

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA PETROLERA



**ANALISIS Y APLICACIÓN DE LA NORMATIVA EURO IV PARA LA
ADECUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA GASOLINA ESPECIAL
CON ADITIVOS OXIGENANTES**

Proyecto de grado presentado para la obtención de Grado de Licenciatura en
Ingeniería Petrolera

POSTULANTE:

Univ. Christian Marcos Vargas Kasa

TUTOR:

M. Sc. Pedro Reynaldo Marín Domínguez

LA PAZ – BOLIVIA

2024



**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

Este proyecto va dedicado especialmente a mis hermanos Sergio y Yanet por brindarme su cariño, tiempo y un hombro para descansar

A mi madre por mostrarme el camino a la superación por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar, por darme todo lo que soy como persona mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño y mi perseverancia para conseguir mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a la Universidad Mayor de San Andrés por haberme aceptado ser parte de esta prestigiosa casa de estudio para poder estudiar mi carrera.

Agradecer también a mi asesor Ing. Pedro Reynaldo Marín Domínguez por el tiempo, esfuerzo y dedicación al impartir sus conocimientos, por todo su apoyo, confianza y guía a lo largo de la realización del proyecto. Así también al Ing. Marco Antonio Montesinos Montesinos, Ing. Jimmy R. Guillen, Ing. Lizeth Mercedes Molina Herrera por el asesoramiento en la elaboración del proyecto de grado.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de grado tiene la finalidad de realizar un análisis y mostrar una alternativa para poder adecuar la gasolina especial bajo los parámetros de la normativa Euro IV, esto con la finalidad de cumplir las exigencias que requiere un combustible para poder ser comercializado sin causar contaminación hacia el medio ambiente.

Así también esta adecuación de la gasolina especial se la plantea realizar en la refinería Gualberto Villarroel ubicada en el departamento de Cochabamba, siendo esta una planta estratégica para poder tener una mayor cobertura al momento de distribuir el combustible. También se realizará un análisis de las propiedades de la nueva gasolina y de esta manera determinar si cumplen los parámetros mínimos para cumplir las normas medioambientales y poner a Bolivia como un país que cumple los tratados ambientales.

Finalmente se realizará un análisis económico para ver la factibilidad del proyecto en función de ciertos parámetros y proyecciones de la demanda, oferta y la evolución que tiene el parque automotor.

ÍNDICE

CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Planteamiento del Problema.....	2
1.3.1. Identificación del Problema	2
1.3.2. Formulación del Problema	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. Justificación	4
1.5.1. Justificación Económica.....	4
1.5.2. Justificación Social	4
1.5.3. Justificación Medio Ambiental	5
1.6. Alcance	5
1.6.1. Alcance Temático	5
1.6.2. Alcance Geográfico.....	5
1.6.2.1. Refinería Gualberto Villarroel.....	5
CAPITULO II.....	7
CARACTERISTICAS DE LA GASOLINA	7
2.1. La Gasolina.....	7
2.1.1. Procesos Básicos de Obtención de Gasolina Especial	8
2.2. Procesos para Mejorar la Gasolina Especial	8

2.2.1.	Isomerización.....	9
2.2.2.	Reformado	10
2.3.	Gasolina Especial.....	10
2.3.1.	Propiedades de la Gasolina Especial	11
2.3.1.1.	El Octanaje.....	11
2.3.1.2.	Forma de Determinar el Octanaje.....	12
2.3.1.3.	Problemas por un Bajo Octanaje	13
2.3.1.4.	Mejoramiento en el Octanaje	13
2.4.	Aditivos Oxigenantes de la Gasolina Especial	14
2.4.1.	Ter-Butil-Alcohol	15
2.4.1.1.	Aplicaciones del Ter-Butil Alcohol.....	15
2.4.1.2.	Efectos del Ter Butil Alcohol (TBA) en la Gasolina	16
2.4.1.3.	Riesgos Potenciales en la Salud	16
CAPITULO III		18
ANALISIS DE LA NORMATIVA EURO IV		18
3.1.	Definición	18
3.1.1.	Normativa Euro I: Implantación del Catalizador.....	18
3.1.2.	Normativas Euro II, Euro III: Mejoras Mecánicas	20
3.1.3.	Normativa Euro IV	20
3.1.4.	Normativa Euro V: Filtro antipartículas.....	21
3.1.5.	Normativa Euro VI: AdBlue	21
3.2.	Sistema de Diagnóstico OBD.....	23
3.3.	Normativa EURO y EPA	24
3.4.	Contexto Internacional.....	26

3.4.1.	Petróleos Mexicanos (Pemex)	26
3.4.1.1.	Métodos de Medida en Pemex	27
3.4.1.2.	Principios de Pemex	28
3.4.2.	Esmeralda	28
3.4.2.1.	Calidad de los Combustibles	28
3.5.1.	Monóxido de carbono (CO)	32
3.5.2.	Hidrocarburos (HC)	33
3.5.3.	Óxidos de nitrógeno (NO _x)	35
3.5.4.	Partículas Moleculares	37
3.6.	Sonda Lambda	39
3.6.1.	Mezcla Pobre	40
3.6.2.	Mezcla Rica	40
3.7.	Tecnologías aplicadas en la Euro IV	41
3.7.1.	Catalizador	41
3.7.2.	Tipos de Catalizadores	43
3.7.2.1.	Catalizador Oxidante	43
3.7.2.2.	Catalizador de dos Vías	43
3.7.2.3.	Catalizador de Tres Vías	45
3.7.2.3.1.	Catalizador Regulado	46
3.7.2.3.2.	Catalizador No Regulado	46
3.8.	Las Dos Opciones para Cumplir con la EURO IV	47
3.8.1.	Recirculación de los Gases de Escape (EGR)	49
3.8.2.	La Reducción Catalítica Selectiva (SCR)	53
3.8.2.1.	Almacenamiento, Consumo y Mantenimiento del AdBlue	57

3.8.2.2.	Funcionamiento del Sistema de Reducción Catalítica	57
3.8.3.	Combinación del EGR y SCR	59
3.9.	Normativa Euro IV en Bolivia	60
3.9.1.	Posición de Bolivia en la Región	61
3.9.2.	La Euro IV en el Parque Automotor.....	62
3.9.3.	Crecimiento del Parque Automotor en Bolivia	63
3.9.4.	Producción de Gasolina Especial en Bolivia según Normativa Euro IV	66
3.9.5.	Antecedentes de la Gasolina Especial en Bolivia	67
3.9.6.	Adecuación de la Gasolina Especial.....	68
3.9.8.	Descripción del Proceso	72
3.9.8.1.	Procedimiento de Preparación de la Gasolina Magna	74
3.10.	Plan de Contingencias para el Aditivo Oxigenante	75
3.10.1.	Brigadas	76
3.10.2.	Funciones principales del Jefe de Brigada	76
3.10.3.	Sistema de Comunicación de Emergencia.....	78
CAPITULO IV		80
ADECUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA GASOLINA ESPECIAL CON EL TER-BUTIL		
ALCOHOL.....		80
4.1.	Introducción.....	80
4.2.	Objetivo	80
4.3.	Octanaje.....	80
4.3.1.	Número de Octano Research (RON).....	80
4.3.1.1.	Descripción del Método ASTM D2699.....	81
4.3.2.	Número de Octano Motor (MON).....	81

4.3.2.1.	Descripción del Método ASTM D2700.....	82
4.3.3.	Calculo del RON y MON de la Gasolina Especial	82
4.3.4.	Calculo del RON y MON de la Gasolina Magna	84
4.4.	Densidad	85
4.4.1.	Descripción del Método ASTM D1298	86
4.5.	Presión de Vapor Reid (PVR)	88
4.5.1.	Descripción del Método ASTM D5191	88
4.5.2.	Calculo de la Presión de Vapor Reid.....	89
4.6.	Balance de Materia	90
CAPITULO V		97
ANÁLISIS ECONÓMICO		97
5.1.	Criterios para la Evaluación Económica	97
5.1.1.	Valor Actual Neto (VAN).....	97
5.1.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	98
5.1.3.	Relación Beneficio/Costo (B/C).....	99
5.1.4.	Análisis de la Demanda y la Oferta.....	100
5.2.	Evaluación Económica.....	104
5.2.1.	Valoración Económica del Monto de Inversión	104
5.2.1.1.	Capital Fijo.....	104
5.2.1.2.	Capital de Trabajo	107
5.2.2.	Estimación de los Costos de Operación	108
5.2.2.1.	Costos de Producción	108
5.2.2.1.1.	Costos Directos de Producción.....	108
5.2.2.1.2.	Cargos Fijos	113

5.2.2.2.	Gastos Generales	114
5.2.3.	Valoración Económica de los Ingresos	115
5.2.4.	Estudio del Rendimiento Económico	117
5.2.5.	Periodo de recupero de la inversión (Pay Out Time).....	119
CAPITULO VI.....		121
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		121
6.1.	Conclusiones.....	121
6.2.	Recomendaciones	121
BIBLIOGRAFIA.....		123

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación de la Refinería Gualberto Villarroel	6
Figura 2.1: Isomerización. Modificación de los Hidrocarburos para elevar Octanaje.	9
Figura 2.2: Diamante NFPA del Alcohol Ter-butílico.....	16
Figura 3.1: Límites de Emisión de contaminantes nocivos de las Normativas Euro	23
Figura 3.2: Límites de certificación de emisiones en los Estados Unidos y la Unión Europea ..	25
Figura 3.3: Porcentaje de emisión de los gases de escape de vehículos a gasolina	31
Figura 3.4: Efectos de la Mezcla Aire/Combustible con relación al CO	33
Figura 3.5: Efectos de la Mezcla Aire/Combustible con relación al HC	35
Figura 3.6: Efectos de la Mezcla Aire/Combustible con relación al NOx	36
Figura 3.7: Clasificación del Material Particulado.....	37
Figura 3.8: Localización del Catalizador en un Vehículo	42
Figura 3.9: Catalizador de Dos Vías	43
Figura 3.10: Esquema de un Catalizador con toma Intermedia de Aire.....	44
Figura 3.11: Proceso químico que produce un catalizador de Tres Vías	45
Figura 3.12: Catalizador de Tres Vías Regulado	46
Figura 3.13: Catalizador de Tres Vías No Regulado.....	47
Figura 3.14: Tecnologías en Emisión de Gases	48
Figura 3.15: Tecnologías de Recirculación de los Gases de Escape.....	48
Figura 3.16: Acumulación de Carbonilla en EGR	51
Figura 3.17: Válvula EGR de Accionamiento neumático Anulada	52
Figura 3.18: Tecnología de Reducción Catalítica Selectiva.....	54
Figura 3.19: Proceso químico de Reacción con el AdBlue	55

Figura 3.20: Funcionamiento del Sistema de Reducción Catalitica.....	58
Figura 3.21: Funcionamiento del Sistema EGR y SCR	60
Figura 3.22: Crecimiento del Parque Automotor en Bolivia.....	63
Figura 3.23: Distribución por Edad del Parque Automotor	64
Figura 3.24: Distribución porcentual de la Contaminación por el Tipo de Fuente y Contaminante.....	65
Figura 3.25: Producción Porcentual de la Gasolina Especial en Bolivia	69
Figura 3.26: Producción Porcentual de la Refinería Gualberto Villarroel	70
Figura 5.1: Demanda y Oferta de la Gasolina Especial	101
Figura 5.2: Subvención de la Gasolina Especial	103
Figura 5.3: V.A.N. Acumulado y Periodo de Recupero de Inversión.....	120

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Límites de Emisión de contaminantes nocivos de las Normativas Euro.....	22
Tabla 3.2: Cronología de las Normas sobre emisiones en los Estados Unidos y la Unión Europea	25
Tabla 3.3: Países que cumplen Normativas Internacionales de Contaminación	29
Tabla 3.4: Reducción Porcentual de Emisiones al pasar de Euro II a Euro IV	39
Tabla 3.5: Aplicación de Emisiones Euro en diferentes países de la Región.....	62
Tabla 3.6: Distribución de la Contaminación por el Tipo de Fuente y Contaminante	65
Tabla 3.7: Reducción de los Niveles de Contaminación.....	66
Tabla 3.8: Especificaciones de la Gasolina Especial.....	71
Tabla 3.9: Propiedades del Oxigenante Ter-Butil Alcohol	72
Tabla 3.10: Composición de la Gasolina Magna.....	74
Tabla 4.1: Flujo Volumétrico y Octanaje de la Gasolina Especial.....	82
Tabla 4.2: Flujos Volumétricos y Octanaje de la Gasolina Magna	85
Tabla 4.3: Densidad Relativa y Peso Molecular de la Gasolina Magna.....	86
Tabla 4.4: Composición Másica de los Flujos que intervienen en la Mezcla de la Gasolina Especial	90
Tabla 4.5: Composición Másica de los Flujos que intervienen en la Mezcla de la Gasolina Magna	94
Tabla 5.1: Criterios para Interpretar el VAN.....	98
Tabla 5.2: Criterios para Interpretar el TIR.....	98
Tabla 5.3: Criterios de Comparación de la Relación Beneficio y Costo	99
Tabla 5.4: Demanda y Oferta de la Gasolina Especial	100

Tabla 5.5: Producción de la Gasolina Especial en las Refinerías de Bolivia	102
Tabla 5.6: Importación de la Gasolina Especial	103
Tabla 5.7: Costo de Equipo (Puesto en FOB)	104
Tabla 5.8: Monto de Inversiones	107
Tabla 5.9: Margen de Refinería en la Cadena de Precios expresado en bolivianos por litro	108
Tabla 5.10: Margen Pre-Terminal en la Cadena de Precios expresado en bolivianos por Litro	114
Tabla 5.11: Margen Mayorista de la Cadena de Precios expresado en bolivianos por Litro	114
Tabla 5.12: Margen Estación de Servicio de la Cadena de Precios expresado en bolivianos por Litro	115
Tabla 5.13: Proyección de la Demandad de la Gasolina Especial en Bolivia	116
Tabla 5.14: Cadena de Precio de la Gasolina Magna	116
Tabla 5.15: Estado de Ganancias y Pérdidas Proyectada expresado en MM\$us.....	118
Tabla 5.16: Flujo de Caja Proyectada expresado en MM\$us	118
Tabla 5.17: Evolución de la Rentabilidad	118
Tabla 5.18: Resultados de Indicadores Economicos	119

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

La contaminación generada por el parque automotor es uno de los grandes problemas que afronta nuestro país, ya que estos alcanzan niveles altos de contaminación y esto tiene explicación en la producción de carburantes que no cumplen con una serie de parámetros de calidad que deberían tener y la importación de automóviles que deben regirse bajo ciertos niveles tecnológicos, es por ello que este proyecto está enfocado a mostrar una opción para poder producir gasolina especial con las especificaciones de calidad que son requeridas.

En presente proyecto busca adecuar la gasolina especial que se tiene en Bolivia a la Normativa Euro IV con la adición de cierto aditivo oxigenante que pueda mejorar la calidad de la gasolina y así poder cumplir con las especificaciones adecuadas para que sea comercializada ya que esta solo cumple Normativa Euro II.

Por lo cual se propone la mezcla de la gasolina especial con el aditivo oxigenante en una proporción volumétrica adecuada para cumplir la Normativa Euro IV, modificando especificaciones como el RON, densidad y otros, y de esta manera poder cumplir con las especificaciones necesarias para este carburante.

1.2. Antecedentes

La adecuación de la gasolina especial a la Normativa Euro IV se viene manejando hace 3 años, según el artículo 191, párrafo II de la Ley General del Transporte. De acuerdo con dicha Ley 165 promulgada en 2011, a partir del 16 de agosto del 2016 sólo se podrían importar al país vehículos adecuados con la tecnología Euro IV o sus equivalentes, ya que sus motores deberían

estar regulados a los límites aceptables de emisión de gases de combustión, mismo que hasta el momento no tiene un avance sólido.

Por tal motivo el proyecto de Ley 217 debatido por Diputados amplía el plazo para los importadores de vehículo, posibilitando que el artículo 191, parágrafo II de la Ley 165, entre en vigencia, una vez que se logre producir o importar combustibles aptos que cumplan esta norma. Asimismo, establece que el Órgano Ejecutivo mediante una entidad competente, ejecutará las acciones necesarias para mejorar la calidad y asegurar la distribución del combustible para acompañar y potenciar las acciones de protección ambiental.

Por este motivo este proyecto está orientado a poder contribuir a Bolivia con una alternativa para poder adecuar la gasolina especial según especificaciones internacionales como la Normativa Euro IV.

1.3. Planteamiento del Problema

1.3.1. Identificación del Problema

La producción de los combustibles en las refinerías abarca gran parte de la demanda del mercado interno, si bien se tienen ciertos procesos para producir los combustibles con la calidad adecuada aun no es suficiente para decir que los combustibles cumplen las especificaciones ambientales.

Uno de los combustibles más usados por el parque automotriz es la Gasolina Especial, el mismo tiene ciertas especificaciones que no cumple como combustible causando una gran contaminación al medio ambiente a través de la emisión de gases nocivos a la atmosfera acompañado de la falta de políticas nuevas y ambientales para implementar un parque automotor acorde a las exigencias del nuevo combustible y de esta manera generar una adecuada combustión en el vehículo.

1.3.2. Formulación del Problema

Si bien la producción de Gasolina Especial generada en las tres refinerías en funcionamiento (Gualberto Villarroel, Guillermo Elder Bell y Oro Negro) y con la implementación de la NURC (Nueva Unidad de Reformación Catalítica) en Cochabamba y la NUIS (Nueva Unidad de Isomerización) en Santa Cruz, aun no son suficientes para producir una Gasolina Especial con las especificaciones que nos exige la Normativa Euro IV como lo es aumentar el octanaje, es por ellos que se debe realizar la adecuación de la gasolina especial con la mezcla de cierto aditivo oxigenante para generar una gasolina con mayor número de octanaje y de esta manera poder generar una mejor combustión en los vehículos y dejar de emitir gases que contaminen el medio ambiente.

En la actualidad la gasolina especial producida en las refinerías se rige según Normativa Euro II, pero la implementación de este aditivo en la Refinería Gualberto Villarroel contribuirá a producir un mejor combustible con un precio más alto para el consumidor.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar y Aplicar la normativa Euro IV para la adecuación y mejoramiento de la gasolina especial con el aditivo oxigenante Ter-Butil-Alcohol.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Reducir la Contaminación en el Medio Ambiente.
- Aumentar el octanaje y modificar especificaciones de la gasolina especial.
- Cumplir con las exigencias medioambientales de contaminación con la Gasolina Especial.
- Promover el cambio del parque automotor según las nuevas exigencias.
- Convertir a Bolivia en un país que promueva el cuidado al Medio Ambiente.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación Económica

Con la adecuación de la Gasolina Especial bajo ciertas especificaciones y su posterior comercialización en el mercado interno, se tendría un incremento del precio final del combustible que es necesario ya que una gasolina con mejor calidad y una menor contaminación, es por ello que la producción y comercialización de la misma debe hacerse de manera progresiva y tomando en cuenta un determinado sector del parque automotor para la producción del nuevo combustible según la normativa, el mismo también generara mayores ingresos por la comercialización del mismo que se destinaran a cubrir el costo de importación del aditivo oxigenante y cubrir los costos que sean necesarios para el blending de la nueva gasolina, para ello se generará una modificación a la cadena del precio del carburante, generando nuevos márgenes al momento de realizar la comercialización del combustible, tomando en cuenta los créditos fiscales en los distribuidores mayoristas y minoristas.

1.5.2. Justificación Social

Es una responsabilidad de las refinerías que se encuentran en funcionamiento en el territorio nacional poder adecuar los combustibles que producen y comercializan con especificaciones ambientales internacionales como la Normativa Euro IV que protege el medio ambiente, respetando los tratados y convenios internacionales a los cuales pertenece Bolivia convirtiéndose de esta manera en un actor de activo de los mismos y de este modo incitar a cambiar el parque automotriz a uno más moderno que cumpla con las especificaciones mínimas para su circulación y que pueda reducir la contaminación que generan los vehículos en el país y así disminuir el daño que generan estos gases nocivos que son emitidos al medio ambiente sin ningún tipo de control por parte de las autoridades competentes.

1.5.3. Justificación Medio Ambiental

El presente proyecto busca reducir la contaminación generada por los vehículos que consumen gasolina especial. “Esto porque en Bolivia no hay sistemas rigurosos de control de contaminación. Los gases que producen los carros son responsables de al menos el 80% de la contaminación en las ciudades” (Kosh, F. 2018, Red de Monitoreo de Calidad del Aire. Pagina Siete), ya que estos emiten una gran cantidad de contaminantes al medio ambiente y los mismos generan un daño a la salud de las personas, es por tal motivo que es necesario adecuar este combustible que se produce en Bolivia y de esta manera convertirnos en un país que cumpla con las exigencias medioambientales de contaminación.

Así mismo este proyecto propone la adecuación de la gasolina especial con la adición del aditivo oxigenado Ter-Butil-Alcohol con el cual podemos cumplir con las especificaciones de la Normativa Euro IV y proporcionar al parque automotriz una gasolina de calidad y que cumpla con los estándares mínimos de contaminación al medio ambiente contribuyendo de esta manera en la reducción de las emisiones provocadas por las fuentes móviles.

1.6. Alcance

1.6.1. Alcance Temático

Con la elaboración del presente proyecto se pretende analizar y adecuar la Gasolina Especial según la Normativa Euro IV.

1.6.2. Alcance Geográfico

1.6.2.1. Refinería Gualberto Villarroel

La Refinería Gualberto Villarroel se encuentra ubicada en la ciudad de Cochabamba, perteneciente al municipio de Cercado, del departamento de Cochabamba en Bolivia, en la

Avenida Petrolera, kilómetro 6 de la antigua carretera a Santa Cruz, es una de las refinerías de mayor capacidad de procesamiento de petróleo para la producción de carburantes y lubricantes.

En la actualidad las únicas refinerías que están en funcionamiento son: Gualberto Villarroel, Guillermo Elder Bell y Oro Negro que comercializan gasolina especial solamente en el mercado interno acorde a las políticas que se tiene en Bolivia, ya que la producción del mismo no es suficiente para su exportación

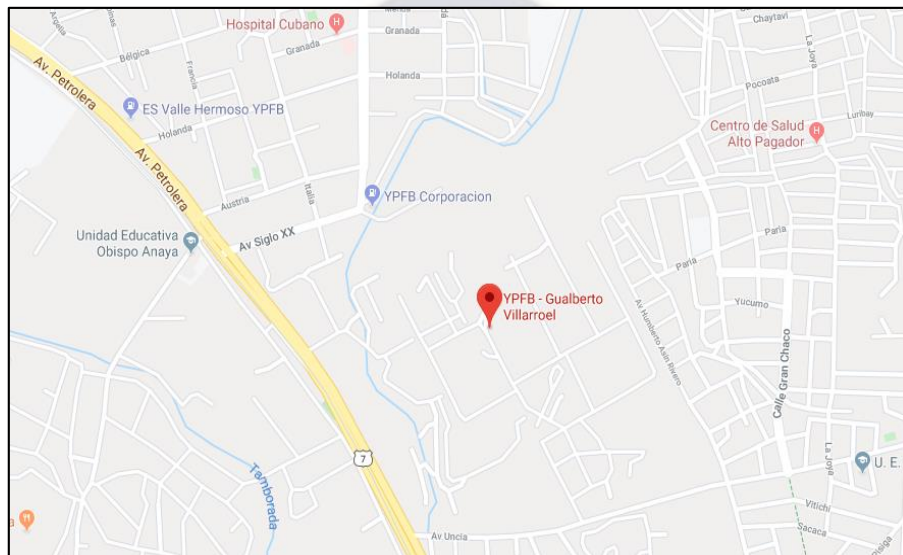


Figura 1.1: *Ubicación de la Refinería Gualberto Villarroel*

Fuente: Google Map

CAPITULO II

CARACTERISTICAS DE LA GASOLINA

2.1. La Gasolina

La gasolina es uno de los combustibles más importantes, en la actualidad la gasolina es un producto hecho por el hombre, o sea que es sintética. Las principales razones son:

- Los crudos tienen un máximo de 25-30% de gasolina natural con índices de octano de 40 a 60, los cuales son demasiado bajos para usarse en los motores modernos de combustión interna. Esto se debe a la estructura molecular de los hidrocarburos que la constituyen.
- La cantidad de gasolina primaria o natural contenida en los crudos es insuficiente para satisfacer la gran demanda provocada por los vehículos que circulan diariamente.

Las dos razones aquí mencionadas crearon el reto para los científicos: cómo remodelar las moléculas para producir más y mejores gasolinas.

Sin embargo, a medida que se hacían mejores gasolinas, simultáneamente los diseñadores de automóviles aumentaban la compresión de los motores elevando así su potencia, se necesitó entonces un índice de octano mayor. (Nelson, W.L. 1974, Refinación de Petróleos, Editorial Reverte, Barcelona España)

Un barril de 159 litros de petróleo crudo se logra separar hasta 50 litros de gasolina cuyos componentes tienen de cinco a nueve átomos de carbono (C_5-C_9), y que de los 109 litros restantes algunos de los hidrocarburos no sean apropiados para usarlos como gasolina, ya sea porque su composición no cuenta con suficientes átomos de carbono por molécula ($<C_5$) o porque tiene demasiados ($>C_{10}$). Otros quizás cumplan con el número requerido de carbonos, pero sus moléculas están en forma lineal en vez de ramificada y por lo tanto requieren otro tipo de proceso para volverlos ramificados.

2.1.1. Procesos Básicos de Obtención de Gasolina Especial

La gasolina se obtiene a partir del petróleo a través de las siguientes etapas generales:

- Proceso de destilación separación física de los componentes del petróleo por diferencia de volatilidad entre cada uno de ellos, de este proceso se obtiene la gasolina natural.
- Proceso de desintegración de los componentes pesados del petróleo, para convertirlos en gasolina y gas licuado.
- Procesos que se emplean para mejorar las características de las gasolinas como el de reformado catalítico, isomerización, alquilación y adición de compuestos oxigenantes como el ter-butil-alcohol (TBA), metil-ter-amil éter (TAME), y más recientemente etanol carburante.

