6
94	64,7	64,8	64,9	65	65	65,1	65,2	65,3	65,4	65,5
95	65,5	65,6	65,7	65,8	65,9	66	66	66,1	66,2	66,3
96	66,4	66,5	66,6	66,7	66,8	66,9	67	67,1	67,2	67,3
97	67,4	67,5	67,6	67,7	67,8	67,9	68	68,1	68,2	68,3
98	68,4	68,5	68,6	68,7	68,8	68,9	69	69,1	69,2	69,3
99	69,5	69,6	69,7	69,8	69,9	70	70,1	70,2	70,4	70,5

## Anexo 2 Nivel de Deficiencia

Nivel de Deficiencia	Valor de ND	Significado
Muy Alto (MA)	10	Se ha(n) detectado peligro(s) que determina(n) como posible la generación de incidentes o consecuencias muy significativas, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo es nula o no existe, o ambos.
Alto (A)	6	Se ha(n) detectado algún(os) peligro(s) que pueden dar lugar a consecuencias significativa(s), o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es baja, o ambos.
Medio (M)	2	Se han detectado peligros que pueden dar lugar a consecuencias poco significativas o de menor importancia, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es moderada, o ambos.
Bajo (B)	0	No se ha detectado consecuencia alguna, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es alta, o ambos. El riesgo está controlado.

## Anexo 3 Nivel de Exposición

Nivel de Exposición	Valor de NE	Significado
Continua (EC)	4	La situación de exposición se presenta sin interrupción o varias veces con tiempo prolongado durante la jornada laboral.
Frecuente (EF)	3	La situación de exposición se presenta varias veces durante la jornada laboral por tiempos cortos.
Ocasional (EO)	2	La situación de exposición se presenta alguna vez durante la jornada laboral y por un periodo de tiempo corto.
Esporádica (EE)	1	La situación de exposición se presenta de manera eventual.

## Anexo 4 Nivel de Consecuencia

Nivel de Consecuencia	Valor de NC	Significado
Mortal o Catastrófico (M)	100	Muerte (s)
Muy Grave (MG)	60	Lesiones o enfermedades graves irreparables (Incapacidad permanente parcial o invalidez).
Grave (G)	25	Lesiones o enfermedades con incapacidad laboral temporal (ILT).
Leve (L)	10	Lesiones o enfermedades que no requieren incapacidad.

## Anexo 5 Nivel de Riesgo e Interpretación del Nivel de Riesgo

Nivel de riesgo NR = NP x NC		Nivel de probabilidad (NP)			
		40-24	20-10	8-6	4-2
Nivel de consecuencia (NC)	100	I 4000-2400	I 2000-1200	I 800-600	II 400-200
	60	I 2400-1440	I 1200-600	II 480-360	II 240 III 120
	25	I 1000-600	II 500-250	II 200-150	III 100-50
	10	II 400-240	II 200 III 100	III 80-60	III 40 IV 20

Nivel de Riesgo	Valor de NR	Significado
I	4000-600	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.
II	500-150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.
III	120-40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
IV	20	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aún es aceptable.