2.2. Procesos para Mejorar la Gasolina Especial

Si tenemos moléculas con más átomos de carbono de los que necesitamos, hay que romper las cadenas que unen los átomos de carbono para obtener moléculas más chicas, cuyo número de carbono sea de cinco a nueve.

Pero si las moléculas tienen menos átomos de carbono de los que buscamos, entonces es necesario unir dos, tres o más de ellas entre sí, para agrandarlas hasta conseguir el tamaño deseado, para lograr esto los científicos e ingenieros tuvieron que trabajar conjuntamente para desarrollar las tecnologías requerida como la tecnología propia, que no es más que el simple conocimiento de cómo satisfacer las necesidades con los recursos disponibles, mientras tanto, sin la tecnología adecuada se ven obligados a comprar a otros a un alto costo, los cuales son tomados a precios irrisorios. Para tal efecto veremos cuáles son y en qué están basadas las tecnologías usadas para hacer más gasolina. La gasolina está compuesta por el número adecuado de carbonos, pero la forma en que están colocados dentro de la molécula no le imparte un buen octanaje, es por ello

que para mejorar la calidad de la gasolina existen dos tipos de procesos en las refinerías, que son la isomerización y la reformación, ambos requieren catalizadores que no sólo permiten que el proceso trabaje a temperaturas y presiones inferiores, sino que también aumentan la velocidad de la reacción. Además, actúan como directores haciendo que las moléculas se rompan de cierta manera ya que los pedazos se unen y forman preferencialmente un determinado tipo de hidrocarburo.

2.2.1. Isomerización

Convierte las moléculas de cadena lineal en hidrocarburos isómeros de cadenas ramificadas. El proceso es una fuente alterna para incrementar el octanaje de la gasolina y generalmente su materia prima es la gasolina que se separa del crudo por destilación, haciendo que las moléculas más volátiles (como las parafinas lineales), sean modificadas y la volatilidad de la mezcla disminuya.

Así sucede, por ejemplo, con el heptano normal, que tiene siete átomos de carbono formando una cadena lineal. Como dijimos anteriormente, su índice de octano es de cero. Pero si lo isomerizamos y lo hacemos altamente ramificado obtenemos el iso-heptano, que tiene 110 de octano.

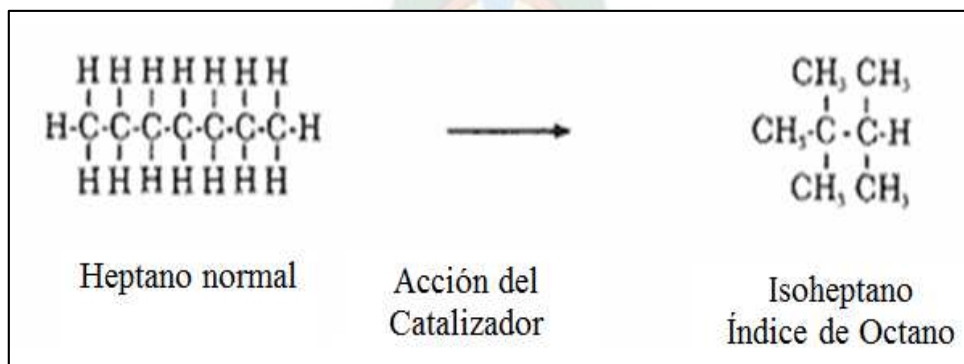


Figura 2.1: *Isomerización. Modificación de los Hidrocarburos para elevar Octanaje.*

Fuente: Wikipedia

2.2.2. Reformado

El reformado es un proceso que aumenta el octanaje de una corriente y su destino es formar parte de la gasolina; convierte los hidrocarburos saturados en aromáticos, entre otras cosas, el producto final puede tener 60% de ellos, además de generar también iso-parafinas. Este proceso nació en los años 30 y la primera planta fue construida en 1940. Inicialmente el proceso no se concibió para obtener gasolina sino para producir tolueno, con el cual se genera TNT (trinitrotolueno), el cual es un explosivo.

Este proceso no sólo favorece la ramificación de los hidrocarburos como en el caso anterior, sino que también les permite ciclizarse, formando anillos de seis átomos de carbono, y después perder átomos de hidrógeno dándonos los hidrocarburos cíclicos llamados aromáticos. Éstos están constituidos principalmente por benceno (C_6H_6), tolueno ($C_6H_6CH_3$), y xilenos ($C_6H_6(CH_3)_2$).

A los grupos, que contienen los anillos bencénicos del tolueno y los xilenos, se les llama metilos. El tolueno tiene un solo metilo, mientras que el xileno tiene dos, los cuales, dependiendo de la forma de su unión al anillo bencénico, se llaman orto xileno, meta xileno, o para xileno, estos hidrocarburos aromáticos le imparten un alto índice de octano a la gasolina reformada.

2.3. Gasolina Especial

La gasolina que compramos en las gasolineras se hace mezclando diferentes porcentajes de gasolina proveniente de los procesos de polimerización, alquilación, isomerización, reformación y desintegración, a estas mezclas se les determina su octanaje, y se les agrega una serie de aditivos antes ser comercializada.

Las gasolinas con plomo, como se les llama aquellas que contienen TEP (Tetra Etilo de Plomo), resultan más baratas que las que no lo llevan. Esto se debe a que el contenido de gasolina natural es mayor en este caso.

Así, por ejemplo, si tenemos una mezcla de gasolina con un índice de octano de 60, al agregarle el TEP puede llegar a tener un octanaje de 80. Si la mezcla original tenía 90 de octano, con el aditivo puede subir hasta 110., aunque resulta que este aditivo es muy bueno para los automóviles y no tiene un costo elevado, no lo es para nuestra salud. “El principal problema que se presenta con el uso del TEP como antidetonante se da por el plomo que elimina con los gases de combustión que salen por el mofle de los automóviles, causando un problema grave de contaminación ambiental debido a su toxicidad” (Morcillo, Jesús 1989, Temas básicos de química. Alhambra Universidad).

2.3.1. Propiedades de la Gasolina Especial

La gasolina especial es una mezcla de varios hidrocarburos provenientes del petróleo, líquida a temperatura y presión normal, y cuyas propiedades más importantes son:

2.3.1.1. El Octanaje

Octanaje o número de octano es una medida de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas para evitar las detonaciones y explosiones en las máquinas de combustión interna, de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil.

El octanaje es una de las principales propiedades de la gasolina ya que está altamente relacionado al rendimiento del motor del vehículo, el cual muestra una medida de la tendencia de la gasolina a detonar en el motor, midiendo el golpeteo o detonación que produce la gasolina comparada con los patrones de referencia conocidos de iso-octano y n-heptano, cuyos números de octano son 100 y cero respectivamente. Con respecto a la combustión en condiciones normales se

realiza de manera rápida y silenciosa, pero cuando el octanaje es inadecuado para el funcionamiento del motor, la combustión se produce de manera violenta causando una explosión o detonación que por su intensidad puede causar daños serios al motor del vehículo. (Fert. Tutoriales 2014, Slideshare: Gasolina y Octanaje. Universidad Técnica del Norte. Recuperado de: <http://www.slideshare.net>)

El octanaje o índice de octano o número de octanos se refiere exclusivamente a la calidad antidetonante que se requiere en el combustible para que este resista o evite su tendencia a la autodetonación o autoencendido del mismo, por lo que el número de octanos requerido depende directamente de la relación de compresión del motor.

Con el nivel de octanaje adecuado se evita la autodetonación y se logra un solo foco de llama dado por el encendido en el momento preciso, con lo cual se obtiene una combustión más efectiva. Dicho índice de octano se obtiene por comparación del poder antidetonante de la gasolina con el de una mezcla patrón compuesta de heptano e iso-octano. Al iso-octano se le asigna un poder antidetonante de 100 y al heptano de 0, de modo que, por ejemplo, una gasolina de 95 octanos se correspondería en su capacidad antidetonante a una mezcla con el 95 por ciento de iso-octano (muy antidetonante) y el 5 por ciento de heptano (escasamente antidetonante).

2.3.1.2. Forma de Determinar el Octanaje

Para determinar la calidad antidetonante de una gasolina, se efectúan corridas de prueba en un motor, de donde se obtienen dos parámetros diferentes:

- El Research Octane Number (Número de Octano de Investigación) que se representa como RON o simplemente R y que se determina efectuando una velocidad de 600 revoluciones por minuto (rpm) y a una temperatura de entrada de aire de 125°F (51.7°C), según la norma ASTM 2699.

- El Motor Octane Number (Número de Octano del Motor) que se representa como MON o simplemente M y se obtiene mediante una corrida de prueba en una máquina operada a una velocidad de 900 revoluciones por minuto y con una temperatura de entrada de aire de 300°F (149°C), según la norma ASTM 2700. (ASTM International, Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States)

2.3.1.3. Problemas por un Bajo Octanaje

Los principales problemas son la generación de detonaciones o explosiones en el interior de las máquinas de combustión interna, aparejado esto con un mal funcionamiento y bajo rendimiento del combustible, cuando el vehículo está en movimiento, aunado a una elevada emisión de contaminantes.

2.3.1.4. Mejoramiento en el Octanaje

A nivel mundial, se han desarrollado varias tecnologías relacionadas entre sí para elevar el octanaje de las gasolinas, destacando las siguientes:

- a. Aplicación de nuevas tecnologías de refinación, de reformado catalítico, isomerización y otros procesos, que permiten obtener gasolinas con elevados números de octano limpios, es decir, sin aditivos. Esto ha llevado a reducir en forma importante e inclusive a eliminar el tetra etilo de plomo, dando como resultado gasolinas de mejor calidad, que cumplen con los requerimientos de protección ecológica que se han establecido a nivel mundial.
- b. Paralelamente, se han desarrollado nuevos aditivos oxigenados denominados ecológicos en sustitución el tetra etilo de plomo (que es altamente contaminante), tales como el Metil-Ter-Butil-Eter (MTBE), el Ter-Amil-Metil-Eter (TAME) y el Etil-Teer-Butil-Eter (ETBE), Ter-Butil-Alcohol (TBA) entre otros.

Estos aditivos oxigenados, se adicionan a las gasolinas para elevar su número de octano, proporcionando a la vez una mayor oxigenación, lo que incide directamente en una combustión más completa y en un mejor funcionamiento de los motores. (Jose B.C. 2013, Pemex: Que es el Octanaje. Recuperado de: <http://www.pemex.com>)

2.4. Aditivos Oxigenantes de la Gasolina Especial

EL uso de aditivos oxigenados en la gasolina, como los alcoholes, comenzó en los años veinte cuando se descubrió su cualidad de elevar el octano de los carburantes entonces disponibles. Fue en los años setenta cuando se volvió a hablar de los alcoholes, caídos en desuso al aumentar el precio del petróleo. Los éteres también empezaron a usarse por el mismo tiempo y el empleo de los dos tipos de moléculas se ha incrementado y extendido en muchos países dado que los refinadores encontraron un producto capaz de aumentar el octano en tiempos en que el crudo era escaso por asuntos políticos: también vieron en ellos una fuente importante para aumentar el octano cuando muchos países, entre ellos México, iniciaron una campaña para desaparecer el tetra etilo de plomo de las gasolinas vendidas. Desde el punto de vista económico, los compuestos oxigenados han tenido un papel importante en estabilizar los precios del mercado del petróleo. Más recientemente los beneficios de los productos oxigenados al reducir las emisiones contaminantes de monóxido de carbono y de hidrocarburos han hecho que en muchos países se haga obligatorio añadir un mínimo de ellos a la gasolina.

La mayoría de los aditivos oxigenados son alcoholes o éteres y contienen de uno a seis átomos de carbono. En particular los alcoholes se han empleado en la gasolina desde los años treinta.

Daremos primero la fórmula de los más representativos. De los alcoholes y añadidos en concentraciones superiores, los más usados son metanol, etanol, isopropanol, y mezclas de

alcoholes con uno a cinco carbonos. De los éteres, los más empleados son: el éter metil-terbutílico (EMTB), el metil-teramílico (EMTA) y el etil-terbutílico (EETB).

2.4.1. Ter-Butil-Alcohol

El ter-butanol tiene un olor muy fuerte, es muy viscoso y parece que fuera hielo. El ter-butanol (también llamado 2-metil-2- propanol) es un alcohol terciario de fórmula $(\text{H}_3\text{C})_3\text{-C-OH}$. Los isómeros de este compuesto son el metilpropan-1-ol, el butan-1-ol y el butan-2-ol. Es uno de los cuatro isómeros del butanol, es un líquido transparente. Es muy soluble en agua y miscible con etanol y éter di-etílico. Es único entre los isómeros de butanol, ya que tiende a ser un sólido a temperatura ambiente, con un punto de fusión ligeramente por encima de 25 °C. (D. Maldonado 2011, Slideshare: Aplicaciones de Ter-Butanol. Recuperado de: <http://www.slideshare.net>)

2.4.1.1. Aplicaciones del Ter-Butil Alcohol

El ter-butanol es un alcohol terciario, es usado como solvente pues facilita la adhesión y el rendimiento del pegamento se realizan para obtener varios isómeros a partir de esta base, también se usa en agricultura en el biodiesel y como solvente.

Se utiliza en las gasolinas para elevar el octanaje como un oxigenante aditivo, y como producto intermedio en la síntesis de productos químicos como el MTBE, ETBE y otros. El ter-Butil Alcohol fue utilizado como un aditivo de combustible para obtener alto octanaje y sustituir el tetra etilo de plomo, también tiene otros usos detallados a continuación:

- Se utiliza como solvente de reacción, así como un medio para el producto de los peróxidos orgánicos, alcóxidos metálicos.
- Es una fuente para producir compuestos aromáticos alquilados y nitrógeno en condiciones de acidez media. (Virginia A. 2017, Chemicalland21: Propiedades de Ter-Butanol. Recuperado de: <http://www.chemicalland21>)

2.4.1.2. Efectos del Ter Butil Alcohol (TBA) en la Gasolina

Los efectos que causa el TBA en la gasolina son las siguientes:

- Proporciona un alto octanaje y mejora el rendimiento del combustible.
- Es un oxigenante, significa que proporciona oxígeno a la reacción de combustión; reduciendo con esto la producción de hidrocarburos no quemados.
- En cuanto a la emisión de gases, la adición de TBA a la gasolina, disminuye la concentración de monóxido de carbono y otros gases de escape del motor.
- Proporciona flexibilidad en la formulación para las refinerías.
- Mejora la combustión para reducir las emisiones de escape.

El Ter Butil Alcohol se adapta perfectamente a la infraestructura existente de la gasolina en México, Asia, Europa y el resto de América Latina, y este puede ser mezclado directamente en las refinerías.

2.4.1.3. Riesgos Potenciales en la Salud

El alcohol ter-butílico es un compuesto inflamable que es una gran fuente de ignición y en caso de incendios este puede generar vapores tóxicos. Para poder entender mejor las condiciones del oxigenante mostraremos el diamante de NFPA (National Fire Protection Association) mediante el cual se recomienda prácticas seguras desarrolladas por el personal experto.



Figura 2.2: Diamante NFPA del Alcohol Ter-butílico
Fuente: National Fire Protection Association

- Grado de salud 1 leve; materiales que bajo una explosión causan irritación, pero solo daños residuales menores aun en ausencia de tratamiento médico.
- Grado de inflamabilidad 3 severo; líquidos que pueden encenderse en casi todas las condiciones de temperatura ambiental.
- Grado de reactividad 0 estable; materiales que de por si son normalmente estables aun en condiciones de incendio y que no reaccionan con el agua.
- Oxi; agente oxidante



CAPITULO III

ANALISIS DE LA NORMATIVA EURO IV

3.1. Definición

La norma europea sobre emisiones es un conjunto de requisitos que regulan los límites aceptables para las emisiones de gases de combustión de los vehículos nuevos vendidos en los Estados Miembros de la Unión Europea, así en Europa nacieron hace años los estándares de emisiones europeos para el transporte terrestre, un conjunto de directivas de la Unión Europea de obligado cumplimiento en todos los países, que estipulan unos límites de emisiones para los diferentes gases de escape de los automóviles con motor de combustión interna más conocidas como Normativa Euro.

Las denominadas normativas Euro fijan los valores límite de las emisiones contaminantes de los vehículos nuevos. En la fiscalidad de un vehículo, las emisiones de gases contaminantes tienen un papel muy importante porque el tipo impositivo depende también de la clasificación que establecen las diferentes normas Euro. El código indicado en el permiso de circulación ofrece información sobre el nivel de emisión de contaminantes del vehículo.

Las disposiciones legislativas son cada vez más exigentes: el Parlamento Europeo ha decidido fijar otra vez nuevos valores límite para la emisión de contaminantes este proceso de implementación de cada normativa en el transcurso del tiempo es descrito a continuación:

3.1.1. Normativa Euro I: Implantación del Catalizador

En el año 1992 se impone a todos los fabricantes de vehículos europeos, someterse a la normativa Euro I que obligaba a reducir las emisiones tanto a vehículos diésel como gasolina.

Para ello se implementó un componente (un catalizador) en el tramo intermedio del tubo de escape, cuya función era reducir y transformar los gases de combustión del coche. El

mecanismo utilizado es reacciones redox (reducción-oxidación) donde en una primera parte, los dióxidos de nitrógeno se convierten en nitrógeno molecular (reducción), y en la segunda parte los hidrocarburos no quemados y el monóxido de carbono, se convierten en dióxido de carbono y agua (oxidación). El catalizador está formado por cerámicas y metales preciosos que favorecen junto a las altas temperaturas que alcanza el catalizador (300°C), las reacciones redox.

Es así que los motores de gasolina, para superar la normativa Euro I, se universalizaron la utilización del catalizador de gases de escape de tres vías con regulación lambda. La sonda lambda transmitía una información de riqueza de mezcla en función del contenido de oxígeno a la unidad de control del motor, y ésta se encargaba de ajustar la mezcla de combustible/aire a una proporción estequiometría.

Los avances que siguieron a la normativa Euro I se centraron en la consecución de una combustión más eficiente, para lo que se utilizaron la distribución y admisión variables, y las cuatro válvulas por cilindro. Esta medida tenía muy buena base, pero no era suficiente para la eliminación de todos los compuestos que se emitían a la atmósfera. Había que abordar más aspectos aparte de la mecánica del vehículo, era el momento de modificar los combustibles. La gasolina como componente volátil tenía mucha facilidad de detonación en la cámara de combustión, provocando muchas vibraciones y fallos en el motor. Para controlar estas detonaciones se empleó plomo en las gasolinas, que aparte de su función antidetonante, mejoraba el índice de octano (poder calorífico de la gasolina). El plomo utilizado no se quemaba, saliendo por el tubo de escape en tamaños de partícula diminutos, y como metal pesado que es, al respirarlo quedaba retenido en los pulmones sin posibilidad de degradarlo.

A principios de los 90 se elimina el plomo de las gasolinas y se sustituye por metil-ter-butil-éter (MTBE). Este compuesto cumplirá las mismas funciones que el plomo y supuestamente, no sería

dañino para la salud de las personas. Años más tarde se comprobó que el MTBE era polar al agua lo que implicaba que podía introducirse en los organismos a través del agua, quedándose retenido en el tejido adiposo siendo igual peligroso o más que el plomo.

3.1.2. Normativas Euro II, Euro III: Mejoras Mecánicas

Volviendo al concepto del vehículo, entre los años 1996 y 2004, se imponen sucesivas normativas Euro que son más restrictivas a medida que pasan los años. Se centran básicamente en modificar o mejorar el catalizador de la normativa Euro I, aunque otros fabricantes optan por disminuir el tamaño de los motores de los vehículos para que consuman menos combustible.

Para ello usan sistemas de sobrealimentación (turbos, compresores) para obtener los mismos rendimientos en menores cilindradas, conllevando a menores consumos y menores emisiones. Otra forma de mejorar la mecánica es añadir más marchas a las cajas de transmisión, con el fin de circular a menores regímenes de motor, consumiendo menos combustible. Al circular a menores revoluciones se genera menos monóxido de carbono (por la mayor calidad de la mezcla al darle tiempo a reaccionar mejor al combustible con el comburente), menos hidrocarburos sin quemar (se aprovecha mejor el combustible) y menos óxidos de nitrógeno (se alcanza menores temperaturas en el motor). (Fundación Vida Sostenible. 2015, Catalizadores Málaga: Normativa Europea. Recuperado de: <http://www.catalizadoresmalaga.com>)

3.1.3. Normativa Euro IV

La Normativa Euro IV se popularizó la inyección directa de gasolina, en ocasiones auxiliada por la sobrealimentación, lo que acarrea problemas derivados de una mezcla estratificada muy pobre; esto es la elevada temperatura de combustión propicia unos altos valores de óxidos de nitrógeno en los gases de escape, por lo que se precisa la utilización de la EGR, e incluso del catalizador de NOx, para cumplir las últimas normativas.

Los combustibles no son compatibles con los vehículos que se fabrican en las marcas por lo tanto el uso de un combustible no compatible provocaría consecuencias peligrosas.

3.1.4. Normativa Euro V: Filtro antipartículas

En el año 2009 se implementa la normativa Euro V, en la que aborda sobre todo para los vehículos diesel la eliminación de la materia particulada que producen. Esta materia particulada con diferentes tamaños, siendo los más peligrosos los de menor tamaño pues tienen mayor poder de penetración en los organismos vivos. Para eliminar estas partículas se obliga a todos los fabricantes a implementar un filtro antipartículas (FAP ó DPF), que consiste en una trampa para las partículas sólidas en suspensión, quedando retenidas en una especie de panal de cerámica con poros muy finos. Cuando este filtro se satura se regenera automáticamente mandando una orden a la centralita para que aumente la temperatura de los gases de combustión para eliminar estas partículas. Es necesario un periodo de 10-20 minutos donde el motor no ha de pararse y el consumo de combustible aumenta entorno un 20%. Existen dos tipos, los que tienen aditivo y los que no lo tienen. Los que tienen aditivo son más eficaces, pero dependen de un líquido que se va consumiendo en función de los kilómetros que se realice. (P. Ibañez 2014, MotorPasión: Filtro de Partículas. Recuperado de: <http://www.motorpasion.com>)

3.1.5. Normativa Euro VI: AdBlue

Mientras que en la gasolina se centran en disminuir el tamaño de los motores, reducción de peso y uso de turbocompresores, la normativa Euro VI sale en el año 2014 con el objetivo de reducir de forma drástica las emisiones de los vehículos. Para ello se recurre a un compuesto líquido llamado AdBlue que se va administrando en pequeñas dosis en los gases de combustión generando una reacción química a alta temperatura que produce amoníaco que descompone las moléculas de óxidos de nitrógeno en nitrógeno molecular y agua, que no son nocivos para el medio

ambiente. No hay que confundir el AdBlue, con el líquido usado en los filtros antipartículas con aditivos.

Esta tecnología deberán llevarla todos aquellos vehículos que no superen los límites estipulados por la normativa. El depósito de AdBlue dura como 10.000 km, que puede ser rellenado por el mismo usuario en estaciones autorizadas. Como curiosidad hay que comentar que cuando se acabe el depósito de AdBlue, el vehículo se parará automáticamente a pesar de tener el combustible debido a que tiene una función en la que no podrá circular por no cumplir la homologación por la que ha sido fabricado. (D. Villarreal 2015, DiarioMotor: AdBlue. Recuperado de: <http://www.diariomotor.com>)

A continuación, mostramos los límites de emisión de contaminación de cada Normativa Euro hasta el momento:

Tabla 3.1: *Límites de Emisión de contaminantes nocivos de las Normativas Euro*

Norma	Aprobación de tipo	CO	HC	HC + NOx	NOx	PM
		g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
Euro 1	1 jul de 1992	2.72	-	0.97	-	-
Euro 2	1 ene de 1996	2.2	-	0.5	-	-
Euro 3	1 ene de 2000	2.3	0.2	-	0.15	-
Euro 4	1 ene de 2005	1.0	0.1	-	0.08	-
Euro 5	1 sep de 2009	1.0	0.1	-	0.06	0.005
Euro 6	1 sep de 2014	1.0	0.1	-	0.06	0.005

Fuente: United States Environmental Protection Agency

En el siguiente grafico se muestra como los límites de emisión fueron cada vez reduciendo con la implementación de cada Normativa Euro.

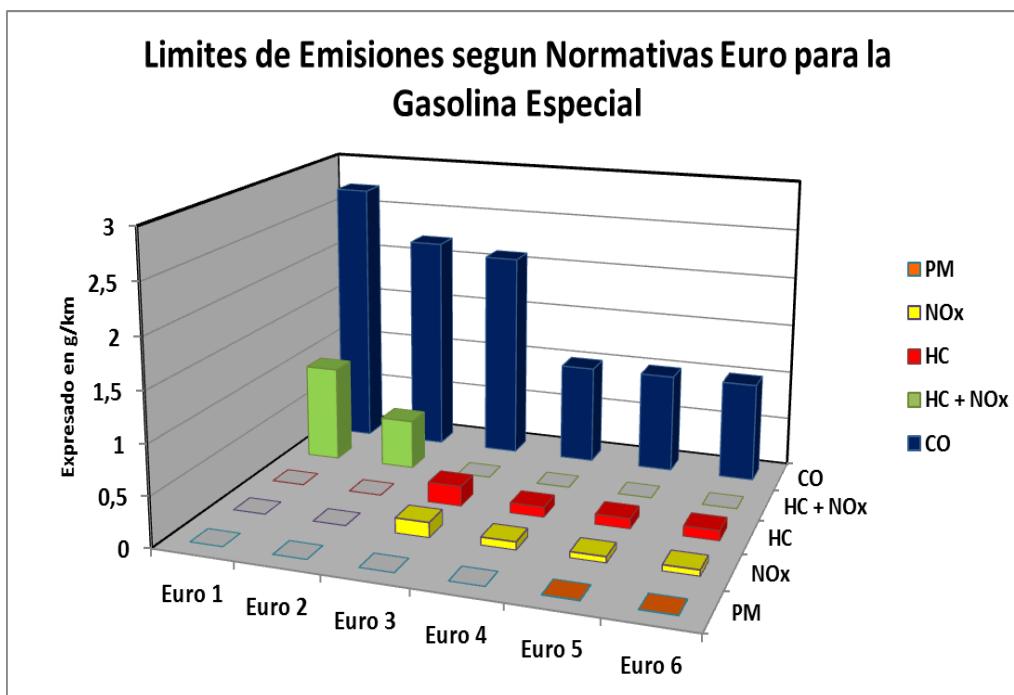


Figura 3.1: Límites de Emisión de contaminantes nocivos de las Normativas Euro
Fuente: United States Environmental Protection Agency

3.2. Sistema de Diagnóstico OBD

La normativa exige que todos los vehículos tengan un sistema de diagnóstico a bordo llamado OBD. Este sistema se ocupa de monitorear y evaluar los niveles de emisión a lo largo de toda la vida útil del vehículo, controlando el sistema de inyección, el sistema de admisión de aire, el sistema de tratamiento de gases de escape y el nivel de aditivo.

El sistema de diagnóstico OBD (on board diagnostics), más conocido en Europa por EOBD (European on board diagnostics), que se aplica a todos los modelos con motores a gasolina. La principal novedad es la incorporación de un testigo de aviso que indica al conductor la existencia de alguna anomalía, que provoca un aumento de las emisiones de gases, superiores a los límites establecidos.

La información ofrecida por el OBD y la actuación del testigo de aviso deben ser idénticas para todos los automóviles. Por otro lado, según la organización jurídica de cada país, también

debe ser posible su consulta por organismos oficiales o talleres autorizados. Para ello se han estandarizado unos códigos de avería relacionados exclusivamente con el EOBD, dichos códigos siguen la normativa SAE. Otro dato importante del OBD es la indicación del número de kilómetros recorridos por el vehículo, desde que se activa el testigo de aviso. El conductor se encontrará con un tablero con la siguiente información adicional: nivel de AdBlue, luces testigo relacionadas con cualquier falla que tenga el vehículo, mientras en la computadora de abordo quedará la información como tipo de falla en el nivel de emisiones.

3.3. Normativa EURO y EPA

También es importante conocer las normas EPA aplicadas en Estados Unidos que son semejantes a las Euro, las diferencias entre las dos opciones de cumplimiento incluyen:

Emisiones de PM: Las normas Euro IV exigen emisiones de PM mucho menores que las normas EPA 2004. Debido a que ninguna de las dos normas requiere el uso de filtro de partículas ni regula la cantidad total de partículas, las emisiones de partículas ultra finas son similares en ambas normas.

Mientras que el límite de la certificación Euro IV para óxidos de nitrógeno (NOx) es ligeramente menor que los de EPA 2004, así también los límites de HC son más estrictos en la EPA 2004. Las normas Euro IV requieren el uso de reducción catalítica selectiva (SCR, por sus siglas en inglés) para controlar los NOx, lo que permite reducir el PM a través de cambios en la calibración del motor.

Así también el costo agregado de los sistemas SCR de los vehículos Euro IV tienen un costo inicial mayor que los vehículos EPA 2004. Mientras que los cambios de calibración del motor también reducen el consumo de combustible de los vehículos Euro IV en comparación con los vehículos EPA 2004.

Emisiones Euro IV y EPA 2004

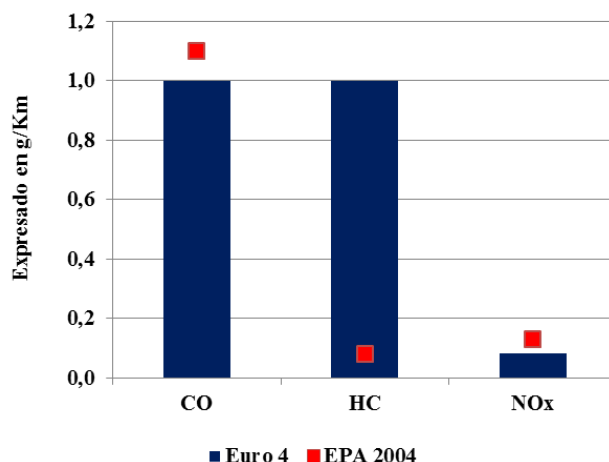


Figura 3.2: Límites de certificación de emisiones en los Estados Unidos y la Unión Europea

Fuente: EPA (United States Environmental Protection Agency)

Como resultado de todos estos factores, la Normativa Euro IV es la opción de cumplimiento que se quiere adoptar en Bolivia como siguiente paso de la Normativa Euro II que está en vigencia aun en Bolivia. Así estas dos normas son las más aplicables al momento de hablar de límites de emisión nocivas del parque automotor que tuvieron una evolución con el transcurrir de los años con límites más estrictos cada vez y con una ligera diferencia uno del otro, pero al final cumpliendo la misma finalidad que es reducir la contaminación de aire que respiramos, a continuación, mostraremos la cronología de aplicación de la Norma Euro y EPA desde sus inicios:

Tabla 3.2: Cronología de las Normas sobre emisiones en los Estados Unidos y la Unión Europea

Normas	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Estados Unidos	EPA 1994			EPA 1998			EPA 2004			EPA 2007			EPA 2010												
Unión Europea	EURO I		EURO II		EURO III			EURO IV		EURO V			EURO VI												

Fuente: EPA (United States Environmental Protection Agency)

Otro dato importante es que en los países de Europa y Australia el número de octanaje que se indica es el RON, pero en Canadá, los Estados Unidos, y algunos otros países el número que se

indica es el promedio del RON y el MON, al cual se le llama en algunas ocasiones el “Anti-Knock Index” AKI (Índice de Anti-Golpeteo), “Pump Octane Number” PON (Número de Octanaje de Bomba), o $(R + M)/2$. Debido a la diferencia de 8 a 10 puntos que indicamos anteriormente, esto quiere decir que el número de Octanaje en los Estados Unidos será de 4 a 5 puntos más bajo que el mismo combustible en otras partes del mundo: Combustible de 87 octanos en los Estados Unidos o Canadá, sería la gasolina de 91 – 92 octanos en Europa. Sin embargo, en Europa despachan una gasolina con un (RON) de 95, equivalente a un $90 - 91 (R + M) / 2$ en los Estados Unidos, y en algunos casos llegan a un RON de 98 ó 100.

3.4. Contexto Internacional

Las propuestas de vehículos limpios en América Latina y de otros mercados automotrices importantes alrededor del mundo en contra de la contaminación provocada por el parque automotor se han basado prácticamente en las emisiones de partículas finas de carbono negro y óxidos de nitrógeno provenientes de los vehículos a gasolina y diésel, para tener una mejor idea mostraremos el avance que tuvieron algunos países para poder mejorar sus combustibles.

3.4.1. Petróleos Mexicanos (Pemex)

México puede llegar a ser el primer país de ingresos medios del mundo en adoptar e implementar normas de talla mundial basadas en filtros para vehículos. Solo Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y Corea del Sur han adoptado estas normas.

Petróleos Mexicanos, a través de Pemex Refinación, está trabajando en forma continua para optimar el nivel de operación de sus refinerías y para mejorar la calidad de las gasolinas que produce y de esta manera cumplir con la Normativa Euro VI. Esto se manifiesta ofreciendo al mercado nacional combustibles con números de octano por encima de las normas ecológicas establecidas por las autoridades competentes, en cumplimiento de la Norma Euro IV.

Paralelamente, y de acuerdo con las tendencias mundiales, Pemex Refinación ha puesto en operación varias plantas para producir aditivos oxigenados como el MTBE (metil terbutil eter) y TBA (ter butil alcohol) y otras están en etapa de construcción, con lo que se continúa fortaleciendo la estructura productiva de gasolinas de alta calidad para el mercado nacional.

3.4.1.1. Métodos de Medida en Pemex

El método de medida de Octanaje es el “Research Octane Number” RON (Número de Octanaje de Investigación). El número RON se determina corriendo un combustible por un motor de pruebas específico con una relación de compresión variable bajo condiciones controladas y establecidas, y comparando estos resultados con los resultados de una mezcla de iso-octano y n-heptano.

También se aplica el método de Octanaje, llamado “Motor Octane Number” MON (Número de Octanaje del Motor), el cual es una mejor medida de cómo se comporta el combustible cuando se encuentra bajo carga. En la prueba de MON se utiliza un motor similar al utilizado en la prueba de RON, pero con una mezcla pre-calentada del combustible, una mayor velocidad del motor, y un tiempo de ignición variable para estresar aún más la resistencia de golpeteo del combustible. Dependiendo de la composición del combustible, el MON de una gasolina moderna será aproximadamente 8 a 10 puntos más bajos que el RON. Normalmente las especificaciones de combustible requieren ambas, un número mínimo de RON y un mínimo de MON.

Los costos de inversión incurridos por México para poder adecuar la gasolina y el diésel según especificaciones Euro IV tuvieron una inversión de 2.072 millones de dólares americanos incluyendo gastos de pre producción, intereses de capital de trabajo durante la construcción y la inflación, generando así una tasa interna de retorno de 14,2 y un periodo de recuperación de siete años mostrando el precio de los productos como factores principales de su rentabilidad y su puesta

en marcha. (K. García. 2018, Pemex: Refinación de Crudos. Recuperado de: <http://www.pemex.com>)

3.4.1.2. Principios de Pemex

México se está caracterizando por ser uno de los países en impulsar el cuidado al medio ambiente con el cumplimiento de la Normativa Euro IV y muy pronto la aplicación de la Normativa Euro VI con los siguientes principios:

- **Cuidado el Motor**

Con la innovación tecnológica, ofrecen al mercado combustibles de última generación que aseguran la potencia, protección y limpieza del motor.

- **Cuidado del Medio Ambiente**

Los combustibles están especialmente diseñados para ayudar al cuidado del medio ambiente.

3.4.2. Esmeralda

En Ecuador la Refinería Esmeralda tiene como principales metas convertirse en un país que produzca combustibles de buena calidad y de esta manera poder ayudar en la reducción de la contaminación al medio ambiente para ello puso en marcha la mejora de sus combustibles, en especial la gasolina y el diesel oíl que son unos de los combustibles de mayor demanda.

3.4.2.1. Calidad de los Combustibles

El objetivo de mejoramiento de la Refinería Esmeralda es poder producir una gasolina súper de 95 RON, un diesel con un mínimo de 52 de número de cetano y máximo de 10 ppm de azufre, producir fuel oíl con un mínimo de 1 % de azufre.

La realización de dichas mejoras en los combustibles para cumplir las normativas europeas en este caso la Normativa Euro IV se tendría planificado la inversión de 300 millones de dólares,

para la producción de gasolina súper se tienen pensado la adición del oxigenante Ter-Butil-Alcohol (TBA) cumpliendo así las exigencias que se requieren. (D. Tapia. 2017, Petroecuador: Refinería Esmeralda. Recuperado de: <http://www.petroecuador.com>)

En la siguiente tabla se mostrará el estado en el que se encuentran algunos países en la relación al cumplimiento de las normativas internacionales de contaminación de vehículos:

Tabla 3.3: Países que cumplen Normativas Internacionales de Contaminación

Grupo	Región	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Otros Mercados	Estados Unidos y Canadá	EPA 2010					
	UE	Euro VI					
	Corea del Sur	Euro V	Euro VI				
	Australia	Euro V/ EPA 2007					
	Rusia	Euro IV			Euro V		
América Latina	México	Euro IV/2004				Euro VI/EPA 2010	
	Brasil	Euro IV	Euro V				
	Argentina	Euro IV	Euro V				
	Chile	Euro IV	Euro V				
	Colombia	Euro II	Euro IV				
	Perú	Euro III					
	Uruguay	Euro III					
	Ecuador	Euro II					
	Bolivia	Euro II					
	Costa Rica	Euro I					
	Venezuela	Euro I					

Fuente: EPA (United States Environmental Protection Agency)

Dentro de América Latina muchos países han realizado o planean realizar grandes mejoras en la calidad de la gasolina ya que forman parte de grandes convenios y tratados internacionales que ratifican la disminución de la contaminación por el parque automotor obligando de esta manera a que los países miembros cumplan con las normativas medioambientales internacionales como lo son: Protocolo de Kioto; acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global, Acuerdo de París; el acuerdo presenta un resultado equilibrado con un plan de actuación para limitar el calentamiento global de bajo de 2°C, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; el

cual es un medio de colaboración de los países para limitar el cambio climático (aumento de temperatura) y establecer planes de acción para hacer frente a sus consecuencias. Frente a esta situación los países en la región han comenzado la implementación de estas normativas cada uno de acuerdo a las políticas de su gobierno de turno las cuales mostraremos a continuación:

- Chile cumple con las normas de diésel con contenido ultra-bajo de azufre desde 2013 y la producción de gasolina según normativa Euro V.
- Brasil, el mayor fabricante de vehículos de la región, y tiene producción de gasolina según normativa Euro V en todas las estaciones de servicio del país
- La única refinería de Uruguay ahora produce diésel de 10 ppm de azufre y cumple con la normativa Euro III con lo que respecta a la gasolina.
- Perú muy pronto importara combustibles según la normativa Euro IV; actualmente gran parte del combustible es importado de Colombia según normativa Euro II.
- Venezuela y Ecuador están invirtiendo conjuntamente en las instalaciones de una nueva refinería para producir gasolina según Normativa Euro IV y diésel con ultra-bajo contenido de azufre.

3.5. Emisiones Nocivas

Estas sustancias nocivas representan sólo una parte mínima de todas las emisiones de un motor moderno de gasolina. La mayor parte de los gases de escape están compuestos de nitrógeno, agua y dióxido de carbono

Los gases de escape del motor contienen, además de sustancias inocuas como vapor de agua, dióxido de carbono y nitrógeno, también otras sustancias nocivas para las personas y/o el medio ambiente como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxido de nitrógeno (NOx). (Ernesto M.A. 2004, Contaminación Atmosférica. Universidad de Castilla-La Mancha)

Estas sustancias nocivas representan una parte mínima de todas las emisiones de un motor moderno: sólo el 1.1 % en los motores de gasolina los cuales tienen efectos negativos en el ser humanos descritos a continuación:

- El **monóxido de carbono**, un gas venenoso pues provoca la asfixia celular al no dejar que llegue oxígeno a través de la sangre.
- Los **hidrocarburos**, son nocivos para las vías respiratorias.
- Los **óxidos de nitrógeno**, son nocivos para la salud del ser humano pues provocan problemas respiratorios, y reaccionan con otros compuestos para originar a su vez otros contaminantes atmosféricos.
- Las **partículas**, son nocivas para la salud causan problemas respiratorios y cardiovasculares y a largo plazo y en altas concentraciones, producen cáncer. También producen cierto efecto invernadero.

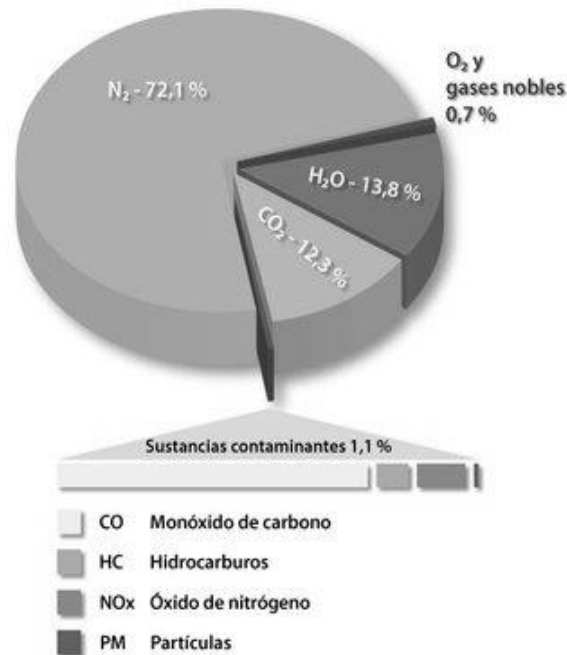


Figura 3.3: *Porcentaje de emisión de los gases de escape de vehículos a gasolina*
Fuente: Statista 2018.

3.5.1. Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) es un subproducto de la combustión incompleta y es esencialmente combustible parcialmente quemado. Si la mezcla aire/combustible no tiene suficiente oxígeno presente en la combustión, no se quema completamente. Cuando la combustión tiene lugar en un entorno sin la suficiente cantidad de oxígeno, entonces no se puede oxidar completamente los átomos de carbono y por lo tanto no se genera dióxido de carbono (CO₂) sino monóxido de carbono (CO). Cuando los átomos de carbono se unen con un solo átomo de oxígeno se forma monóxido de carbono (CO). (Mecánicos y Refacciones. 2016, E-auto: Emisiones Contaminantes. Recuperado de: <http://www.e-auto.com>)

Un ambiente sin oxígeno suficiente para la combustión se produce como consecuencia de una mezcla aire/combustible rica en la que la mezcla estequiométrica (14,7 a 1) no se cumple. Hay varias condiciones de funcionamiento normal del motor bajo las cuales esto ocurre. Por ejemplo, durante la operación en frío, el calentamiento, y el incremento de potencia, es por tanto, normal que se produzca una mayor concentración de monóxido de carbono bajo estas condiciones de funcionamiento.

Cuando el motor está caliente en reposo o en velocidad de crucero (sin acelerar), se produce muy poco monóxido de carbono porque hay suficiente oxígeno disponible durante la combustión para oxidar completamente los átomos de carbono. Esto se traduce en mayores niveles de dióxido de carbono (CO₂), el principal subproducto de una combustión eficiente.

El monóxido de carbono (CO) es menor cuando la mezcla aire/combustible es más pobre que el ideal (menor proporción de gasolina) sin embargo, crece con mezclas ricas como se muestra en la figura 3.4.

La generación de (CO) por la combustión incompleta de sustancias carbonosas es altamente tóxica. En cuanto se inhala y llega al sistema circulatorio, impide la unión de las moléculas de oxígeno a la hemoglobina de la sangre. A partir de una concentración de 1,28 % de monóxido de carbono en el aire se produce la muerte por asfixia en un intervalo de entre 1 y 2 minutos.

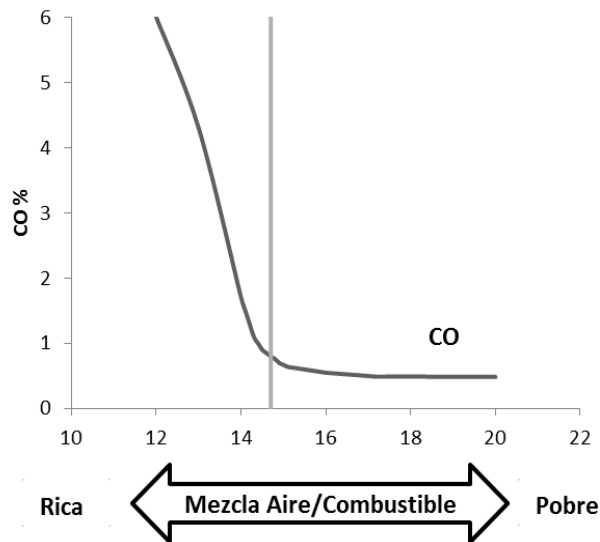


Figura 3.4: Efectos de la Mezcla Aire/Combustible con relación al CO

Fuente: Used Motor Parts

Dado que el monóxido de carbono es más pesado que el aire, se concentra sobre todo cerca del suelo. En el caso de concentraciones pequeñas en el aire, de entre 70 y 100 ppm (partes por millón), pueden aparecer síntomas de resfriado. Una concentración de entre 150 y 300 ppm produce náuseas, mareos y vómitos. A partir de 400 ppm puede aparecer desde pérdida del conocimiento hasta daño cerebral y fallecimiento.

3.5.2. Hidrocarburos (HC)

Los hidrocarburos son simplemente los restos de combustible crudo, es decir combustible no quemado. Cuando la combustión no se produce en absoluto, al igual que con un fallo de encendido, de grandes cantidades de hidrocarburos son emitidos por la cámara de combustión.

Un proceso normal llamado enfriamiento de la pared se presenta cuando, inicia la llama de combustión y esta alcanza las paredes de la cámara de combustión, que están a menor temperatura (por lo que se dice que están frías). Este enfriamiento provoca que la llama se apague antes de que todo el combustible se quemara por completo, dejando una pequeña cantidad de hidrocarburos que se empujan fuera a través de la válvula de escape.

Otra causa de altas emisiones de hidrocarburos se relaciona con depósitos de carbón en la cámara de combustión. Debido a que estos depósitos de carbón son porosos, los hidrocarburos quedan atrapados en estos poros cuando la mezcla de aire/combustible se comprime. Cuando la combustión se lleva a cabo, este combustible no se quema, sin embargo, cuando el pistón empieza su carrera de escape, estos hidrocarburos son liberados con los gases de escape.

La causa más común de exceso de emisiones de hidrocarburos son las fallas de encendido que se producen debido a problemas de ignición, suministro de combustible o de aire. Dependiendo de la gravedad del fallo de encendido, la chispa adecuada o una mezcla no combustible (demasiado rica o demasiado pobre) harán que los hidrocarburos aumenten. Pues bien, un fallo de encendido del total debido a un cable de la bujía en corto hará que los hidrocarburos incrementen dramáticamente. Por el contrario, un fallo de encendido ligero debido a un problema con el aire que entra al motor, puede causar un ligero incremento en los hidrocarburos.

Los hidrocarburos en exceso también se pueden deber a la temperatura de la mezcla aire/combustible que entra en la cámara de combustión. Si la temperatura del aire que entra a la cámara es demasiado baja puede causar una mala mezcla de aire combustible, dando lugar a un fallo de encendido parcial. (T. Aliaga 2016, Reducción de los Gases Contaminantes. Universidad Nacional del Centro del Perú)

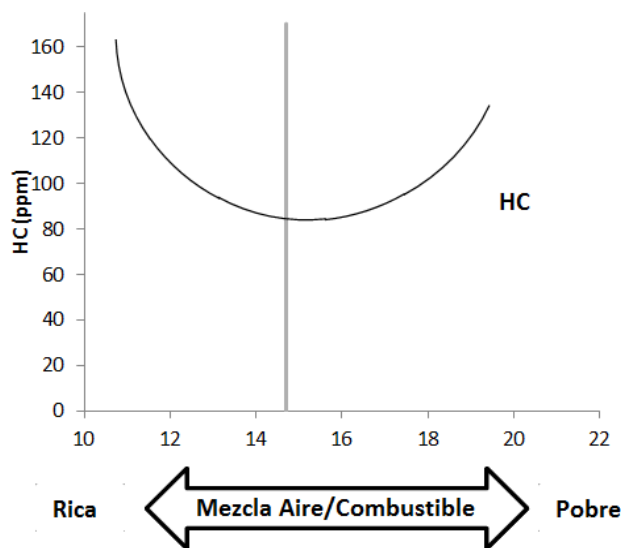


Figura 3.5: Efectos de la Mezcla Aire/Combustible con relación al HC

Fuente: Used Motor Parts

Como se muestra en la figura 3.5, la producción de HC es menor con una mezcla ligeramente pobre (menor proporción de combustible en la mezcla), sin embargo, los HC incrementan con una mezcla muy rica o muy pobre, llegando al punto de pre-ignición.

Estos compuestos químicos que sólo contienen carbono (C) e hidrógeno (H). Algunos compuestos de hidrocarburos pueden producir cáncer y problemas severos al organismo del ser humano.

3.5.3. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

La alta temperatura y presión en cilindro, que se producen durante la combustión pueden causar que el nitrógeno reaccione con el oxígeno para formar óxidos de nitrógeno (NO_x). Aunque se producen varios subproductos de la mezcla de oxígeno y nitrógeno, el óxido nítrico (NO) constituye la mayor parte, alrededor del 98% de las emisiones de NO_x producidas por el motor.

En términos generales, la mayor cantidad de NO_x se produce durante condiciones de carga alta cuando la presión de combustión y las temperaturas son mayores. Sin embargo, pequeñas cantidades de NO_x también se pueden producir a velocidad de crucero, con carga ligera y a bajos

niveles de aceleración. Las causas más comunes del exceso de NO_x incluyen un funcionamiento defectuoso del sistema EGR (Recirculación de Gases de Escape), mezcla pobre de aire/combustible, alta temperatura del aire de entrada, motor sobrecalentado y excesivo avance del encendido, entre otras. (Daniel M. 2014, Aficionados a la Mecánica: Emisiones de Contaminantes. Recuperado de: <http://www.aficionadosalamecanica.com>)

Así los óxidos de nitrógeno son óxidos gaseosos de nitrógeno (N). Se abrevian como NO_x porque existen muchos compuestos posibles: N_2O , NO, N_2O_3 , NO_2 , etc.

Si se mezclan con agua (también en forma de niebla) dan lugar a ácidos, que irritan las mucosas y pueden producir daños en los pulmones. La única excepción es el óxido de di-nitrógeno (N_2O), también conocido como gas de la risa o gas hilarante, que es un gas de efecto invernadero que daña la capa de ozono en las capas más altas de la atmósfera.

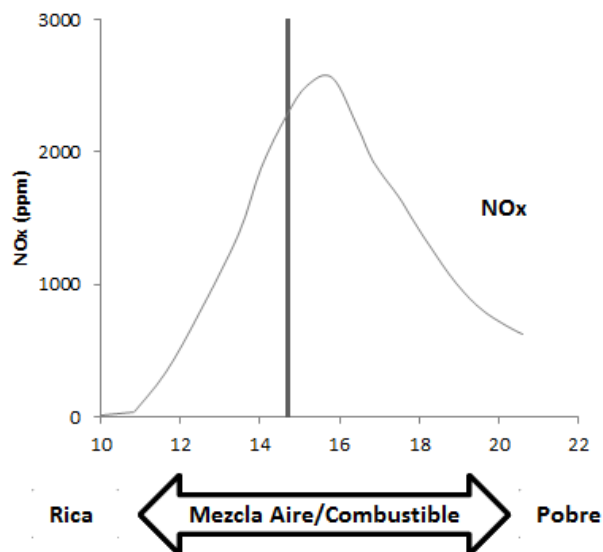


Figura 3.6: Efectos de la Mezcla Aire/Combustible con relación al NO_x

Fuente: Used Motor Parts

Como se puede ver en las figuras 3.4 y 3.5, los niveles de HC y CO son relativamente bajos, cerca de la relación aire/combustible ideal de 14,7:1. Esto refuerza la necesidad de mantener un control estricto de la mezcla aire/combustible. Sin embargo, la producción de NO_x es muy alta

con tan solo un pequeño cambio en la mezcla (mezcla ligeramente pobre). Esta relación es inversa para los HC y el CO producción y la producción de NO_x plantea un problema para el control de la producción total de las emisiones. Debido a esta relación, se puede entender la complejidad en la reducción de las emisiones de los tres al mismo tiempo.

3.5.4. Partículas Moleculares

El material particulado respirable presente en la atmósfera de nuestras ciudades en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras) se puede dividir, según su tamaño, en dos grupos principales. A las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los $10\ \mu\text{m}$ o 10 micrómetros ($1\ \mu\text{m}$ corresponde a la milésima parte de un milímetro) se las denomina PM_{10} y a la fracción respirable más pequeña, $\text{PM}_{2.5}$. Estas últimas están constituidas por aquellas partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a los 2,5 micrómetros, es decir, son 100 veces más delgadas que un cabello humano. En el caso de las $\text{PM}_{2.5}$, su origen está principalmente por las fuentes de las emisiones de los vehículos diésel y gasolina.

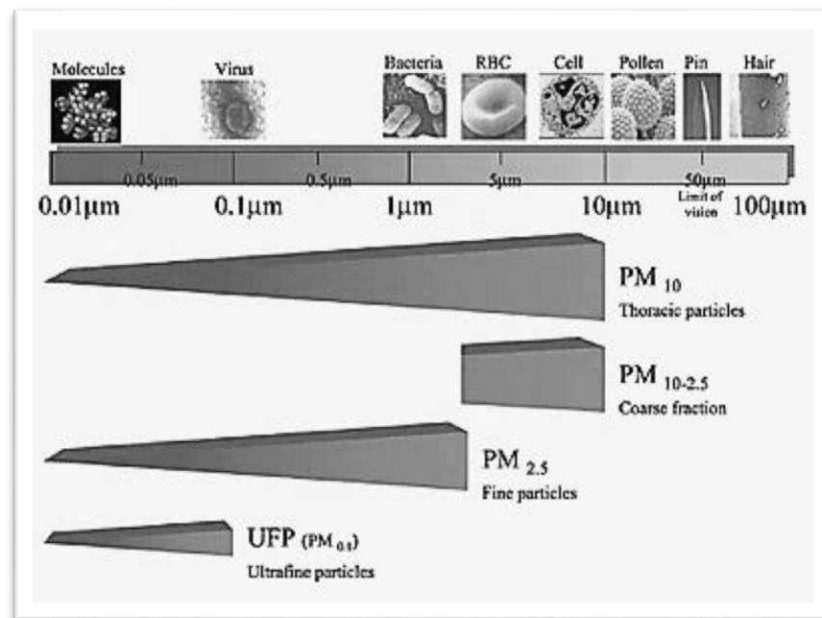


Figura 3.7: Clasificación del Material Particulado
Fuente: Used Motor Parts

En el caso de las $PM_{2.5}$, su tamaño hace que sean 100 % respirables ya que viajan profundamente en los pulmones, penetrando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, incluso pueden llegar al torrente sanguíneo. Además, estas partículas de menor tamaño están compuestas por elementos que son más tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos) que los que componen, en general, las partículas más grandes.

Todo ello hace que la evidencia científica esté revelando que estas partículas $PM_{2.5}$ tienen efectos más severos sobre la salud que las más grandes, (PM_{10}). Asimismo, su tamaño hace que sean más ligeras y por eso, generalmente, permanecen por más tiempo en el aire. Ello no sólo prolonga sus efectos, sino que facilita su transporte por el viento a grandes distancias.

Las partículas finas ($PM_{2.5}$) son las menores de 2.5 micras de diámetro. Estas partículas son tan pequeñas que pueden ser detectados sólo con un microscopio electrónico. Las fuentes de las partículas finas incluyen todo tipo de combustiones, incluidos los vehículos automóviles, plantas de energía, la quema residencial de madera, incendios forestales, quemas agrícolas, y algunos procesos industriales. (Cristian L.G.2008, Ecologistas en Acción: Partículas $PM_{2.5}$. Recuperado de: <http://www.ecologistasenaccion.com>)

Actualmente, las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), Hidrocarburos (HC), Monóxido de carbono (CO) y partículas están reguladas para la mayoría de los tipos de vehículos, incluyendo automóviles, camiones, trenes, tractores y máquinas similares, barcas, pero excluyendo los barcos de navegación marítima y los aviones. El cumplimiento se determina controlando el funcionamiento del motor en un ciclo de ensayos normalizado. Los vehículos nuevos no conformes tienen prohibida su venta en la Unión Europea, pero las normas nuevas no son aplicables a los vehículos que ya están en circulación. En estas normas no se obliga el uso de una

tecnología en concreto para limitar las emisiones de contaminantes, aunque se consideran las técnicas disponibles a la hora de establecer las normas.

La tecnología vehicular ha evolucionado incluyendo filtros y catalizadores cada vez más eficientes para capturar y reducir las emisiones vehiculares. Un vehículo con norma de emisión Euro IV reduce más de la mitad de emisiones que un vehículo Euro II, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3.4: *Reducción Porcentual de Emisiones al pasar de Euro II a Euro IV*

Contaminantes	Euro IV	Euro II	Reducción de Emisiones
Monóxido de Carbono CO (g/Km)	1.0	2.2	54%
Óxido de Nitrógeno NOx (g/Km)	0.08	0,2	60%
Hidrocarburos (g/Km)	0,1	0,3	67%

Fuente: Wikipedia

Como se mencionó anteriormente, incluso los más modernos y tecnológicamente avanzados motores no son perfectos, y todavía producen, de por sí, un cierto nivel de emisiones nocivas. Hay varias condiciones en la cámara de combustión que impiden una combustión perfecta y provocar reacciones químicas no deseadas. Es por ello que es analizaremos un factor importante que es la sonda lambda.

3.6. Sonda Lambda

Para poder controlar la mezcla es necesario de un elemento sensor, que indique, el porcentaje de aire y combustible que entra en el motor. A este dispositivo se le llama sensor de oxígeno o sonda lambda. Este sensor situado a la salida del colector de escape del motor, analiza los gases de escape, y envía información constantemente a la gestión electrónica del motor que adecua la mezcla en función de las circunstancias de funcionamiento del vehículo.

La combustión requiere que el aire y el combustible se hallen mezclados en una proporción determinada, esta proporción entre el aire y el combustible es lo que se llama "relación estequiométrica". En un motor de gasolina la relación ideal es de 14,7:1, es decir son necesarios 14,7 gramos de aire por cada gramo de combustible para realizar una combustión perfecta. En la práctica esta proporción varía ligeramente, pudiendo alcanzar valores de 12 a 16, que serían los límites de funcionamiento de la combustión en el motor. Con 12 gramos de aire por gramo de gasolina la mezcla que se obtiene es excesivamente "rica" en gasolina mientras que con una relación de 16, el motor no arrancaría por escasez "pobre" de gasolina. (Daniel M. 2014, Aficionados a la Mecánica: Sistemas Anticontaminación. Recuperado de: <http://www.aficionadosalamecanica.com>)

3.6.1. Mezcla Pobre

Resulta del exceso de aire en la mezcla. En estas condiciones en el motor se incrementa la temperatura de la combustión, facilitando la aparición de óxidos de nitrógeno (NO_x), además si la mezcla es muy pobre, el combustible no llega a inflamarse y el motor se para.

3.6.2. Mezcla Rica

Se produce debido al exceso de combustible en la mezcla con respecto al aire que entra en la cámara de combustión del motor. En este caso el exceso de combustible no se puede combinar completamente con el aire, por lo tanto, una parte del combustible es expulsado por el escape en forma de hollín y CO.

En automoción se habla de factor lambda o relación "lambda" cuando quiere definirse la relación entre la cantidad de aire necesaria para producir una combustión completa, en relación estequiométrica y la cantidad de aire real que aspira el motor.

Durante el funcionamiento del motor el factor lambda debe variar dentro de unos límites máximo y mínimo establecidos ya que el motor no puede estar alimentado constantemente con una mezcla en relación estequiométrica teórica, (esto es $\lambda = 1$), puesto que en estas condiciones el motor no proporcionara ni su potencia máxima ni el máximo rendimiento térmico. En definitiva, el factor "lambda" da una idea muy precisa de la riqueza o pobreza de una mezcla, así se dice que:

- Con una relación " $\lambda = 1$ ", se obtiene una combustión perfecta porque el aire aspirado coincide con el teórico (el aire aspirado es el 100 % del teórico necesario).
- Con una relación " $\lambda < 1$ ", por ejemplo 0,8 indica escasez de aire por lo que la mezcla resulta rica de combustible (el aire aspirado es solo el 80 % del necesario).
- Con una relación " $\lambda > 1$ ", por ejemplo 1,20 indica exceso de aire, por consiguiente, una mezcla pobre (el aire aspirado es un 120 % del teórico, es decir un 20 % más del necesario).

3.7. Tecnologías aplicadas en la Euro IV

Con la implementación de la Normativa Euro IV en el parque automotor el catalizador de tres vías ya no fue suficiente para el cumplimiento de las exigencias ambientales por parte de los fabricantes de vehículos, empujando a estos el uso de nuevas tecnologías como la Reducción Catalítica Selectiva (SCR) y Recirculación de los Gases de Escape (EGR), a continuación, realizaremos una descripción de estas tecnologías empleadas en los vehículos:

3.7.1. Catalizador

La depuración actual de los gases de escape de los motores de gasolina se realiza por medio de catalizadores. La regulación del ciclo de depuración catalítica corre a cargo de la unidad de control del motor.

La sonda lambda transmite a la unidad de control del motor las señales correspondientes al contenido de oxígeno en los gases de escape. La unidad de control del motor se encarga de mantener ajustada la mezcla de combustible/aire a una proporción " $\lambda = 1$ ".

El catalizador despliega su efecto de depuración a partir de una temperatura de 300 °C aproximadamente y requiere un cierto tiempo para alcanzar su temperatura de servicio después del arranque en frío.

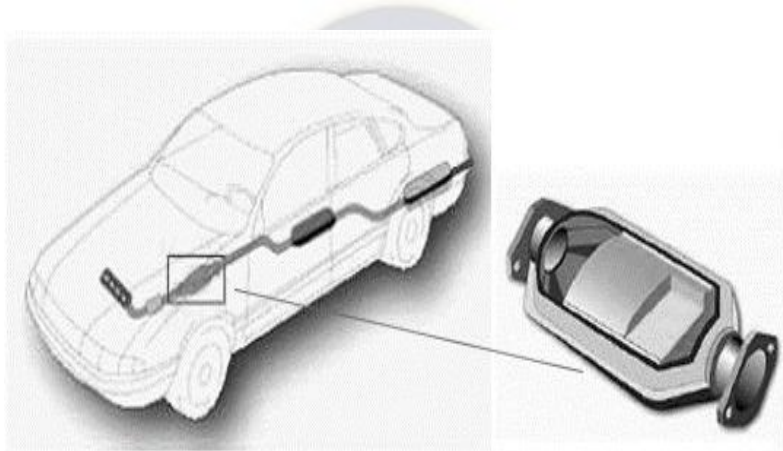


Figura 3.8: Localización del Catalizador en un Vehículo

Fuente: Guía Automotriz

El catalizador está constituido por una carcasa de acero inoxidable que contiene en su interior las sustancias catalizadoras. Sustancias químicamente activas, soportadas por un monolito (colmena cerámica) recubierta por una capa amortiguadora que la protege de golpes. Esta colmena está formada por millares de minúsculos canales (celdas) por donde pasan los gases de escape. La capa soporte del catalizador incluye una serie de sustancias activas como óxidos de aluminio, metales nobles (catalíticamente activos): Platino, Rodio, Paladio, y promotores o retardadores específicos, que aumentan o retardan la acción catalítica de los anteriores, sobre determinadas reacciones. La depuración catalítica se basa en dos reacciones químicas:

- Reducción: extracción de oxígeno de los componentes de los gases de escape.
- Oxidación: adición de oxígeno a los componentes de los gases de escape (recombustión).

3.7.2. Tipos de Catalizadores

Según el sistema de funcionamiento, los catalizadores pueden ser de tres tipos:

3.7.2.1. Catalizador Oxidante

Es el catalizador más sencillo y barato este dispone de un soporte cerámico que permite la oxidación del monóxido de carbono (CO) y de los hidrocarburos (HC). En la figura 3.9 se muestra un catalizador oxidante con gestión electrónica en donde el óxido de nitrógeno (NO_x) no se ve afectado de ello se encarga el sistema EGR.

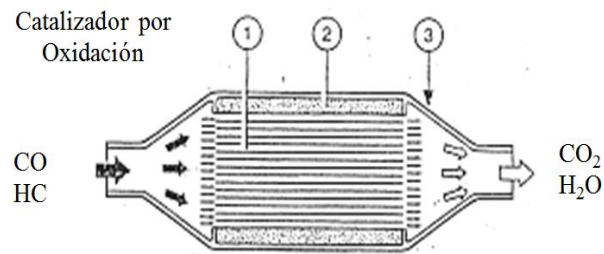


Figura 3.9: Catalizador de Dos Vías

Fuente: Guía Automotriz

Estos catalizadores están constituidos:

- De un monolito cerámico (1) en forma de nido de abeja. Sobre las paredes de este panel se deposita la sustancia que contiene metales preciosos (esencialmente platino).
- De una malla metálica (2) que permite la sujeción del monolito en su coquilla.
- De una envoltura (3) que incluye los conos de entrada y salida que permiten optimizar la repartición del flujo de los gases de escape.

3.7.2.2. Catalizador de dos Vías

Llamado también catalizador de “bucle abierto”, solamente existe en vehículos de fabricación americana. También llamados de “doble efecto”, o de “doble cuerpo”, son en realidad un doble catalizador con toma intermedia de aire. El primer cuerpo actúa sobre los gases ricos, reduciendo el óxido de nitrógeno (NO_x), mientras el segundo lo hace sobre los gases empobrecidos

gracias a la toma intermedia de aire, reduciendo el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC). El catalizador con toma intermedia de aire, tiene dos modos de funcionamiento. (Madeleine D. 2018, Scribd: Catalizador. Recuperado de: <http://www.scribd.com>)

- Cuando el motor está frío: la alimentación del mismo se hace con una mezcla rica de combustible. Los gases de escape son entonces ricos en gasolina no quemada o parcialmente quemada (HC y CO). En esta condición la válvula envía aire al colector de escape para ayudar a completar la combustión de estos contaminantes. El oxígeno del aire adicional contribuye a que el HC se convierta en H_2O y CO_2 . De esta manera evita que el convertidor catalítico se sobrecargue.
- Cuando el motor se calienta: el interruptor de vacío es sensible a la temperatura del refrigerante motor y cierra el paso del vacío a la válvula de control de aire. En consecuencia, se inyecta aire en la toma intermedia del catalizador para reducir los monóxidos de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC).

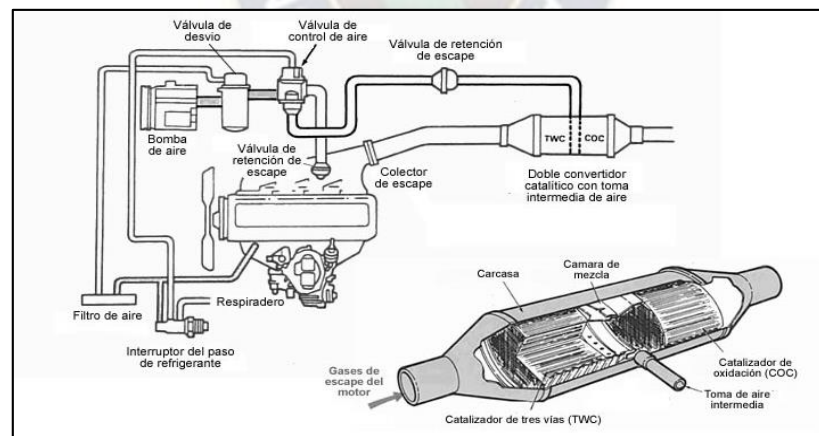


Figura 3.10: Esquema de un Catalizador con toma Intermedia de Aire

Fuente: Mecánica Virtual

El convertidor anterior está revestido con los metales rodio y platino. La combinación actúa sobre los NO_x , y parcialmente sobre el HC y el CO. Los gases de escape parcialmente tratados entran después en el convertidor posterior. Entonces se mezclan con el aire que es inyectado por

la bomba de aire a través de la toma intermedia. De esta manera se añade más oxígeno a los gases de escape para que el catalizador de oxidación actúe sobre los HC y CO.

3.7.2.3. Catalizador de Tres Vías

También llamado de "bucle cerrado", son los más complejos, sofisticados y caros (siendo en la actualidad los más usados), y su evolución tecnológica ha desbancado a los catalizadores llamados de doble cuerpo en los que la oxidación de los gases contaminantes era incompleta. Los catalizadores de este tipo se llaman de "tres vías", porque en ellos se reducen simultáneamente los tres elementos nocivos más importantes: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxido de nitrógeno (NO_x).

Su mayor eficacia depende de la mezcla de los gases de admisión. Para que funcione perfectamente los catalizadores de tres vías, es preciso que la mezcla aire-gasolina tenga la adecuada composición que se acerque lo más posible a la relación estequiométrica (un kilogramo de gasolina por 14,7 kilogramos de aire). Por ello necesario un dispositivo que controle la composición de la mezcla como lo es la "sonda lambda", que efectúa correcciones constantes sobre la mezcla inicial de aire y combustible, según el valor de cantidad de oxígeno que hay en los gases de escape antes de pasar por el catalizador.

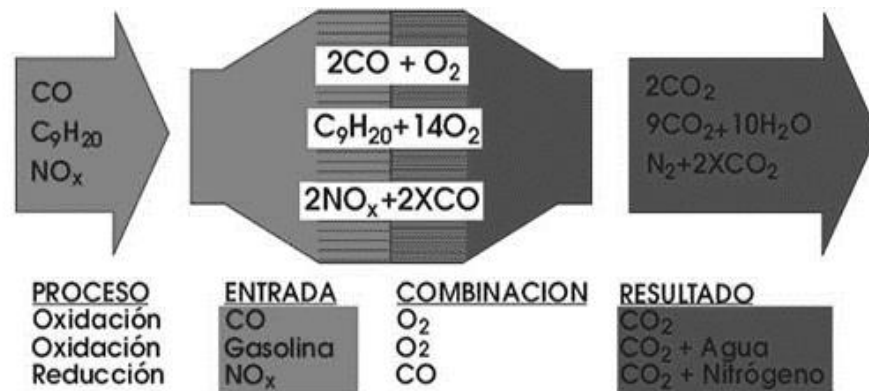


Figura 3.11: *Proceso químico que produce un catalizador de Tres Vías*
Fuente: Mecánica Virtual

Distinguimos entre catalizador regulado y catalizador no regulado, pero en ambos se producen los mismos procesos químicos. En el interior del catalizador se encuentran los metales preciosos platino, rodio y paladio. En cuanto se mezclan con los gases contaminantes monóxido de carbono, hidrocarburo y óxido nítrico, sufren una transformación inmediata. Los catalizadores regulados modernos logran una reducción de los gases contaminantes superior al 95 %. (Josué G.A. 2018, Taringa: Convertidor Catalítico. Recuperado de: <http://www.taringa.net>)

3.7.2.3.1. Catalizador Regulado

A fin de que el catalizador de tres vías pueda convertir la máxima cantidad de gases contaminantes, es necesario una proporción especial de aire y combustible en el motor: 14,7 kg de aire por 1 kg de gasolina. Aquí entra en juego la sonda Lambda, que crea con la unidad de control del motor un circuito regulador que garantiza que siempre se quemé la mezcla en esta proporción. Por ello se habla de un catalizador con regulación Lambda, es decir, con un catalizador regulado.

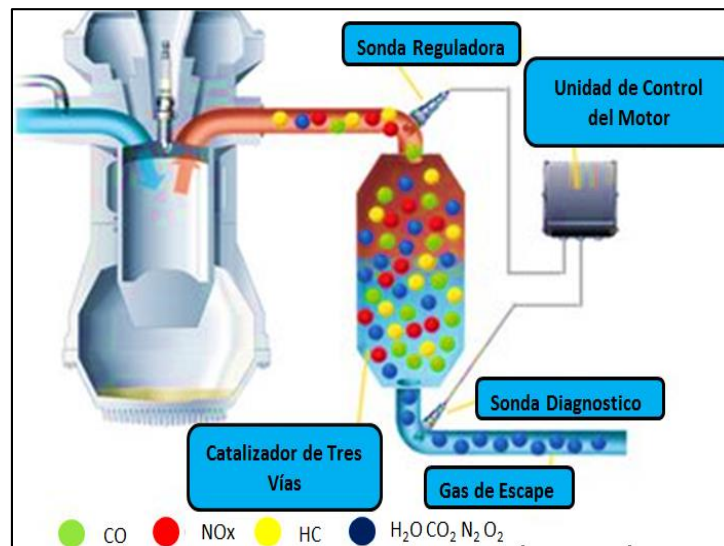


Figura 3.12: *Catalizador de Tres Vías Regulado*
Fuente: Tenneco Inc. Understanding Catalytic Converter

3.7.2.3.2. Catalizador No Regulado

A principios de los años ochenta todavía se utilizaban catalizadores no regulados que no eran tan eficaces y constantes como los regulados, porque el motor cada vez se aleja con más

frecuencia de la proporción ideal de aire y combustible. En un catalizador no regulado no hay ningún circuito regulador ni unidad de control del motor que garantice en todo momento una mezcla constante de aire y combustible. (TekniWiki: Catalizador, 2014. Recuperado de: <http://www.tekniwiki.com>)

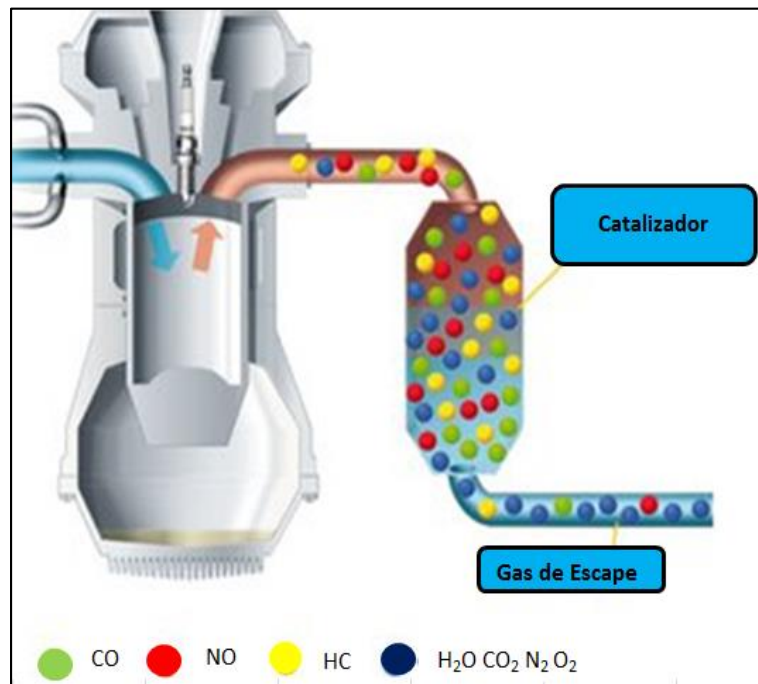


Figura 3.13: *Catalizador de Tres Vías No Regulado*
Fuente: Tenneco Inc. Understanding Catalytic Converter

3.8. Las Dos Opciones para Cumplir con la EURO IV

Las principales tecnologías que la normativa Euro IV requiere para reducir las emisiones básicamente son dos sistemas: Reducción Catalítica Selectiva (SCR) y Recirculación de los Gases de Escape (EGR). El SCR es un pos-tratamiento de los gases de escape mediante la inyección de un aditivo, produciéndose una reacción dentro del catalizador que neutraliza la generación de NO_x. En el caso del EGR la reducción de emisiones se realiza por recirculación de los gases de escape introduciendo los mismos en la admisión trabajando con un filtro de partículas para disminuir el material particulado. (Cristóbal B. 2017, Yara: SCR Technology. Recuperado de: <http://www.yara.com>)

Una de ellas es la tecnología de recirculación de los gases de escape, también conocida como EGR. En ella, una parte de los gases de escape (antes de llegar al catalizador) son reintroducidos en las cámaras de combustión. Claro que antes pasan por un radiador donde se enfrían los gases.

De acuerdo con expertos, el sistema reduce drásticamente los niveles de emisiones de óxido nítrico, pero aumenta las emisiones de partículas por lo que trabaja necesariamente con un filtro de partículas. La tecnología EGR compite directamente con el sistema de reducción catalítica selectiva, que se denomina bajo las siglas SCR que busca optimizar el período de inyección de combustible, para que se queme más eficientemente y así se reduzcan radicalmente las partículas.

En tanto, los óxidos de nitrógeno que salen del motor hacia el escape son mezclados con una solución basada en úrea y que se conoce comercialmente como AdBlue. Este líquido transforma los óxidos nítricos en agua y nitrógeno, que son inocuos. Para finalizar el proceso, los gases resultantes del escape pasan por un convertidor catalítico. Una debilidad del SCR con respecto al EGR es que necesita de un elemento externo para poder funcionar, el depósito de úrea.

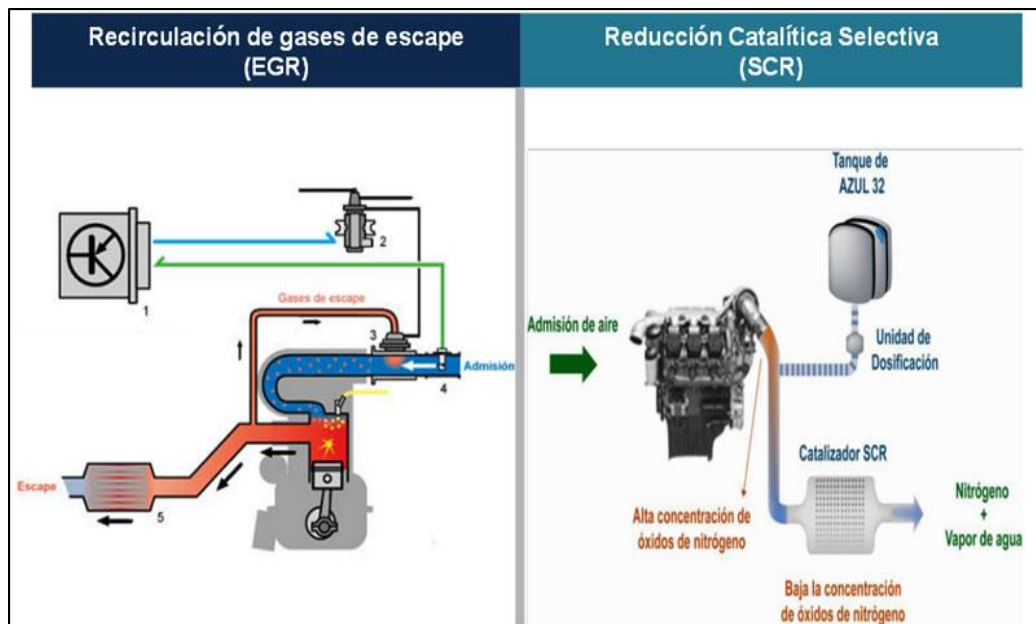


Figura 3.14: *Tecnologías en Emisión de Gases*
Fuente: Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A.

3.8.1. Recirculación de los Gases de Escape (EGR)

La válvula EGR se trata de un elemento anticontaminación que equipan los coches de las siglas EGR, acrónimo de Exhaust Gas Recirculation o Recirculación de Gases de Escape en castellano. La aplicación del EGR se da especialmente en Estados Unidos, donde las normas anticontaminación se vuelven más severas.

La función de la válvula EGR es recircular parte de los gases que salen por el escape hacia la admisión, es decir, reintroducir el humo de la combustión del motor en los cilindros para así reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x). La válvula EGR conecta los colectores de escape con los de admisión y su apertura depende de diversos parámetros que ahora conoceremos. La reducción de los óxidos de nitrógeno es provocada por el descenso de la temperatura en la cámara de combustión al recircular los gases de escape hacia ella.

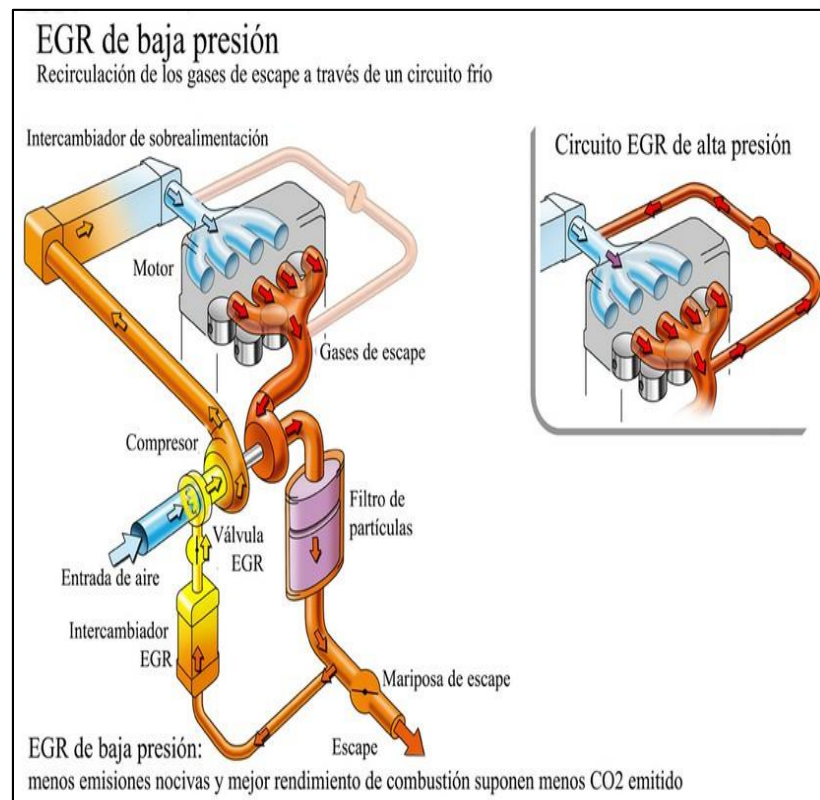


Figura 3.15: Tecnología de Recirculación de los Gases de Escape
Fuente: Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A.

En los motores más modernos, el funcionamiento de la EGR se rige por la señal de los sensores de temperatura del motor, régimen del motor y carga de aceleración. En función de estos la ECU (Unidad de Control del Motor) del coche comandará la EGR, abriéndola o cerrándola. Por norma general, las EGR están abiertas (metiendo gases quemados al motor) cuando circulamos con el motor caliente, a baja carga y a regímenes de motor bajos.

Si se cumplen los parámetros para la apertura de la EGR, veremos que esta se acciona de dos formas, según su naturaleza. Puede ser por un actuador de vacío o por un actuador eléctrico. Las segundas son las más eficaces y las que ahora equipan casi todos los vehículos, ya que permiten controlar mejor el grado de apertura de la válvula. Algunos vehículos equipan válvulas EGR refrigeradas por un intercambiador de calor que utiliza el refrigerante del motor. De esta forma, se reduce la temperatura de los gases a la hora de introducirlos en los cilindros y la producción de emisiones de NO_x es todavía menor.

Cuando la válvula EGR está abierta en la cámara de combustión se mezclan los gases recirculados con los gases frescos de la admisión. En este caso los segundos son menores que si la válvula estuviese cerrada y por tanto en las explosiones se genera menos calor, de ahí la reducción de las emisiones de NO_x . Como no es difícil intuir, el funcionamiento la válvula EGR resta potencia al motor. Cuanto más frío sea el aire que entra al motor y más oxígeno tenga, más potencia tendrán las explosiones y, por tanto, mejor será el rendimiento del vehículo. Por ese motivo, cuando demandamos mucha aceleración, la EGR permanece cerrada.

Las averías en la EGR son relativamente comunes, especialmente en motores diésel que en los de gasolina ya que estos generan más carbonilla, y esa carbonilla se va adhiriendo a las paredes de la EGR e incluso a los colectores de admisión, haciendo que su diámetro disminuya y que no se tenga una buena circulación.

Cuando la acumulación de carbonilla en la EGR es excesiva, puede darse el caso de que esta se quede atascada o de que no responda bien a los comandos de la ECU, ya que la suciedad puede hacer que no abra o cierre del todo. Además de que se nos encienda en el cuadro la pertinente luz de avería, puede dar lugar, especialmente si queda abierta, a una pérdida de potencia en el motor, tirones o dificultad de arranque en frío, además de mayor emisión de humos.



Figura 3.16: *Acumulación de Carbonilla en EGR*

Fuente: Mecánica Virtual

Si la EGR queda cerrada, el principal problema será que no cumplirá su función de disminuir la contaminación, pero es posible que el coche nos avise del fallo y no funcione de forma adecuada. Es así que cuando los sistemas anticontaminación no funcionan adecuadamente, el coche entra en modo protección o avería, limitando el régimen del motor o la velocidad.

También puede darse el caso de que las EGR accionadas por vacío fallen si no hay problemas para crear la depresión necesaria para accionarla o que las válvulas EGR eléctricas puedan tener fallos internos, aunque suele ser menos común.

La circulación a muy bajas revoluciones y en marchas largas forzamos la mecánica y hacemos trabajar a la EGR, por lo que, de conducir así siempre estaremos continuamente recirculando gases de escape que también obstruirán los conductos del motor. Especialmente la

circulación en ciudad es la que más problema puede causar a las válvulas EGR y a los filtros de partículas, sobre todo en el diésel, aunque los vehículos a gasolina no están completamente excluidos de ello. (Christian M.L. 2015, Estudio de los Efectos de Apertura de la Válvula EGR. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.)



Figura 3.17: *Válvula EGR de Accionamiento neumático Anulada*

Fuente: Mecánica Virtual

Las válvulas EGR neumáticas pueden anularse quitando la entrada de vacío o tapándola como se muestra en la figura 3.17 y las electrónicas quitando el conector eléctrico o interponiendo una chapa entre la EGR y el conducto que va a la admisión, ante este problema es que actualmente los coches tienen tecnología que detecten la ausencia de caudal de aire proveniente de la EGR, pasando a funcionar el vehículo en modo degradado.

Las anomalías más habituales del sistema EGR son las siguientes:

- Defectos en la válvula mecánica o eléctrica del sistema EGR a consecuencia del atascamiento que se produce debido a la acumulación de carbonilla.
- Dado que la cartografía de la unidad de control motor tiene en cuenta la disminución de la cantidad de entrada de aire en el motor durante las fases de recirculación, el funcionamiento defectuoso de la válvula EGR provoca una divergencia entre los parámetros de masa de aire

obtenidos y los especificados con el consiguiente registro de códigos de avería que hacen referencia a un defecto funcional en el medidor de masa de aire.

- Los problemas derivados de una excesiva contrapresión de escape, causados por un atascamiento del catalizador o del filtro de partículas, pueden provocar un caudal de gases recirculados excesivo, lo que es detectado por el medidor de masa de aire.
- En los sistemas de accionamiento eléctrico de la EGR se han registrado anomalías en la instalación eléctrica, en unos casos debido a defectos de continuidad y aislamiento del cableado, y en otros debido a las caídas de tensión provocadas por una resistencia de contacto el conexionado.

Ventajas

- No se necesitan agentes de servicio adicionales (aditivo reductor).
- No se plantean requisitos especiales a la infraestructura de las gasolineras.

Inconvenientes

- Nuevos componentes, muy sofisticados.
- Al aumentar la tasa de recirculación:
 - Aumenta la masa de hollín.
 - Aumenta la potencia de refrigeración
- Incremento del consumo.
- El funcionamiento depende de la calidad del combustible.
- Utilización limitada (no es apta para Euro V).

3.8.2. La Reducción Catalítica Selectiva (SCR)

En el sistema SCR transforma los óxidos nitrosos e nitrógeno gaseoso y vapor de agua, mediante un aditivo dentro del catalizador del vehículo. Los otros componentes como el material

particulado, monóxido de carbono e hidrocarburos son minimizados por el propio motor controlando las condiciones de inyección.

La tecnología de reducción catalítica selectiva (SCR) reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) mediante el uso de un catalizador. La tecnología SCR ofrece una reducción de hasta un 95% de NO_x en el proceso de combustión y permite, por tanto, cumplir futuras legislaciones más estrictas.

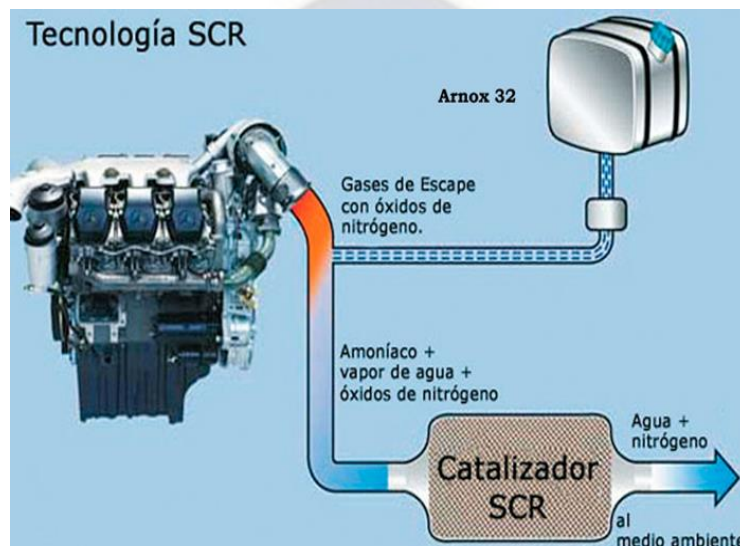


Figura 3.18: *Tecnología de Reducción Catalítica Selectiva*
Fuente: Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A.

Esta tecnología fue patentada en los Estados Unidos en 1957 y se implementó tradicionalmente en grandes calderas industriales y en plantas incineradoras de residuos. Más recientemente se ha aplicado a motores de gasolina y diésel con las siguientes características:

- La temperatura de los gases de combustión en el punto de inyección es mucho menor. Idealmente, la temperatura de aplicación debe ser aproximadamente de 350°C .
- El catalizador favorece las reacciones de reducción de NO_x con el agente reductor elegido (amoníaco anhidro, disolución amoniacal o disolución de urea) para producir nitrógeno y agua, limitando de esta manera las reacciones colaterales. Los resultados de reducción están garantizados hasta en un 95%.

El uso del SCR en vehículos se lleva a cabo de forma combinada con un catalizador de oxidación tradicional donde los hidrocarburos sin quemar y el monóxido de carbono se transforman en dióxido de carbono y agua. Tras salir de este catalizador atraviesan un filtro donde las partículas de carbono quedan atrapadas para su posterior eliminación (cuando el filtro está lleno, se produce su incineración).

El SCR actúa entonces sobre los gases sobrantes del primer proceso para eliminar los óxidos de nitrógeno (NO_x) y trajo consigo el AdBlue que es producto químico (disolución de urea) de origen sintético que permite reducir el nivel de emisiones de los vehículos. Este producto, dotado de una pureza extraordinaria, cumple con la norma europea y posee el más exigente control de calidad, lo que le permite reducir el nivel de emisiones contaminantes que producen los vehículos de gasolina y aumentar la protección en el catalizador del vehículo, así el AdBlue que en contacto con los gases calientes libera amoníaco, sustancia que ayuda a que se produzca la reacción en el catalizador, transformando los óxidos de nitrógeno en nitrógeno libre y agua en los motores.

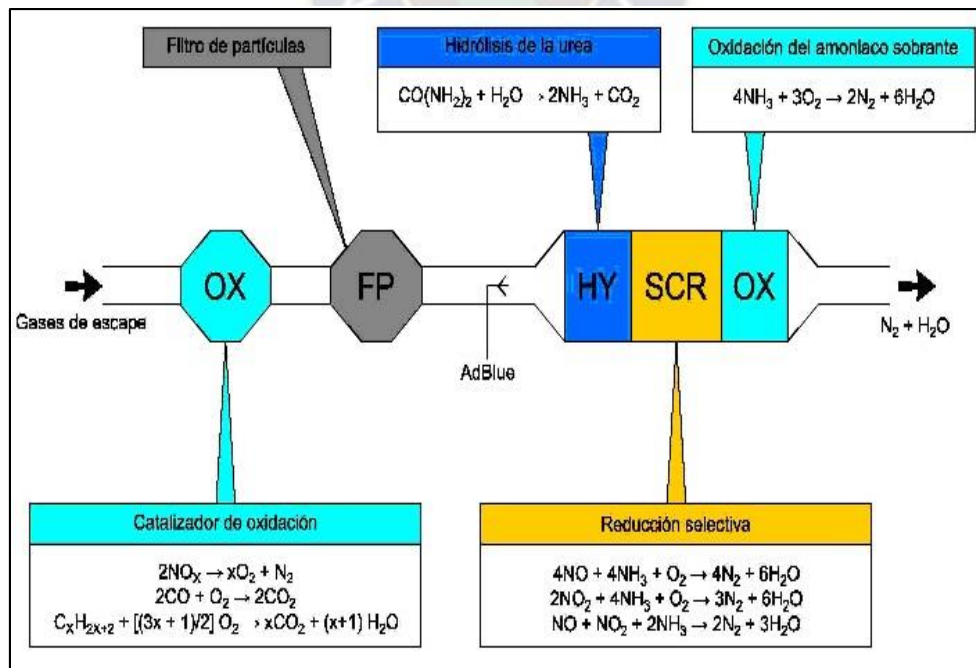


Figura 3.19: Proceso químico de Reacción con el AdBlue

Fuente: Mecánica Virtual

La aplicación de la tecnología SCR, requiere la elección de un reactivo esencial para el rendimiento óptimo del tratamiento del NO_x.

- La calidad del agente reductor es importante porque el contenido contaminante o el envenenamiento del catalizador deben ser mínimos. El fabricante del catalizador requiere que el reactivo tenga unas especificaciones que deben respetarse para optimizar la vida útil del catalizador y garantizar que supera la validez de la garantía.
- Al usar el sistema SCR, es muy importante evitar el uso de reactivo contaminado. Un reactivo contaminado puede desactivar el catalizador y, por tanto, es importante asegurarse de usar un reactivo de buena calidad con un suministro y almacenamiento correctos. Los catalizadores desactivados pueden dar lugar a la sustitución precoz y costosa del sistema SCR que reduce el NO_x (óxidos de nitrógeno).

Debe añadir entre un 4% y un 5% de AdBlue, dependiendo si se trata de la normativa Euro IV o Euro V respectivamente.

Aunque el término AdBlue, registrado por la Asociación Alemana de la Industria del Automóvil, es actualmente el nombre común por el que se conoce este producto en Europa, en el resto del mundo se emplean otros nombres como DEF en Norteamérica o ARLA 32 en Brasil.

El AdBlue es una disolución de urea al 32,5% en agua desmineralizada regulada por la norma ISO 22241. Es de color claro, no es tóxico y es seguro de manipular. No es un producto explosivo, ni inflamable ni nocivo para el medio ambiente. El AdBlue está clasificado en la categoría de menor riesgo de fluidos transportables. No es combustible, ni se mezcla con él, sino que va almacenado en un depósito exclusivo en el chasis de su vehículo. No obstante, puede resultar corrosivo para algunos metales para su transporte y almacenamiento. (Ileana D.L. 2004, Eliminación Catalítica de Óxidos de Nitrógeno. Universidad Nacional de la Plata)

3.8.2.1. Almacenamiento, Consumo y Mantenimiento del AdBlue

El AdBlue se almacena en uno o dos depósitos (en función del modelo) adicionales al depósito convencional de combustible, que no ve alterada su capacidad. Los depósitos de AdBlue se cargan en el servicio oficial coincidiendo con las operaciones de mantenimiento programadas, de la misma forma que ocurre con el aceite del motor.

Cuando la cantidad de AdBlue desciende por debajo de un nivel específico, el conductor recibe una serie de avisos en el cuadro de instrumentos, con una primera indicación cuando queda agente reductor para 2.400 kilómetros.

Inconvenientes

- Requiere el uso adicional de un aditivo reductor, denominado AdBlue.
- Se precisa una infraestructura para el suministro de AdBlue a los vehículos.

Ventajas

- Se conservan las prestaciones, la fiabilidad y la duración de los motores de gasolina y diésel.
- Funciona con independencia de la calidad del combustible.
- Tiene una rentabilidad a largo plazo ya que favorece la implementación de las recientes normas medioambientales como la Euro V.

3.8.2.2. Funcionamiento del Sistema de Reducción Catalítica

Tras la puesta en funcionamiento del motor, el catalizador de NO_x alcanza su temperatura de funcionamiento a partir de los 180°C , esta información es transmitida por el sensor de temperatura de los gases de escape en el catalizador de NO_x , la unidad de control del motor autoriza la inyección del agente reductor AdBlue.

El agente reductor AdBlue se suministra de forma continua al catalizador de NO_x , para ello el inyector del agente reductor es alimentado por la Modulación por Ancho de Pulso (PWM), el

tiempo que permanece el inyector abierto depende de la concentración de amoniaco en el catalizador resultante de la reacción de la urea, con el fin de garantizar una mezcla homogénea del agente reductor se interpone un mezclador.

Está compuesto principalmente por las siguientes partes:

1. Sensores para la medición de la temperatura antes y después del catalizador de oxidación, filtro de partículas (DPF) y catalizador NO_x.
2. Sensores de NO_x antes del catalizador de oxidación y después del catalizador de NO_x.
3. Deposito AdBlue.
4. Bomba AdBlue.
5. Inyector de AdBlue.
6. Catalizador de NO_x.

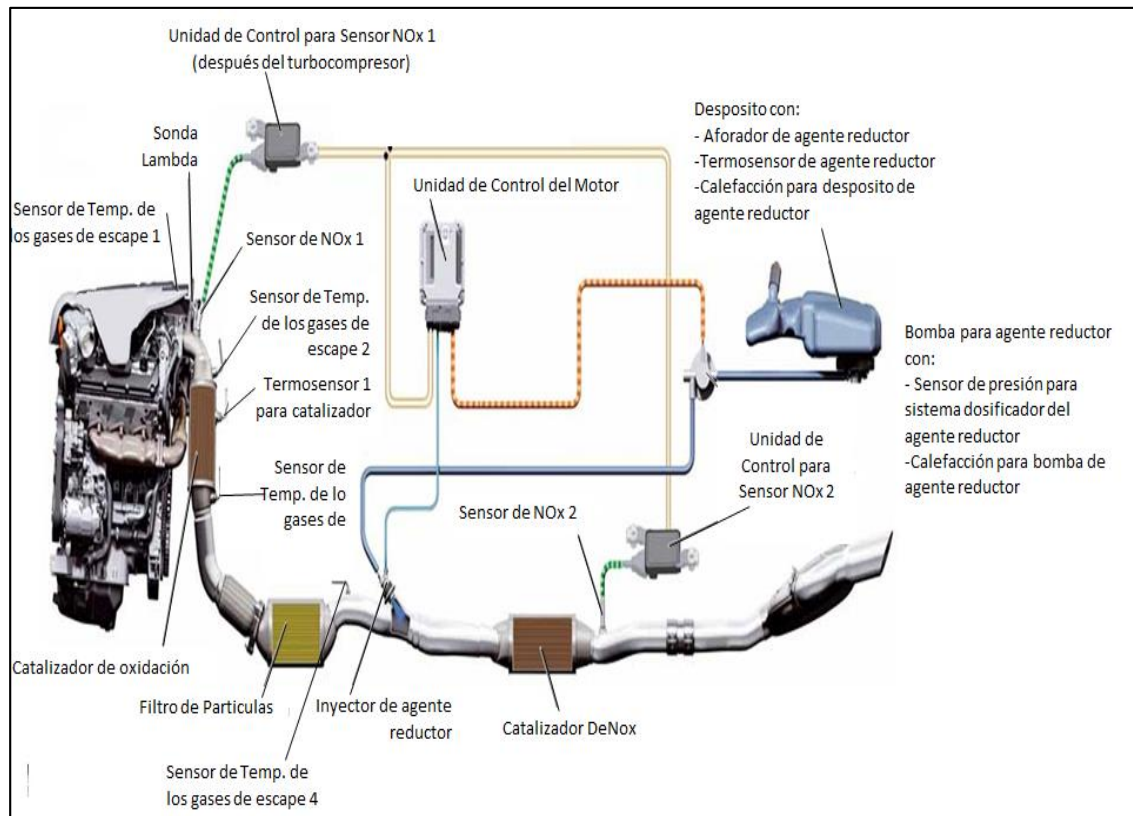
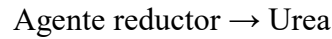
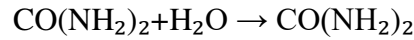


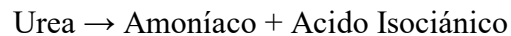
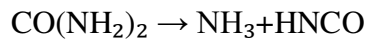
Figura 3.20: *Funcionamiento del Sistema de Reducción Catalítica*

Fuente: Mecánica Virtual

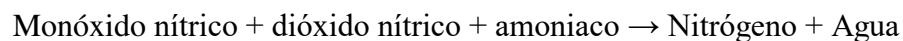
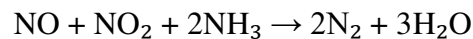
Al inyectarse al agente reductor en los gases de escape los cuales se encuentran calientes provocan la evaporación del agua que contiene:



La urea se disgrega en ácido isociánico y amoníaco como resultado de un proceso llamado termólisis (reacción química, con motivo de la cual una sustancia inicial es disgregada por calor, descomponiéndose en varias sustancias)



El ácido isociánico puede ser transformado en dióxido de carbono y en una molécula más de amoníaco por hidrolisis (disociación de una combinación química por medio de agua) al entrar en contacto con superficies calientes. El amoníaco se acumula en el catalizador de NO_x y reacciona con el monóxido nítrico (NO) y con el dióxido nítrico (NO_2) procedente de los gases de escape, transformándose en nitrógeno (N_2) y agua (H_2O):



3.8.3. Combinación del EGR y SCR

Las fábricas han optado por una de estas dos tecnologías, siendo el SCR la más utilizada, claro que algunas compañías, han optado por utilizar los dos sistemas, tanto el EGR como el SCR como se muestra en la figura 3.21.

Luego de que el EGR concreta su función, el SCR (reducción catalítica selectiva) entra en acción, siempre hablando de motores Euro V y VI. En esta etapa, los gases de escape que no son reutilizados continúan su camino hacia el catalizador, y antes de su ingreso reciben una inyección

de urea (AdBlue), que los convierte en vapor de oxígeno con el fin de generar una menor contaminación una vez expulsado al medioambiente, aunque la implementación de ambas tecnológicas es más costosa y requieren de un mantenimiento más frecuente para poder garantizar un buen funcionamiento. (J. Martin 2019, Motor Pasión: Catalizador de Reducción Catalítica. Recuperado de: <http://www.motorpasion.com>)

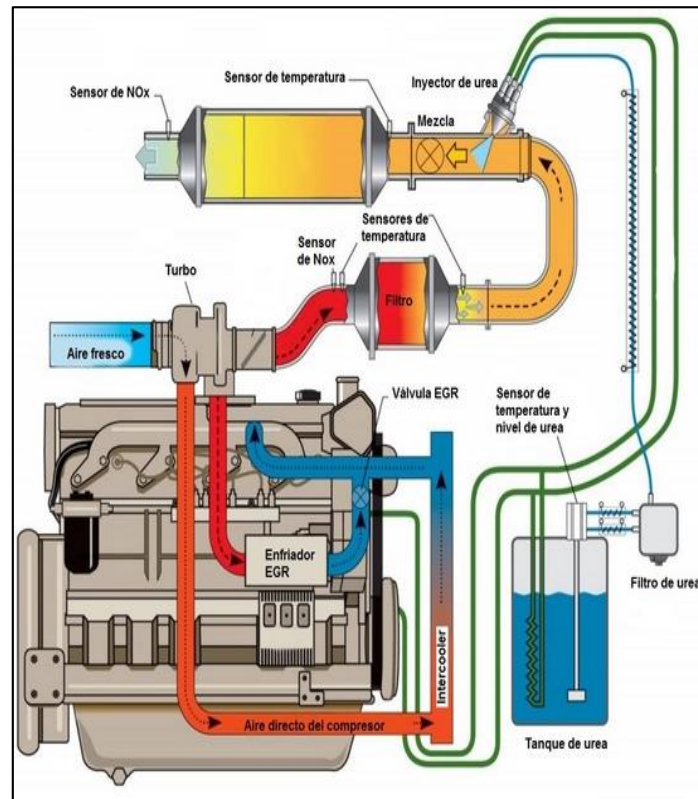


Figura 3.21: *Funcionamiento del Sistema EGR y SCR*
Fuente: Mecánica Virtual

3.9. Normativa Euro IV en Bolivia

En la actualidad la mayoría de los combustibles que produce Bolivia son según la normativa Euro II, por tanto, es necesario nuevas políticas para poder impulsar el desarrollo y mejoramiento de los combustibles para que Bolivia se encuentre entre los países menor contaminación al medio ambiente, introduciendo nuevas tecnologías al parque automotor que permiten la reducción de emisiones de gases y partículas producto de la combustión del diésel y gasolina.

Si bien en 2011 se propusieron ideas para poder mejorar el parque automotor y la calidad de los combustibles para cumplir las exigencias según normativa Euro IV, pero hubo un descuido por parte de las autoridades en ejercicio en 2016 plazo para poder producir la gasolina según las nuevas exigencias, no se cumplió quedando otra vez sin aplicación la transición hacia la Normativa.

Ahora en el tema ambiental la regulación de las emisiones vehiculares permitiría la reducción de contaminación y cuidado al medio ambiente, en el caso del monóxido de carbono (CO) se tiene un descenso del 54%, óxido de nitrógeno (NO_x) en un 46% y una disminución del 75% en hidrocarburos y óxidos de nitrógeno cada uno.

Por tanto, la reducción de emisiones por fuentes móviles (vehículos) es posible a través del mejoramiento de la calidad de combustibles, estas vienen acompañadas de ciertas medidas descritas a continuación:

- Reestructuración del impuesto al parque automotor tomando como base el índice de nocividad relativa a los combustibles.
- Retiro de unidades obsoletas.
- Incremento del precio del combustible para los que cumplan la normativa Euro IV.
- Implementación de los Centros de Inspección Técnica Vehicular para verificar la emisión que producen los vehículos.
- Monitoreo de Calidad del Aire en cada departamento.
- Estudios de Impacto Ambiental provocados por el parque automotor.

3.9.1. Posición de Bolivia en la Región

Bolivia a nivel de Sudamérica está en situación desventajosa, países como Chile, Brasil, Argentina y Colombia cuentan con normas más avanzadas como Euro IV y Euro V y en Europa ya se ha implementado Euro VI. Esto hace crítica la situación actual en la que se encuentra el país

con la Euro II, pues la tendencia mundial de los fabricantes es ya no producir vehículos con estas características por la reducción del mercado.

De esta manera, Bolivia no colabora al medio ambiente producto de los combustibles que produce y que hasta el momento no se han tomado medidas respecto a ello, como ya lo hicieron los países vecinos detallados a continuación:

Tabla 3.5: *Aplicación de Emisiones Euro en diferentes países de la Región*

PAÍS	NORMA				
	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI
Chile				✓	
Colombia			✓		
Argentina				✓	
Brasil				✓	
Perú		✓			
Uruguay		✓			
Ecuador	✓				
Bolivia	✓				

Fuente: Climate and Clear Air Coalitin

Por lo tanto, hay que analizar dos aspectos muy importantes en Bolivia para aplicar la Normativa Euro IV por un lado el parque automotor que está relacionado con el crecimiento que tiene anualmente que funcionan con gasolina especial, y por otro lado la producción de la gasolina especial en las refinerías que está en función de la magnitud del mercado que se pretende cubrir.

3.9.2. La Euro IV en el Parque Automotor

Las normas para el parque automotor se establecen por dos aspectos fundamentales: seguridad y protección ambiental, vinculada a la salud de las personas. La tendencia mundial es reducir los accidentes automovilísticos y la contaminación proveniente de los vehículos, ya que ambos, son las principales causas de muertes en el mundo.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en un informe publicado el año 2016, señala que 8 millones de personas murieron como consecuencia a la exposición a la contaminación atmosférica (uno de cada ocho casos del total de muertes en el mundo).

La aplicación de esta norma en el parque automotor de Bolivia debe ser gradual ya que esto implica una gran inversión tanto en las refinerías y el parque automotor. Aunque la introducción de nuevas tecnologías y cambios en general suele generar resistencias iniciales es necesario poner fechas límites para la transición a la nueva normativa. (Ambiente en Acción. 2016, Euro IV. Ministerio de Ambiente del Perú)

3.9.3. Crecimiento del Parque Automotor en Bolivia

El parque automotor ha ido creciendo en los últimos 10 años, justamente a raíz de este crecimiento si no se tomaran las medidas de introducción de mejores tecnologías vehiculares, las emisiones se incrementarían y la calidad del aire se deteriorara dramáticamente, sin embargo la calidad del aire mejoraría en relación a las sustancias que emiten los vehículos, por la puesta en marcha de nuevas políticas de mejora en los carburantes y el parque automotor, en la figura 24 se muestra la evolución que tiene el parque automotor en Bolivia con relación al crecimiento del parque automotor que solo consume gasolina especial.

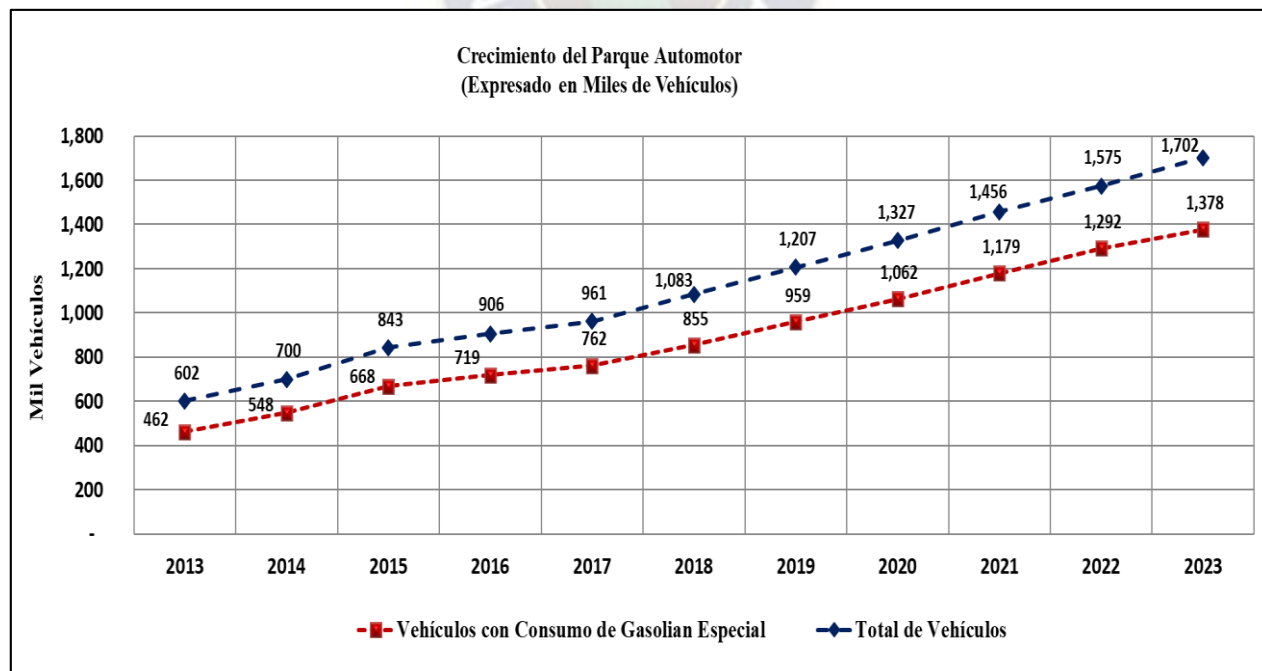


Figura 3.22: Crecimiento del Parque Automotor en Bolivia

Fuente: Instituto Nacional de Estadística

Como se podrá apreciar el crecimiento que tiene el parque automotor por año en promedio es del 9%, así también del total de vehículos que circulan en el territorio nacional el 80 % funciona con gasolina especial, por tal motivo es necesario adecuar los mismos a las nuevas exigencias de contaminación ambiental.

Por otra parte, es importante conocer la edad que tiene el parque automotor ya que muchos vehículos ya han vencido su límite de vida, pero aun así siguen circulando y estos son los que más contaminan el medio ambiente, como se observa en la siguiente figura:

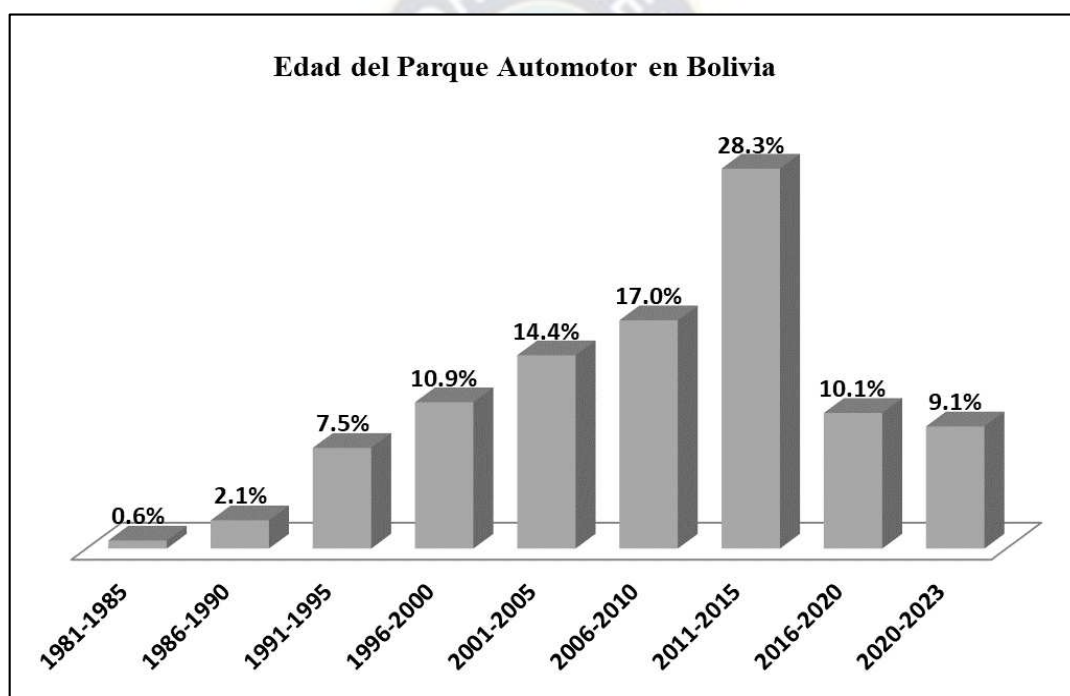


Figura 3.23: *Distribución por Edad del Parque Automotor*
Fuente: Instituto Nacional de Estadística

Como se puede observar en la figura 3.23 cerca del 80% del parque automotor que circula dentro del territorio nacional tiene una antigüedad de más de diez años, así también los vehículos que más circulan dentro del territorio son: transporte público con un 44%, particulares con un 49.2%, micros y buses con un 3.9% y le siguen las motocicletas.

Por otra parte, es importante conocer las fuentes de contaminación al medio ambiente y como estas se clasifican, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.6: Distribución de la Contaminación por el Tipo de Fuente y Contaminante

Tipo de Fuente	Emisiones Anuales (Mg/año)							
	PM	SOx	CO	NOx	NH ₃	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
Fuentes Fijas	65,3	0,4	16,6	4,6	0,0	0,1	0,2	5.302,4
Fuentes Aéreas	499,0	5,9	2.365,54	230,1	556,7	11.719,6	9,8	245.558,5
Fuentes Móviles	6.296,4	1,8	77.737,1	2.626,9	91,9	23.283,5	12,8	523.749,1
Total	6.860,7	8,2	77.753,7	2.861,6	648,6	35.003,2	22,8	774.610,0

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Como se puede apreciar de las tres fuentes de contaminación al medio ambiente las fuentes móviles son las más altas, representando el 71% del total, en donde las emisiones de CO, NOx, NO₂, CH₄, PM son agentes nocivos que se pretenden reducir con el mejoramiento de la producción de la gasolina especial y el cambio del parque automotor.

Para un mejor análisis del efecto que provocan la contaminación de las fuentes móviles con respecto a las fuentes aéreas y fijas se presenta la siguiente figura:

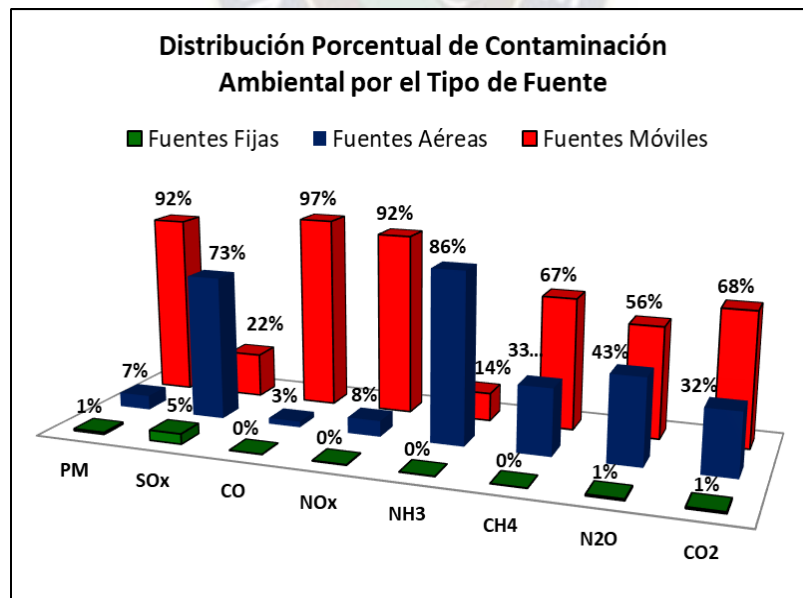


Figura 3.24: Distribución porcentual de la Contaminación por el Tipo de Fuente y Contaminante

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Ahora mostraremos como reduciría esta emisión de agentes nocivos producidos por la combustión de los vehículos hacia la atmosfera si la producción de la gasolina especial cumpliera con la normativa Euro IV, además es importante el control por sistemas de medición especializados, a continuación, mostramos como reduciría estas emisiones si todo el parque automotor que funciona con gasolina especial cumpliera con las especificaciones adecuadas según normativa europea.

Tabla 3.7: *Reducción de los Niveles de Contaminación*

Norma	Emisiones Anuales de Fuentes Móviles (Mg/año)			
	CO	NO _x	CH ₄	N ₂ O
Euro II	77.737,1	2.626,9	23.283,5	12,8
Euro IV	44.154,7	1.366,0	10.803,5	6,7

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Como se puede observar la reducción de los distintos contaminantes como el CO, NO_x y HC están en función de la aplicación de la norma europea y el cambio del parque automotor, así de esta manera constituir a Bolivia en un país que respeta las exigencias ambientales internacionales con la producción de combustibles limpios y la importación de vehículos con la última tecnología proporcionadas al mercado. Por tanto, la aplicación de la Normativa Euro IV con la adición del oxigenante a la gasolina especial generara una mejor imagen del país en la región.

3.9.4. Producción de Gasolina Especial en Bolivia según Normativa Euro IV

En la actualidad Bolivia produce gasolina según normativa Euro IV pero esta es solo para el sector que consume Gasolina Premium, este representa una mínima parte con relación a los vehículos que consumen gasolina especial que representan el 80% del parque automotor, por lo que es necesario adecuar nuestro combustible ya que actualmente las refinerías siguen produciendo el mismo combustible con características Euro II.

3.9.5. Antecedentes de la Gasolina Especial en Bolivia

La gasolina especial que en la actualidad produce Bolivia no cumple con los estándares mínimos que exige la Euro IV, por lo cual se estipulo un tiempo para poder adecuar nuestra gasolina especial pero hubo una falta de coordinación, dejadez y olvido evitaron dar cumplimiento del mismo el 16 de agosto del año 2016, plazo de cinco años establecido por la Ley General de Transporte No 165 en 2011, para que Bolivia a partir de esa fecha pudiera implementar la norma medioambiental de emisiones atmosféricas para la importación de vehículos cero kilómetros con las nuevas tecnologías acorde a las normativas internacionales.

El Gobierno en coordinación con el Ministerio de Hidrocarburos, Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos y la Agencia Nacional de Hidrocarburos buscan adecuar las refinerías de Cochabamba y Santa Cruz, para producir combustibles bajo los parámetros exigidos por la norma Euro IV.

Así también la Cámara Automotor Boliviana (CAB), mostro su preocupación ante esta situación, ya que en ambos contextos se ha podido evidenciar dos dilemas. Por un lado, YPFB que debería adecuar sus refinerías para mejorar la calidad de la gasolina especial y por otro lado al sector importador-comercializador de vehículos, que ante esta situación apremiante arguye que sin combustibles de buena calidad los motorizados seguirán emitiendo la misma cantidad de gases nocivos para el medio ambiente.

El hecho es que la actual importación de vehículos cero kilómetros al país se hacen bajo la norma Euro II, cuando otros países como Chile, Argentina, Brasil, entre otros ya se encuentran bajo las exigencias Euro V.

Con respecto a la calidad del combustible, el principal cuestionamiento del sector automotriz radica en que la gasolina especial, que consume el 80% del parque automotor en

Bolivia tiene un bajo índice de octanaje de 85 cuando lo ideal es 95, como exige la normativa Euro IV. Pues contar con un vehículo de alto octanaje, no solo reduce los contaminantes que van a la atmósfera, sino también protege y alarga la vida del motor, mantiene limpias las partes importantes del propulsor, optimiza las prestaciones de los vehículos (potencia, velocidad).

Según YPF Refinación, el proceso de mejorar la calidad de los combustibles demandará al menos cuatro años de trabajo para implementar, cuya inversión implicará erogar aproximadamente inversiones millonarias.

El otro factor que implica por ahora una serie de inconvenientes tiene relación a que dicha inversión dentro los próximos años implicará realizar un gasto sin retorno y sin incidencia en un mayor incremento de la productividad.

3.9.6. Adecuación de la Gasolina Especial

El compromiso de Bolivia a nivel mundial es otra de las atenuantes que obliga al país desarrollar inversiones en las refinerías, como única alternativa para atenuar el impacto ambiental y con ella garantizar la importación de vehículos cero kilómetros que estén adecuados al combustible bajo norma Euro IV.

En este caso implementar una normativa al parque automotor mejoraría la calidad de medio ambiente, que es tan importante para la salud de la población. Además, en materia medioambiental Bolivia no se encuentra en una buena posición. No hay medidas concretas y este problema desnuda esa situación de falta de conciencia en las autoridades para motivar a la mejora del medio ambiente y la producción de combustibles de mejor calidad.

3.9.7. Refinería Gualberto Villarroel

Bolivia se caracteriza por ser un país gasífero por lo cual todo el petróleo que produce está destinado para las refinerías y su posterior tratamiento para la producciones de carburantes que

demanda el mercado interno, actualmente solo están en operación tres refinерías (Refinería Gualberto Villarroel, Refinería Oro Negro y Refinería Guillermo Elder Bell), las cuales producen gasolina especial según normativa Euro II, en la siguiente figura mostraremos el aporte porcentual de gasolina especial que cada refinерía ofrece al mercado interno

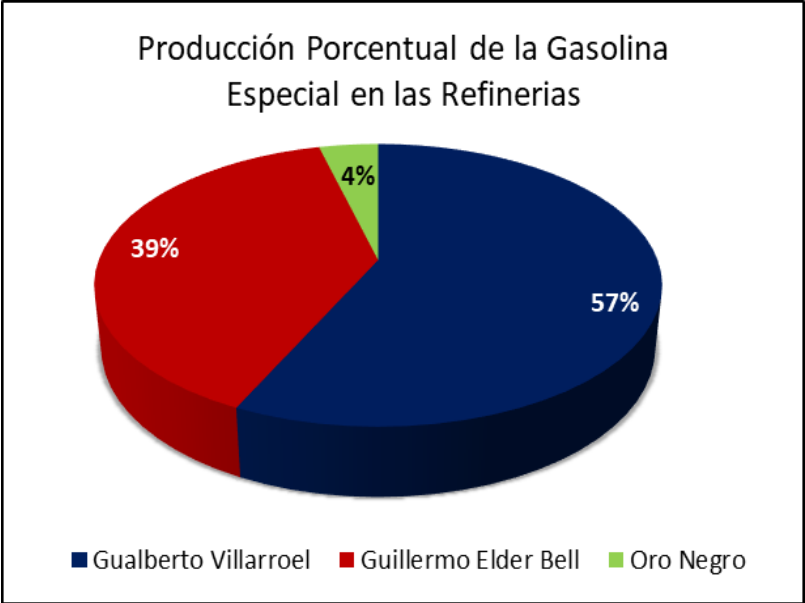


Figura 3.25: *Producción Porcentual de la Gasolina Especial en Bolivia*

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos

La Refinería Gualberto Villarroel es una de las más importantes en nuestro país pues la producción de gasolina especial representa el 57% de la producción total para la comercialización en el mercado interno ya que estos recursos son de servicio público y por lo tanto deben satisfacer en primera instancia la demanda interna.

La Refinería Gualberto Villarroel produce gas licuado de petróleo, gasolina de aviación, kerosene, diésel oíl y otros combustibles y lubricantes, en donde cerca del 45% de la producción de la refinерía es Gasolina Especial, esto producto de un análisis del rendimiento de que tiene la refinерía por cada barril del crudo que entra en esta, en la siguiente figura mostramos la proporción porcentual de producción de la refinерía.

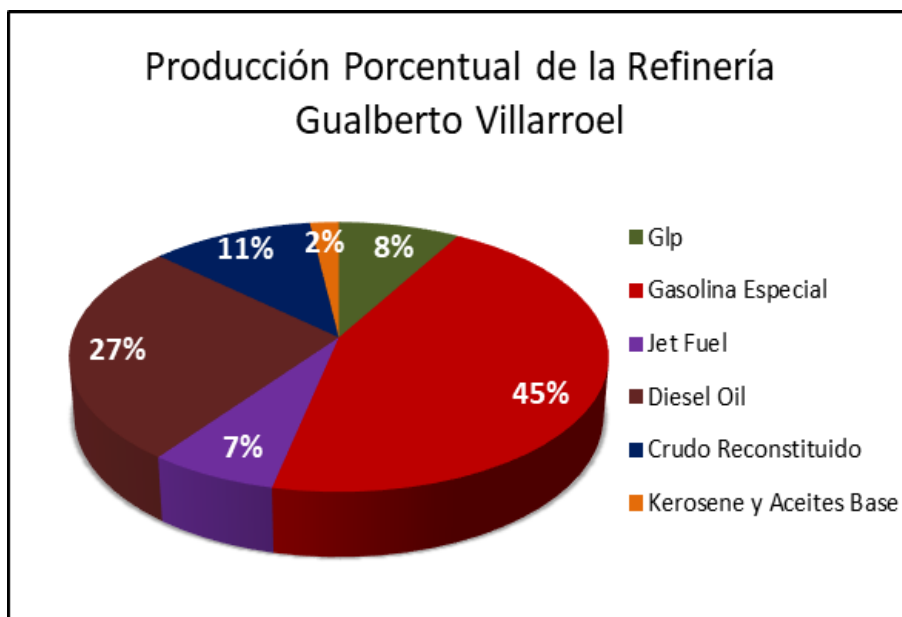


Figura 3.26: *Producción Porcentual de la Refinería Gualberto Villarroel*
Fuente: Ministerio de Hidrocarburos

Actualmente la refinería es operada por personal de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, siendo una de las más importantes en nuestro país por los volúmenes elevados que produce y su ubicación estratégica en la que se encuentra, motivo por el cual se la eligió para la puesta en marcha del proyecto y ser la primera en comercializar gasolina especial según Normativa Euro IV en una proporción adecuada y coordinando toda la logística que esta demanda que será definida en función al crecimiento del parque automotor que está destinado al consumo de gasolina especial.

A continuación, mostraremos las características de la Gasolina Especial según la normativa Euro II que es producida en la Refinería Gualberto Villarroel donde se puede evidenciar algunas propiedades que necesitamos mejorar con la adición del oxigenante como ser: el octanaje, presión de vapor, densidad que son los principales parámetros que deben ser controlados en la gasolina especial para que esta sea producida y finalmente comercializada en las estaciones de servicio.

Tabla 3.8: Especificaciones de la Gasolina Especial

Tabla de especificaciones							
Nombre del producto: GASOLINA ESPECIAL							
Prueba	VERANO (*)		INVIERNO		Unidad	Método ASTM	
	Min.	Max.	Min.	Max.		Altern. 1	Altern. 2
Gravedad específica a 15,6/15,6 °C	Informar		Informar			D 1298	D 4052
Relación V/L = 20	51 (124)		51 (124)		°C (°F)	D 5188	D 2533
Tensión de vapor Reid a 100°F (37,8°C)	7	11,5	7	11,5	psig	D 323	D 4953
Contenido de plomo		0,013		0,013	g Pb/L	D 3237	D 5059
Corrosión lámina de cobre (3h/50°C)		1		1		D 130	
Gomas existentes		5		5	mg/100mL	D 381	
Azufre total		0,05		0,05	% peso	D 1266	D 2622
Octanaje RON	85		85			D 2699	
Octanaje MON	Informar		Informar			D 2700	
Índice antidetonante (RON+MON)/2	Informar		Informar				
Color	Incoloro a Ligeramente amarillo						Visual
Apariencia	Cristalina		Cristalina				Visual
Poder calorífico	Informar		Informar		BTU/lb	D 240	
Destilación Engler (760 mmHg)						D 86	
10% vol.		65 (149)		60 (140)	°C (°F)		
50% vol.	77 (170)	118 (245)	77 (170)	116 (240)	°C (°F)		
90% vol.		190 (374)		185 (365)	°C (°F)		
Punto Final		225 (437)		225 (437)	°C (°F)		
Residuo		2		2	% vol.		
Contenido de Aromáticos Totales		42		42	% vol.	D 1319	D 5134
Contenido de Olefinas		18		18	% vol.	D 1319	D 5134
Contenido de Benceno		3		3	% vol.	D 4053	D 5134
Contenido de Manganeso		18		18	mg Mn/L	D 3831	
Contenido de Oxígeno		2,7		2,7	% peso	D 2504	D 4815

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos

También es necesario conocer las características del compuesto oxigenado que se pretende utilizar en este proyecto para la adecuación de la gasolina especial y llegar a cumplir las especificaciones que la norma Euro IV exige para que vehículos que consumen este combustible puedan circular.

Tabla 3.9: Propiedades del Oxigenante Ter-Butil Alcohol

Propiedades del Ter-Butil Alcohol	
Gravedad específica 15,6°C	0.789
Punto de Ebullición (760 mmHg),°C	82,8
Punto de Congelación °C	25.5
N.O. Research	130
N.O. Motor	100
RON+MON/2	97.5
Poder Calorífico Kcal/Kg	7806
Solubilidad en H ₂ O a 20 °C (g/100 g solución)	infinita

Fuente: Wikipedia

3.9.8. Descripción del Proceso

La gasolina especial comercializada en la actualidad por la refinería Gualberto Villarroel tiene un octanaje de 85 a la vez que todo lo producido es destinado al mercado interno. Los flujos que intervienen en la producción de la gasolina especial según datos proporcionados por el Ministerio de Hidrocarburos son: El Hidrotratamiento, el Hydrobon, la Gasolina Platformada y el Reformando, para de esta manera generar un mezclado óptimo con el aditivo oxigenante dará lugar a la producción de la Gasolina Magna.

El sistema de preparación de la gasolina que se emplea requiere transferencias entre tanques y/o recibo de producción de las unidades de proceso, homogenización del producto por circulación en el tanque, toma de muestras, análisis de calidad de productos y certificación de calidad del tanque preparado, todas estas operaciones se repiten hasta alcanzar el grado de octanaje requerido de la gasolina en preparación. A continuación, mostraremos los componentes de preparación de la gasolina especial y sus propiedades:

Carga Hidrotratamiento

- Densidad Promedio: 0.73.
- Presión de Vapor Reid: 0.67.
- Destilación: IBP: 60.26 °C

10%: 80.88 °C

50%: 117.5 °C

90%: 150.82 °C

FBP: 176.12 °C

Carga Hydrobon

- Densidad Promedio: 0.73

- Presión de Vapor Reid: 1.75

- Destilación: IBP: 57.98 °C

10%: 71.80 °C

50%: 117.71 °C

90%: 155.16 °C

FBP: 178.00 °C.

Carga del Gasolina Platformada:

- Densidad Promedio: 0.73

- Presión de Vapor Reid: 5.31

- Destilación: IBP: -11.72 °C

10%: 27.84 °C

50%: 91.85 °C

90%: 144.43 °C

FBP: 207,62 °C.

Carga del Reformado:

- Densidad Promedio: 0.76

- Presión de Vapor Reid: 3.15



- Destilación: IBP: -11.72 °C

10%: 36,06 °C

50%: 110,63 °C

90%: 161,33 °C

FBP: 207,62 °C.

Producción:

- Carga Hidrotratamiento: 1.900 – 2.000 Barriles por día (BPD)

- Carga Hydrobon: 1.900 - 2.000 Barriles por día (BPD)

- Carga del Gasolina Platformada: 3.500 - 4.000 Barriles por día (BPD)

- Carga del Reformado: 8.300 – 8400 Barriles por día (BPD)

Para este proyecto se requiere un aditivo para poder producir la Gasolina Magna 95 que subirá el octanaje con una concentración que es ajustada de acuerdo a las cantidades de gasolina que se pretende producir.

Composición para la Producción de Gasolina Magna

El color característico de la gasolina Magna 95 será de color azul y se pretende preparar con las siguientes concentraciones:

Tabla 3.10: *Composición de la Gasolina Magna*

Flujo	Composición
HIDROBON	10%
HIDROTRATAMIENTO	10%
GPLAT	17%
REFORMADO	41%
TBA	22%

Fuente: Elaboración Propia

3.9.8.1. Procedimiento de Preparación de la Gasolina Magna

La preparación de la gasolina implicará las siguientes etapas:

a. Primera recirculación de los tanques que intervendrán en la preparación.

- b. Toma de muestras de los tanques y envi6 a laboratorio.
- c. Realizaci6n de prueba de octanaje y verificaci6n de los resultados.
- d. Calculo y formulaci6n de la mezcla de Gasolina Magna.
- e. Recepci6n de las unidades de proceso o transferencia de otros tanques dependiendo del volumen para la correcci6n de la calidad de la gasolina producida. Esta etapa inicial de preparaci6n consta de la recepci6n de las diferentes cargas de las unidades que se tiene en la refineria para producir la gasolina, esta recepci6n y correcci6n se hace de acuerdo al programa mensual de producci6n que se tiene entre las empresas operadoras y los agentes de control que se tiene en Bolivia.
- f. Segunda recirculaci6n en el taque de preparaci6n, esta se la realiza con los regimenes ya mencionados con un tiempo de preparaci6n para poder producir la gasolina magna, despu6s esta pasa a ser transferida al tanque de almacenaje para su posterior comercializaci6n.
- g. Toma de las muestras del tanque y envi6 a laboratorio.
- h. Realizaci6n de la prueba del RON y espera de resultados.
- i. Repetic6n del ciclo (d) al (h) en caso de que el tanque a6n no se encuentre en especificaciones adecuadas para su comercializaci6n.
- j. Una vez concluida todos los procesos para la elaboraci6n del combustible se procede a la generaci6n del certificado de laboratorio del tanque.

3.10. Plan de Contingencias para el Aditivo Oxigenante

El objetivo de este plan de contingencia es poder prevenir los riesgos que se pueden generar al momento de emplear y manipular el aditivo oxigenante, por tal motivo es necesario:

- Llevar a cabo una manipulaci6n adecuada de los aditivos.

- Analizar y prevenir los riesgos en la planta.
- Evitar o mitigar las lesiones que las emergencias puedan ocasionar al personal y a terceros.
- Evitar o minimizar el impacto de los siniestros sobre la salud y el medio ambiente.
- Minimizar las pérdidas económicas y daños que puedan ocasionar la unidad operativa por afectación a su infraestructura.
- Capacitar permanentemente a todo nuestro personal en prevención de riesgos y entrenamientos en acciones de respuestas ante situaciones de emergencias.
- Contar con los procedimientos a seguir durante las operaciones de respuestas a la contingencia.

Para tal efecto de poder aplicar el plan de contingencias debemos de identificar las operaciones que se realizarán al momento de manipular el aditivo oxigenante como ser la recepción, almacenamiento, pruebas de calidad, el proceso de blending, las etapas de prueba al nuevo combustible y por último el retiro del combustible hacia las cisternas.

3.10.1. Brigadas

Para poder aplicar el plan de contingencia será necesario la implementación de brigadas para los riesgos que se puedan ocurrir al momento de manipular el aditivo oxigenante, los mismos estarán bajo la supervisión de un jefe de brigada, el cual tendrá dependencias que serán los sub jefes de brigadas para tener la acción inmediata ante cualquier emergencia.

3.10.2. Funciones principales del Jefe de Brigada

- Comprobar si los integrantes de las brigadas están suficientemente capacitados y entrenados para afrontar las emergencias.
- Informar de manera inmediata al supervisor de seguridad de la planta de la ocurrencia de una emergencia.

- Estar al mando de las operaciones para actuar de manera oportuna ante la emergencia cumpliendo con las directrices de acción de la planta.
- En caso de un incendio se evaluará la situación, y si esta es crítica se informará en el punto de reunión preestablecido, para que se tomen las acciones de evacuación.

En base a las operaciones que se realizarán con la manipulación del aditivo oxigenante tendremos cuatro brigadas:

En Caso de Fugas

- Interrumpir el paso de personas y vehículos a una distancia de 100 m. del punto donde se produjo la emergencia.
- Retirar los vehículos que se encuentran a menos de 100 m. de la fuga, los cuales deberán ser movilizadas con el motor apagado.
- Evacuar a las personas que se encuentran a menos de los 100 m del derrame del aditivo.
- Movilizar el extintor y el equipo que fuera necesario para el control de la misma.
- Cortar toda posible fuente de ignición.
- No accionar interruptores eléctricos.
- Sofocar cualquier llama abierta que exista en las inmediaciones.

En Caso de un Incendio

- Comunicar de manera inmediata al Jefe de Brigada de la ocurrencia de un incendio y actuar de inmediato haciendo uso de los equipos contra incendio (extintores portátiles)
- Activar e instruir en el manejo de la alarma contra incendio colocado en lugares estratégicos de las instalaciones, si lo hubiera.
- Recibida la alarma, el personal de la citada brigada se constituirá con urgencia en el lugar del siniestro.

- Se utilizará de manera adecuada los equipos de protección personal para que los integrantes realicen las tareas de extinción.
- Al arribo de la compañía de Bomberos informará las medidas adoptadas y las tareas que se están realizando, entregando el mando a los mismos y ofreciendo la colaboración de ser necesario.

Primeros Auxilios

- Conocer la ubicación de los botiquines en la instalación y estar pendiente del buen abastecimiento con medicamento de los mismos.
- Brindar los primeros auxilios a los heridos leves en las zonas seguras.
- Evacuar a los heridos de gravedad a los establecimientos de salud más cercanos a las instalaciones.
- Estar suficientemente capacitados y entrenados para afrontar las emergencias.

Evacuación

- Comunicar de manera inmediata al jefe de brigada de inicio del proceso de evacuación.
- Reconocer las zonas de seguras, zona de riesgo y las rutas de evacuación en la planta.
- Dirigir al personal y visitantes en la evacuación de las instalaciones.
- Verificar que todo el personal y visitantes hayan evacuado las instalaciones.
- Conocer la ubicación de los tableros eléctricos, llaves de suministro de agua y tanques de combustible.
- Estar suficientemente capacitado y entrenados para afrontar las emergencias.

3.10.3. Sistema de Comunicación de Emergencia

Se han definido los tipos de Señal de Alerta y de Alarma a utilizar en cada caso según los medios disponibles:

- El uso de silbato de duración continua y prolongada indica que se trata de Señal de Alerta y si oyen silbatos de duración breve e intermitente indica que se trata de Señal de Alarma.
- Cuando se use altavoces o altoparlantes, se prolongará mensajes claros y concisos a emitirse sin provocar pánico en los ocupantes.
- Para evitar el pánico, se ha planificado la evacuación para que la salida se realice de la misma forma que se hace habitualmente para las actividades comunes.



CAPITULO IV

ADECUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA GASOLINA ESPECIAL CON EL TER-BUTIL ALCOHOL

4.1. Introducción

La gasolina especial es un producto muy procesado con la mezcla de otros compuestos para mejorar su rendimiento y cumplir con las exigencias de la tecnología de motores de hoy en día. La adición de ciertos componentes cambia la composición original del combustible, que afectan en las propiedades físicas y químicas de diferentes maneras. Presión de vapor, densidad y octanaje son propiedades estrechamente relacionadas con la composición del combustible. Los compuestos oxigenados son potenciadores de octano, que tienen propiedades antidetonantes significativas importantes para los combustibles, los alcoholes tales como metanol, ter-butyl alcohol (TBA), y alcohol amílico terciario (TAA). Donde se muestra que cada disolvente tiene un efecto sobre las propiedades de la gasolina de magnitud y comportamiento específico.

4.2. Objetivo

El objeto de este proyecto se fundamenta principalmente en el estudio de la influencia del TBA sobre algunas propiedades de la gasolina especial. Además, de utilizarse para mejorar la combustión en el motor y reducción de emisiones nocivas que se generan al medio ambiente. Por tanto, es importante estudiar los efectos de dicho compuesto al mezclarlo con la gasolina.

4.3. Octanaje

4.3.1. Número de Octano Research (RON)

El RON es un indicativo importante de la calidad de la gasolina. El mismo está relacionado con la eficiencia del motor, con lo que, a un mayor número de octano, la gasolina resistirá en mayor grado la detonación y el motor tendrá un funcionamiento más suave.

La propiedad crítica de combustible gasolina para motor de combustión interna es la resistencia a la detonación del motor, expresada como el número de octano de la gasolina. Durante un (sin golpe) ciclo de combustión normal, un frente de llama viaja sin problemas desde el punto de encendido en la bujía hacia fuera, hacia las paredes del cilindro.

4.3.1.1. Descripción del Método ASTM D2699

La determinación del RON de una gasolina especial se recoge en la norma ASTM D2699, esta norma establece la clasificación de combustibles líquidos para motores de ignición por chispa en términos de una escala arbitraria de números de octano usando un motor monocilíndrico de cuatro tiempos (CFR), con una relación de compresión variable, con carburador y con el motor CFR operando a una velocidad constante. El RON proporciona una medida de las características antidetonantes de los combustibles para motores de encendido provocado en condiciones poco severas de operación, aplicable en una gama de índices de octano entre 0 y 120 de RON.

En el ensayo se emplea una muestra de combustible en un motor CFR con una relación aire-combustible que maximiza su detonación, así también se da una correlación con el pistoneo por aceleración a bajas revoluciones (600rpm) y temperatura de aire de admisión de entre 15-30°C. Los resultados se compararon con los de una mezcla de referencia compuesta por iso-octano y normal- heptano, de forma que cuando se opera con una relación combustible-aire que maximiza la detonación, produce la misma intensidad de detonación para la misma relación de compresión.

4.3.2. Número de Octano Motor (MON)

Es otro tipo de octanaje conocido bajo las siglas MON, indica claramente como trabaja un combustible cuando se reposta en el motor, también se basa en la mezcla de iso-octano y normal heptano, la diferencia con el RON es que se sobrecarga más al motor en el ensayo, se utiliza una mezcla precalentada, el motor más revolucionado y tiempos de ignición variables.

4.3.2.1. Descripción del Método ASTM D2700

La determinación del MON de una gasolina especial se recoge en la norma ASTM D2700, Esta norma tiene las mismas características que la D2699 con la diferencia que esta se correlaciona con el pistoneo a altas velocidades (900rpm) y temperatura de aire de admisión de 150°C. Así los resultados se compararon con los de una mezcla de referencia compuesta por iso-octano y normal-heptano.

A continuación, realizaremos los cálculos correspondientes para determinar en el RON y MON de la gasolina especial y también el octanaje de la gasolina con la adición del oxigenante que con fines prácticos la denominaremos Gasolina Súper.

4.3.3. Calculo del RON y MON de la Gasolina Especial

Los flujos para la obtención de la gasolina especial son los siguientes:

Tabla 11: *Flujo Volumétrico y Octanaje de la Gasolina Especial*

Flujo	RON	MON	Flujo Volumétrico (BPD)
HIDROBON	61,5	58	1.948,10
HIDROTRATAMIENTO	62,1	58,4	1.984,00
GPLAT	90,1	81,6	3.560,60
REFORMADO	93,7	84,1	8.397,30

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos

Para poder determinar las fracciones volumétricas de cada flujo se utilizará la siguiente ecuación:

$$X_{V_i} = \frac{\dot{V}_i}{\dot{V}_T} \quad (4.1.)$$

X_{V_i} : Fracción Volumétrica

\dot{V}_i : Flujo Volumétrico Parcial

\dot{V}_T : Flujo Volumétrico Total

Encontraremos el flujo total con la siguiente ecuación:

$$\dot{V}_T = \sum \dot{V}_i \quad (4.2.)$$

Reemplazando en la ecuación (4.2.) los flujos iniciales de la tabla 4.1, para la obtención de gasolina especial.

$$\dot{V}_T = 1.948,1 \text{ (BPD)} + 1.984,0 \text{ (BPD)} + 3.560,6 \text{ (BPD)} + 8.397,3 \text{ (BPD)}$$

$$\dot{V}_T = 15.890 \text{ (BPD)}$$

Ahora encontraremos las fracciones volumétricas de cada flujo con la ecuación (4.1.).

$$X_{\text{HIDROBON}} = \frac{1.948,1 \text{ (BPD)}}{15.890 \text{ (BPD)}} = 0,1226$$

$$X_{\text{HIDROTRATAMIETO}} = \frac{1.984 \text{ (BPD)}}{15.890 \text{ (BPD)}} = 0,1248$$

$$X_{\text{GPLAT}} = \frac{3.560 \text{ (BPD)}}{15.890 \text{ (BPD)}} = 0,2241$$

$$X_{\text{REFORMADO}} = \frac{8.397,3 \text{ (BPD)}}{15.890 \text{ (BPD)}} = 0,5285$$

Para calcular el MON utilizaremos la siguiente ecuación:

$$\text{MON}_T = \sum X_{Vi} * \text{MON}_i \quad (4.3.)$$

Donde:

MON_T: Motor Octane Number Total

MON_i: Motor Octane Number de cada Flujo

Reemplazando los datos en la ecuación (3):

$$\text{MON}_T = 0,1226 * 58 + 0,1248 * 58,4 + 0,2241 * 81,6 + 0,5285 * 84,1$$

$$\text{MON}_T = 7,11 + 7,29 + 18,28 + 44,44$$

$$\text{MON}_T = 77,13$$

El cálculo del RON la efectuaremos con la siguiente ecuación:

$$\text{RON}_T = \sum X_{Vi} * \text{RON}_i \quad (4.4.)$$

Donde:

RON_T: Research Octane Number Total

RON_i: Research Octane Number de cada Flujo

Reemplazando los datos en la ecuación (4) se obtiene el RON:

$$\text{RON}_T = 0,1226*61,5 + 0,1248*62,1 + 0,2241*90,1 + 0,5285*93,7$$

$$\text{RON}_T = 7,54 + 7,75 + 20,19 + 49,52$$

$$\text{RON}_T = 85$$

4.3.4. Cálculo del RON y MON de la Gasolina Magna

Ahora procederemos al cálculo del nuevo octanaje con la adición del aditivo oxigenante (Ter-Butil Alcohol), para fines prácticos la denominaremos Gasolina Magna, para ello vamos a calcular el 22% del flujo total que representaría el flujo de TBA.

$$\dot{V}_{\text{TBA}} = 0,22 * \dot{V}_T$$

$$\dot{V}_{\text{TBA}} = 0,22 * 15.890 \text{ (BPD)}$$

$$\dot{V}_{\text{TBA}} = 3.495,8 \text{ (BPD)}$$

Para calcular los nuevos flujos que intervienen en la producción de la Gasolina Magna según normativa Euro IV utilizaremos la siguiente ecuación:

$$\dot{V}_{i-2} = \dot{V}_{i-1} (1-0,22)$$

Donde:

\dot{V}_{i-1} : Flujo Volumétrico Parcial inicial

\dot{V}_{i-2} : Flujo Volumétrico Parcial final

$$\dot{V}_{\text{HIDROBON-2}} = 1.948,1 (1-0,22)$$

$$\dot{V}_{\text{HIDROBON-2}} = 1.519,5 \text{ (BPD)}$$

$$\dot{V}_{\text{HIDROTRATAMIENTO-2}} = 1.984 (1-0,22)$$

$$\dot{V}_{\text{HIDROTRATAMIENTO-2}} = 1.547,6 \text{ (BPD)}$$

$$\dot{V}_{\text{GPLAT-2}} = 3.560,6 (1-0,22)$$

$$\dot{V}_{\text{GPLAT-2}} = 2.777,3 \text{ (BPD)}$$

$$\dot{V}_{\text{REFORMADO-2}} = 8.397,3 (1-0,22)$$

$$\dot{V}_{\text{REFORMADO-2}} = 6.549,9 \text{ (BPD)}$$

Realizamos una tabla con los nuevos flujos volumétricos calculados:

Tabla 12: *Flujos Volumétricos y Octanaje de la Gasolina Magna*

Flujo	RON	MON	Flujo Volumétrico (BPD)
HIDROBON	61,5	58	1.519,50
HIDROTRATAMIENTO	62,1	58,4	1.547,60
GPLAT	90,1	81,6	2.777,30
REFORMADO	93,7	84,1	6.549,90
TBA	130	100	3.495,80

Fuente: Elaboración Propia

Ahora encontraremos las nuevas fracciones volumétricas de cada flujo con la ecuación (4.1.).

$$X_{\text{HIDROBON-2}} = \frac{1.519,5 \text{ (BPD)}}{15.890 \text{ (BPD)}} = 0,0956$$

$$X_{\text{HIDROTRATAMIENTO-2}} = \frac{1.547,6 \text{ (BPD)}}{15.890 \text{ (BPD)}} = 0,0974$$

$$X_{\text{GPLAT-2}} = \frac{2.777,3 \text{ (BPD)}}{15.890 \text{ (BPD)}} = 0,1747$$

$$X_{\text{REFORMADO-2}} = \frac{6.549,9 \text{ (BPD)}}{15.890 \text{ (BPD)}} = 0,4122$$

$$X_{\text{TBA-2}} = \frac{3.495,8 \text{ (BPD)}}{15.890 \text{ (BPD)}} = 0,22$$

Reemplazando los datos en la ecuación (4.3.) para calcular el MON:

$$\text{MON}_T = 0,0956 * 58 + 0,0974 * 58,4 + 0,1748 * 81,6 + 0,4122 * 84,1 + 0,22 * 100$$

$$\text{MON}_T = 5,55 + 5,69 + 14,26 + 34,66 + 22,00$$

$$\text{MON}_T = 82,2$$

Reemplazando los datos en la ecuación (4.4.) para calcular el RON:

$$\text{RON}_T = 0,0956 * 61,5 + 0,0974 * 62,1 + 0,1748 * 90,1 + 0,4122 * 93,7 + 0,22 * 130$$

$$\text{RON}_T = 5,88 + 6,05 + 15,75 + 38,62 + 28,60$$

$$\text{RON}_T = 94,9$$

4.4. Densidad

La densidad nos da un parámetro para definir la calidad de la gasolina ya que, si su valor es bajo, la gasolina contiene hidrocarburos de bajo peso molecular que representan moléculas de

cuatro a siete átomos de carbono. Si el valor de la densidad es alto, la gasolina es pesada y contiene hidrocarburos con ocho y hasta doce átomos de carbono en la molécula, su valor es importante porque contribuye a definir el comportamiento en el motor y es un indicativo de la volatilidad.

4.4.1. Descripción del Método ASTM D1298

El método de prueba según norma ASTM D1298 para la determinación de la densidad a 15,6 °C utilizando un areómetro de vidrio. Esta norma, es apropiada para determinar la densidad fluidos.

El método consiste en llevar la muestra a la temperatura especificada y una parte de la misma se traspa a la probeta de un areómetro que se ha puesto aproximadamente a la misma temperatura. El areómetro adecuado, cuya temperatura también se ha regulado, se introduce en la muestra y se deja que se estabilice. Una vez alcanzado el equilibrio térmico, se hace la lectura en la escala del areómetro, se toma la temperatura de la muestra y la lectura observada en el areómetro se convierte a 15,6 °C utilizando tablas estándar de medición. La probeta y su contenido se colocan en un baño a temperatura constante para evitar una variación excesiva de la temperatura durante el ensayo.

4.4.2. Calculo de la Densidad de la Gasolina Magna

Para el cálculo de la densidad tomaremos los datos de la densidad y el peso molecular que intervienen en el blending de la gasolina especial y el aditivo Ter-Butil Alcohol:

Tabla 13: *Densidad Relativa y Peso Molecular de la Gasolina Magna*

Flujo	Densidad Relativa	Peso Molecular Promedio
HIDROBON	0,7283	107,44
HIDROTRATAMIENTO	0,7302	107,37
GPLAT	0,7343	91,72
REFORMADO	0,7586	95,63
TBA	0,789	130

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos

Ahora calcularemos los flujos másicos a partir de los nuevos flujos volumétricos encontrados y la densidad de cada flujo que intervienen en la mezcla para la producción de la Gasolina Súper con la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_i = \dot{V}_{i-2} * d_i \quad (4.5.)$$

Donde:

\dot{m}_i : flujo másico parcial final

d_i : densidad del flujo

Reemplazando los datos en la ecuación (4.5.) y convirtiendo la densidad relativa de cada flujo en absoluta con la densidad del agua que es 8,33 LPG obtendremos los flujos másicos mostrados a continuación:

$$\dot{m}_{\text{HIDROBON}} = \frac{1.519,5 \text{ Bbl}}{\text{día}} * \frac{42 \text{ Gal}}{1 \text{ Bbl}} * \frac{(0,7283 * 8,33) \text{ lb}}{1 \text{ Gal}} = 387.165,3 \frac{\text{lb}}{\text{día}}$$

$$\dot{m}_{\text{HIDROTRATAMIENTO}} = \frac{1.547,6 \text{ Bbl}}{\text{día}} * \frac{42 \text{ Gal}}{1 \text{ Bbl}} * \frac{(0,7302 * 8,33) \text{ lb}}{1 \text{ Gal}} = 395.359,6 \frac{\text{lb}}{\text{día}}$$

$$\dot{m}_{\text{GPLAT}} = \frac{2.777,3 \text{ Bbl}}{\text{día}} * \frac{42 \text{ Gal}}{1 \text{ Bbl}} * \frac{(0,7343 * 8,33) \text{ lb}}{1 \text{ Gal}} = 713.472,8 \frac{\text{lb}}{\text{día}}$$

$$\dot{m}_{\text{REFORMADO}} = \frac{6.549,9 \text{ Bbl}}{\text{día}} * \frac{42 \text{ Gal}}{1 \text{ Bbl}} * \frac{(0,7586 * 8,33) \text{ lb}}{1 \text{ Gal}} = 1.738.335,5 \frac{\text{lb}}{\text{día}}$$

$$\dot{m}_{\text{TBA}} = \frac{3.495,8 \text{ Bbl}}{\text{día}} * \frac{42 \text{ Gal}}{1 \text{ Bbl}} * \frac{(0,7890 * 8,33) \text{ lb}}{1 \text{ Gal}} = 964.979,8 \frac{\text{lb}}{\text{día}}$$

La obtendremos del flujo másico total se da con la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_T = \sum \dot{m}_i \quad (4.6.)$$

Donde

\dot{m}_T : flujo másico total

$$\dot{m}_T = 387.165,3 \frac{\text{lb}}{\text{día}} + 395.359,6 \frac{\text{lb}}{\text{día}} + 713.472,8 \frac{\text{lb}}{\text{día}} + 1.738.335,5 \frac{\text{lb}}{\text{día}} + 964.979,8 \frac{\text{lb}}{\text{día}}$$

$$\dot{m}_T = 4.199.313 \frac{\text{lb}}{\text{día}}$$

Para el cálculo de la densidad procederemos a utilizar la ecuación (4.5.) despejando la densidad.

$$d_T = \frac{\dot{m}_T}{\dot{V}_T}$$

$$d_T = \frac{4.199.313 \frac{\text{lb}}{\text{día}}}{15.890 \frac{\text{Bbl}}{\text{día}}} = 264.27 \frac{\text{lb}}{\text{Bbl}}$$

$$d_T = 264.27 \frac{\text{lb}}{\text{Bbl}} * \frac{1 \text{ Bbl}}{42 \text{ Gal}} * \frac{1 \text{ Gal}}{8,33 \text{ lb}} = 0,7554$$

4.5. Presión de Vapor Reid (PVR)

La PVR proporciona una buena indicación de la volatilidad de la gasolina y sirve para evaluar su tendencia a la evaporación, ya que cuanto mayor es la presión de vapor, se evapora con mayor facilidad.

La presión ejercida por los vapores de gasolina en un espacio cerrado, que se mide a 37,8°C, se denomina presión de vapor Reid. RVP es el indicador más importante tanto la volatilidad y las emisiones debido a la relación de los compuestos orgánicos volátiles existentes en los combustibles. En adición de estos, el máximo aumento de RVP se produce con 5% -10%. La adición de compuestos oxigenados en la gasolina causa un aumento de la presión de vapor y disminuye la temperatura de ebullición. También, mayores valores de la RVP pueden ser causa del bloqueo de vapor y las emisiones nocivas de evaporación más altas.

4.5.1. Descripción del Método ASTM D5191

La PVR viene definida según la norma ASTM D5191, las condiciones empleadas en el método de ensayo descrito en esta norma corresponden a una relación vapor-líquido de 4:1 y a una temperatura de ensayo de 37.8 °C.

En el transcurso del ensayo el equipo no está en contacto con el agua, por lo tanto, el método es aplicable para las muestras con o sin oxigenados. El agua disuelta en la muestra no se tiene en cuenta. Este método de ensayo resulta adecuado para muestras saturadas de aire que ejerzan una presión de vapor saturado en aire entre 9.0 kPa y 150.0 kPa a una temperatura de 37.8 °C; siendo aplicable a combustibles que contengan compuestos oxigenados dentro de los límites establecidos.

4.5.2. Cálculo de la Presión de Vapor Reid

Para determinar el cálculo de la PVR de la Gasolina Magna utilizaremos la siguiente ecuación:

$$M_T * PVR_T = \sum M_i * PVR_i \quad (4.7.)$$

Donde:

M_T : Peso Molecular Promedio Total

M_i : Peso Molecular Promedio Parcial

PVR_T : Presión de Vapor Reid Total

PVR_i : Presión de Vapor Reid Parcial

Para determinar el peso molecular promedio de la Gasolina Magna utilizaremos la ecuación (4.8.) que proviene de las siguientes operaciones:

$$n_T = \sum n_i$$

$$\frac{m_T}{M_T} = \sum \frac{m_i}{M_i}$$

$$M_T = \frac{m_T}{\sum \frac{m_i}{M_i}} \quad (4.8.)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (4.8.) obtendremos el peso molecular promedio de la Gasolina Súper:

$$M_T = \frac{4.199.313 \frac{\text{lb}}{\text{dia}}}{\frac{387.165,3 \frac{\text{lb}}{\text{dia}}}{107,44 \frac{\text{lb}}{\text{lb-mol}}} + \frac{395.359,6 \frac{\text{lb}}{\text{dia}}}{107,37 \frac{\text{lb}}{\text{lb-mol}}} + \frac{713.472,8 \frac{\text{lb}}{\text{dia}}}{91,72 \frac{\text{lb}}{\text{lb-mol}}} + \frac{1.738.335,5 \frac{\text{lb}}{\text{dia}}}{95,63 \frac{\text{lb}}{\text{lb-mol}}} + \frac{964.979,8 \frac{\text{lb}}{\text{dia}}}{74,12 \frac{\text{lb}}{\text{lb-mol}}}}$$

$$M_T = 90,77 \frac{\text{lb}}{\text{lb-mol}}$$

Ahora calcularemos la PVR de la Gasolina Súper con la ecuación (4.7.) y reemplazando los valores en la misma:

$$PVR_T = \frac{\sum M_i * PVR_i}{M_T}$$

$$PVR_T = \frac{(107,44 * 1,75 + 107,37 * 0,67 + 91,72 * 5,31 + 95,63 * 3,15 + 74,12 * 1,77) \frac{\text{PSI}}{\frac{\text{lb}}{\text{lb-mol}}}}{90,77 \frac{\text{lb}}{\text{lb-mol}}}$$

$$PVR_T = 12,9 \text{ PSI}$$

4.6. Balance de Materia

Finalmente realizaremos el balance de materia, para ello se tiene el porcentaje másico de cada flujo que interviene en la mezcla para la obtención de la gasolina.

Tabla 14: Composición Másica de los Flujos que intervienen en la Mezcla de la Gasolina Especial

Compuesto	Hidrotratamiento	Hydrobon	Gplat	Reformado
ethane	0,00	0,03	0,00	0,00
propane	0,00	0,05	0,19	0,00
i-butnae	0,00	0,00	1,82	0,70
n-butnae	0,00	0,00	3,53	2,15
i-pentane	0,00	0,00	6,43	4,84
2-methylbutene-1	0,00	0,00	0,04	0,00
n-pentane	0,00	0,10	4,29	2,98
t-pentene-2	0,00	0,00	0,04	0,00
2-methylbutne-2	0,00	0,00	0,08	0,04
2,2-dimethylbutane	0,00	0,08	0,67	0,72
2,3-dimethylbuyane	0,19	0,41	1,14	0,80

2-methylpentane	0,82	1,71	5,19	3,61
3-methylpentaane	0,84	1,44	3,80	2,76
2-methylpentene-1	0,00	0,00	0,10	0,00
n-hexane	3,64	4,95	4,88	3,23
t-hexane-2	0,00	0,00	0,08	0,00
2-methylpentene-2	0,00	0,00	0,06	0,00
2,2-dimethylpentane	0,28	0,26	0,40	0,57
methylcyclopentane	1,29	1,33	0,78	0,33
2,4-dimethylpentane	0,47	0,43	0,69	0,70
2,2,3-trimethylbutane	0,14	0,12	0,00	0,08
benzene	0,30	0,29	3,27	3,54
3-methylhexne-1	0,24	0,19	0,37	0,53
cyclohexane	2,11	1,86	0,06	0,00
2-methylhexane	4,07	3,36	3,49	3,85
2,3-dimethylpentane	1,06	0,83	1,35	1,44
t-amylmethylether	0,48	0,36	0,12	0,06
3-methylhexane	4,39	3,75	4,30	4,70
1c,3-dimethylcyclopentane	0,60	0,46	0,13	0,07
1t,3-dimethylcyclopentane	0,89	0,69	0,55	0,52
2,2,4.trimethylpentane	0,95	0,72	0,21	0,08
n-heptane	10,41	9,37	3,30	3,37
2-methyl-2-hexene	0,00	0,00	0,11	0,00
methylcyclohexane	8,91	7,53	0,11	0,17
1,1,3-trimethylcyclopentane	0,00	0,00	0,16	0,00
2,2-dimethylhexane	0,21	0,19	0,00	0,00
2,5-dimethylhexane	0,91	0,84	0,40	0,36
2,4-dimethylhexane	0,70	0,69	0,58	0,56
1c,2t,4-trimethylcyclopentane	0,26	0,24	0,16	0,16
3,3-dimethylhexane	0,20	0,20	0,00	0,00
1t,2c,3-trimethylcyclopentane	0,21	0,20	0,00	0,00
toluene	3,64	2,86	14,25	17,65
2,3-dimethylhexane	0,43	0,44	0,38	0,38
2-methyl-3ethylpentane	0,16	0,15	0,12	0,06
2-methylheptane	0,00	0,00	1,20	1,22
4-methylheptane	2,93	3,03	0,61	0,60
3,4-dimethylhexane	1,17	1,20	0,22	0,22
1c,3-dimethylcyclohexane	0,22	0,21	0,00	0,00
3-methylheptane	2,85	2,90	1,41	1,47
1c,2t,3-trimethylcyclopentane	2,45	2,32	0,30	0,31
1t,4-dimethylcyclohexane	0,95	0,88	0,00	0,00

1,1-dimethylcyclohexane	0,33	0,31	0,00	0,00
3c-ethylmethylcyclopentane	0,10	0,09	0,00	0,00
3t-ethylmethylcyclopentane	0,09	0,08	0,00	0,00
2t-ethylmethylcyclopentane	0,13	0,14	0,00	0,00
1t,2-dimethylcyclohexane	0,82	0,80	0,00	0,00
n-octane	8,33	9,09	1,16	1,12
2,3,3-trimethylhexene-1	0,00	0,00	0,11	0,09
1c,4-dimethylcyclohexane	0,41	0,29	0,00	0,00
1c,2-dimethylcyclohexane	0,43	0,45	0,00	0,00
1,1,4-trimethylcyclohexane	1,52	1,56	0,00	0,00
2,2,3-trimethylhexane	0,30	0,32	0,00	0,00
4,4-dimethylheptane	0,26	0,27	0,18	0,16
ethylcyclohexane	0,69	0,71	0,00	0,00
2,5-dimethylheptane	0,00	0,20	0,00	0,00
3,3-dimethylheptane	0,19	0,00	0,00	0,00
ethylbenzene	0,40	0,38	2,11	2,40
1c,3c,5c-trimethylcyclohexane	0,34	0,34	0,00	0,00
1,3-dimethylbenzene	3,09	2,89	7,12	9,47
1,4-dimethylbenzene	1,26	1,19	2,90	3,06
4-ethylheptane	0,18	0,19	0,00	0,00
4-methyloctane	1,22	1,31	0,27	0,24
2-methyloctane	1,49	1,56	0,28	0,25
1c,2t,3-trimethylcyclohexane	0,00	0,06	0,00	0,00
3-ethylheptane	0,27	0,29	0,08	0,00
3-methyloctane	1,52	1,60	0,37	0,31
1,2-dimethylbenzene	0,87	0,87	3,07	4,06
n-nonane	5,97	6,53	0,30	0,25
t-nonene-3	0,00	0,06	0,00	0,00
i-propylbenzene	0,08	0,09	0,12	0,11
c-nonane-2	0,00	0,12	0,00	0,00
2,4-dimethyloctane	0,21	0,23	0,00	0,00
2,6-dimethyloctane	0,65	0,69	0,00	0,00
2,5-dimethylotane	0,24	0,25	0,00	0,00
n-butylcyclopentane	0,00	0,06	0,00	0,00
3,3-dimethyloctane	0,34	0,36	0,00	0,00
n-propylbenzene	0,07	0,08	0,58	0,72
1,3-methylethylbenzene	0,62	0,61	1,98	2,51
1,4-methylethylbenzene	0,21	0,21	0,86	1,10
1,3,5-trimethylbenzene	0,81	0,82	0,96	1,33
5-methylnonane	0,29	0,32	0,00	0,00

1,2-methylethylbenzene	0,61	0,67	0,61	0,80
2-methylnonane	0,60	0,68	0,00	0,00
3-ethyloctane	0,13	0,15	0,00	0,00
3-methylnonane	0,58	0,67	0,00	0,00
1,2,4-trimethylbenzene	1,04	1,10	2,73	3,61
i-butylcyclohexane	0,11	0,14	0,00	0,00
n-decane	1,78	2,47	0,53	0,74
1,2,3-trimethylbenzene	0,09	0,10	0,08	0,00
3-ethylnonane	0,00	0,09	0,00	0,00
2-3-dihydroindene	0,00	0,00	0,13	0,15
1,3-diethylbenzene	0,00	0,00	0,31	0,34
1,3-methyl-n-propylbenzene	0,00	0,00	0,26	0,27
1,4-diethylbenzene	0,00	0,00	0,26	0,33
1,2-diethylbenzene	0,00	0,00	0,10	0,11
1,4-dimethyl-2-ethylbenzene	0,00	0,00	0,15	0,18
1,3-dimethyl-4-ethylbenzene	0,00	0,00	0,14	0,18
1,2-dimethyl-4-ethylbenzene	0,00	0,00	0,30	0,37
n-undecane	0,00	0,00	0,13	0,21
1,2,4,5-tetramethylbenzene	0,00	0,00	0,17	0,28
tetrahydronaphthalene	0,00	0,00	0,10	0,10

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos

Para determinar la concentración final en la Gasolina Magna realizaremos un balance de materia con los flujos y porcentajes máxicos que tiene cada flujo con la ecuación (4.9.).

$$\dot{m}_T * C_f = \dot{m}_{\text{HIDROBON}} * C_i + \dot{m}_{\text{HIDROTRATAMIENTO}} * C_i + \dot{m}_{\text{GPLAT}} * C_i + \dot{m}_{\text{REFORMADO}} * C_i + \dot{m}_{\text{TBA}} * C_i$$

$$C_f = \frac{\dot{m}_{\text{HIDROBON}} * C_i + \dot{m}_{\text{HIDROTRATAMIENTO}} * C_i + \dot{m}_{\text{GPLAT}} * C_i + \dot{m}_{\text{REFORMADO}} * C_i + \dot{m}_{\text{TBA}} * C_i}{\dot{m}_T} * 100\% \quad (4.9.)$$

Donde:

C_i : Concentración máxica inicial

C_f : Concentración máxica inicial

Ahora obtendremos las concentraciones finales de los diferentes compuestos que intervienen en el blending de la Gasolina Magna, por la cantidad de compuestos que intervienen solo realizaremos el cálculo detallado de la concentración final de algunos compuestos y los demás serán mostrados en la tabla 4.5.

Para el etano:

$$C_{\text{etano}} = \frac{(387.165,3*0,003+395.359,6*0+713.472,8*0+1.738.335,5*0+964979,8*0) \frac{\text{lb}}{\text{dia}}}{4.199.313 \frac{\text{lb}}{\text{dia}}} * 100\%$$

$$C_{\text{C1}} = 0,0028 \%$$

Para el propano

$$C_{\text{propano}} = \frac{(387.165,3*0,005+395.359,6*0+713.472,8*0,0019+1.738.335,5*0+964979,8*0) \frac{\text{lb}}{\text{dia}}}{4.199.313 \frac{\text{lb}}{\text{dia}}} * 100\%$$

$$C_{\text{propano}} = 0,0369 \%$$

Para el i-butano

$$C_{\text{i-butano}} = \frac{(387.165,3*0+395.359,6*0+713.472,8*0,0182+1.738.335,5*0,007+964979,8*0) \frac{\text{lb}}{\text{dia}}}{4.199.313 \frac{\text{lb}}{\text{dia}}} * 100\%$$

$$C_{\text{i-butano}} = 0,599 \%$$

Para el n-butano

$$C_{\text{n-butano}} = \frac{(387.165,3*0+395.359,6*0+713.472,8*0,0353+1.738.335,5*0,0215+964979,8*0) \frac{\text{lb}}{\text{dia}}}{4.199.313 \frac{\text{lb}}{\text{dia}}} * 100\%$$

$$C_{\text{n-butano}} = 1,4898 \%$$

Para el i-pentano

$$C_{\text{i-pentano}} = \frac{(387.165,3*0+395.359,6*0+713.472,8*0,0643+1.738.335,5*0,0484+964979,8*0) \frac{\text{lb}}{\text{dia}}}{4.199.313 \frac{\text{lb}}{\text{dia}}} * 100\%$$

$$C_{\text{i-pentano}} = 3,096 \%$$

Tabla 4.5: Composición Másica de los Flujos que intervienen en la Mezcla de la Gasolina Magna

Compuesto	Concentración	Compuesto	Concentración
Ethane	0,003	n-octane	2,283
Propane	0,037	2,3,3-trimethylhexene-1	0,056
i-butane	0,599	1c,4-dimethylcyclohexane	0,065
n-butane	1,490	1c,2-dimethylcyclohexane	0,082
i-pentane	3,096	1,1,4-trimethylcyclohexane	0,287
2-methylbutene-1	0,007	2,2,3-trimethylhexane	0,058
n-pentane	1,972	4,4-dimethylheptane	0,146
t-pentene-2	0,007	ethylcyclohexane	0,130

2-methylbutne-2	0,030	2,5-dimethylheptane	0,018
2,2-dimethylbutane	0,419	3,3-dimethylheptane	0,018
2,3-dimethylbutane	0,581	ethylbenzene	1,425
2-methylpentane	2,611	1c,3c,5c-trimethylcyclohexane	0,063
3-methylpentane	2,000	1,3-dimethylbenzene	5,687
2-methylpentene-1	0,017	1,4-dimethylbenzene	1,988
n-hexane	2,965	4-ethylheptane	0,035
t-hexane-2	0,014	4-methyloctane	0,381
2-methylpentene-2	0,010	2-methyloctane	0,435
2,2-dimethylpentane	0,354	1c,2t,3-trimethylcyclohexane	0,006
Methylcyclopentane	0,513	3-ethylheptane	0,066
2,4-dimethylpentane	0,491	3-methyloctane	0,482
2,2,3-trimethylbutane	0,057	1,2-dimethylbenzene	2,364
benzene	2,076	n-nonane	1,319
3-methylhexane-1	0,322	t-nonene-3	0,006
cyclohexane	0,380	i-propylbenzene	0,082
2-methylhexane	2,880	c-nonane-2	0,011
2,3-dimethylpentane	1,002	2,4-dimethyloctane	0,041
t-amylmethylether	0,124	2,6-dimethyloctane	0,125
3-methylhexane	3,435	2,5-dimethylotane	0,046
1c,3-dimethylcyclopentane	0,150	n-butylcyclopentane	0,006
1t,3-dimethylcyclopentane	0,456	3,3-dimethyloctane	0,065
2,2,4-trimethylpentane	0,225	n-propylbenzene	0,411
n-heptane	3,800	1,3-methylethylbenzene	1,490
2-methyl-2-hexene	0,019	1,4-methylethylbenzene	0,641
methylcyclohexane	1,622	1,3,5-trimethylbenzene	0,866
1,1,3-trimethylcyclopentane	0,027	5-methylnonane	0,057
2,2-dimethylhexane	0,037	1,2-methylethylbenzene	0,554
2,5-dimethylhexane	0,380	2-methylnonane	0,119
2,4-dimethylhexane	0,460	3-ethyloctane	0,026
1c,2t,4-trimethylcyclopentane	0,140	3-methylnonane	0,116
3,3-dimethylhexane	0,037	1,2,4-trimethylbenzene	2,158
1t,2c,3-trimethylcyclopentane	0,038	i-butylcyclohexane	0,023
toluene	10,334	n-decane	0,792
2,3-dimethylhexane	0,303	1,2,3-trimethylbenzene	0,031
2-methyl-3ethylpentane	0,074	3-ethylnonane	0,008
2-methylheptane	0,709	2-3-dihydroindene	0,084
4-methylheptane	0,907	1,3-diethylbenzene	0,193
3,4-dimethylhexane	0,349	1,3-methyl-n-propylbenzene	0,156
1c,3-dimethylcyclohexane	0,040	1,4-diethylbenzene	0,181
3-methylheptane	1,384	1,2-diethylbenzene	0,063

1c,2t,3-trimethylcyclopentane	0,624	1,4-dimethyl-2-ethylbenzene	0,100
1t,4-dimethylcyclohexane	0,171	1,3-dimethyl-4-ethylbenzene	0,098
1,1-dimethylcyclohexane	0,060	1,2-dimethyl-4-ethylbenzene	0,204
3c-ethylmethylcyclopentane	0,018	n-undecane	0,109
3t-ethylmethylcyclopentane	0,016	1,2,4,5-tetramethylbenzene	0,145
2t-ethylmethylcyclopentane	0,025	tetrahydronaphthalene	0,058
1t,2-dimethylcyclohexane	0,151	ter-butyl-alcohol	22,979

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO

Efectivamente al mejorar la calidad de la gasolina, es necesario mencionar que ese aumento de calidad tiene un costo que se ve reflejado en el precio del combustible y el proceso que se debe incorporar para mejorar la calidad.

Para poder realizar la evaluación económica del presente proyecto, es preciso determinar los costos que se tendrían en la refinería para la puesta en marcha de los equipos que realizaran el mezclado de la gasolina con el nuevo aditivo en la Refinería Gualberto Villarroel este estudio se basa en la realización de inversiones, egresos, ingresos, valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Esos factores económicos permitirán analizar la viabilidad del proyecto para ello presentaremos nuestro flujo de caja proyectado a 5 años, en donde calcularemos un nuevo precio del carburante, precio del aditivo oxigenante, los costos y gastos en los cuales se incurrirían por la puesta en marcha del proyecto.

5.1. Criterios para la Evaluación Económica

5.1.1. Valor Actual Neto (VAN)

La función financiera de una tasa de descuento determina, calcula el valor presente neto de una inversión cuyos flujos netos de efectivo no tienen que ser necesariamente periódicos. La fórmula que permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN_{0,TD} = \sum_{i=0}^n \frac{FNF_i}{(1+TD)^i} \quad (5.1.)$$

Dónde:

FNF : Flujo Neto de Fondos

i : Periodo de evaluación

TD : Tasa de actualización o descuento

Los criterios de aceptación que se emplean para analizar la factibilidad del proyecto serán detallados a continuación:

Tabla 5.1: *Criterios para Interpretar el VAN*

Criterio	Descripción	Significado
VAN > 0	Al realizar la inversión se producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida.	El proyecto es aceptado.
VAN = 0	Al efectuarse la inversión no se producirá ganancia ni pérdida del capital.	El proyecto podría aceptarse tomando otros criterios.
VAN < 0	Al efectuarse la inversión, esta no será capaz de producir ganancias por lo que se traducirá en pérdida de capital.	El proyecto es rechazado

Fuente: Guía Metodológica de Preparación de Proyectos

5.1.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno de una inversión o proyecto es la tasa efectiva anual compuesta de retorno o tasa de descuento que hace que el valor actual neto de todos los flujos de efectivo (tanto positivos como negativos) de una determinada inversión sean igual a cero. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendría una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto.

La fórmula que permite calcular la tasa interna de retorno es:

$$VAN_{0,TIR} = \sum_{i=0}^n \frac{FNF_i}{(1+TIR)^i} = 0 \quad (5.2.)$$

Los criterios para la interpretación del TIR que mostrarán si el proyecto es aceptado nos darán una medida relativa de la rentabilidad, detalla en la siguiente tabla:

Tabla 5.2: *Criterios para Interpretar el TIR*

Criterio	Descripción	Significado
TIR > TD	El Proyecto es rentable	El proyecto es aceptado
TIR = TD	El Proyecto es Indiferente	El proyecto es indiferente
TIR < TD	El proyecto no es rentable	El proyecto no es aplicable

Fuente: Guía Metodológica de Preparación de Proyectos

5.1.3. Relación Beneficio/Costo (B/C)

Es el cociente que resulta de dividir el Valor Actual Neto de los ingresos (beneficio) entre el Valor Actual neto de los egresos (costo) actualizada a una tasa de descuento fijo. Es una medida relativa de rentabilidad y representa cuánto dinero ingresa al proyecto por cada unidad monetaria de egreso, es un indicador de rentabilidad que no tiene unidades, pues muestra un estudio de retorno financiero de la inversión, así también aspectos sociales y medioambientales del proyecto para la toma de decisión.

Matemáticamente se expresa:

$$B/C_{TD} = \frac{V.A.N.(B)_{0,TD}}{V.A.N.(C)_{0,TD}} = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1+TD)^i}}{\sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+TD)^i}} \quad (5.3.)$$

Dónde:

B_i : Beneficio

C_i : Costo ($B_i - FNF_i$)

Según el análisis costo-beneficio un proyecto de inversión será rentable cuando la relación costo-beneficio sea mayor que la unidad, y no será rentable cuando la relación costo-beneficio sea menor que la unidad, para una conclusión acerca de la viabilidad de un proyecto bajo este enfoque, se debe tener en cuenta la relación B/C tomando en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 5.3: *Criterios de Comparación de la Relación Beneficio y Costo*

Criterio	Descripción	Significado
$B/C > 1$	El Proyecto económicamente es rentable	El proyecto recomendable
$B/C = 1$	El Proyecto económicamente es Indiferente	El proyecto en equilibrio
$B/C < 1$	El proyecto económicamente no es rentable	El proyecto no recomendable

Fuente: Guía Metodológica de Preparación de Proyectos

5.1.4. Análisis de la Demanda y la Oferta

Para poder realizar el análisis económico es necesario conocer la demanda de gasolina especial que se tiene en el mercado interno, así como las refinerías que la producen y el porcentaje que representan cada una de ellas para su posterior comercialización. También la oferta es importante ya que la misma está en función de los campos petrolíferos que tiene Bolivia y está destinada exclusivamente para territorio nacional. A continuación, mostramos la demanda y oferta de la gasolina especial:

Tabla 5.4: *Demanda y Oferta de la Gasolina Especial*

Año	Demanda Mm³	Oferta Mm³	Año	Demanda Mm³	Oferta Mm³
2011	592.74	612.99	2019	1,400.81	1,085.03
2012	684.47	703.5	2020	1,510.38	1,093.36
2013	825.02	836.01	2021	1,584.68	1,286.08
2014	911.63	849.51	2022	1,692.68	1,480.86
2015	1,008.58	869.53	2023*	1,796.10	1,607.74
2016	1,103.13	859.47	2024*	1,891.80	1,640.80
2017	1,185.53	938.5	2025*	1,997.12	1,620.15
2018	1,290.18	1,071.33	2026*	2,112.66	1,663.88
			2027*	2,110.70	1,511.15

*Proyección de la Demanda y Oferta
Fuente: Ministerio de Hidrocarburos

Para una mejor visualización del comportamiento de la demanda y la oferta de la gasolina especial se muestra el siguiente gráfico:

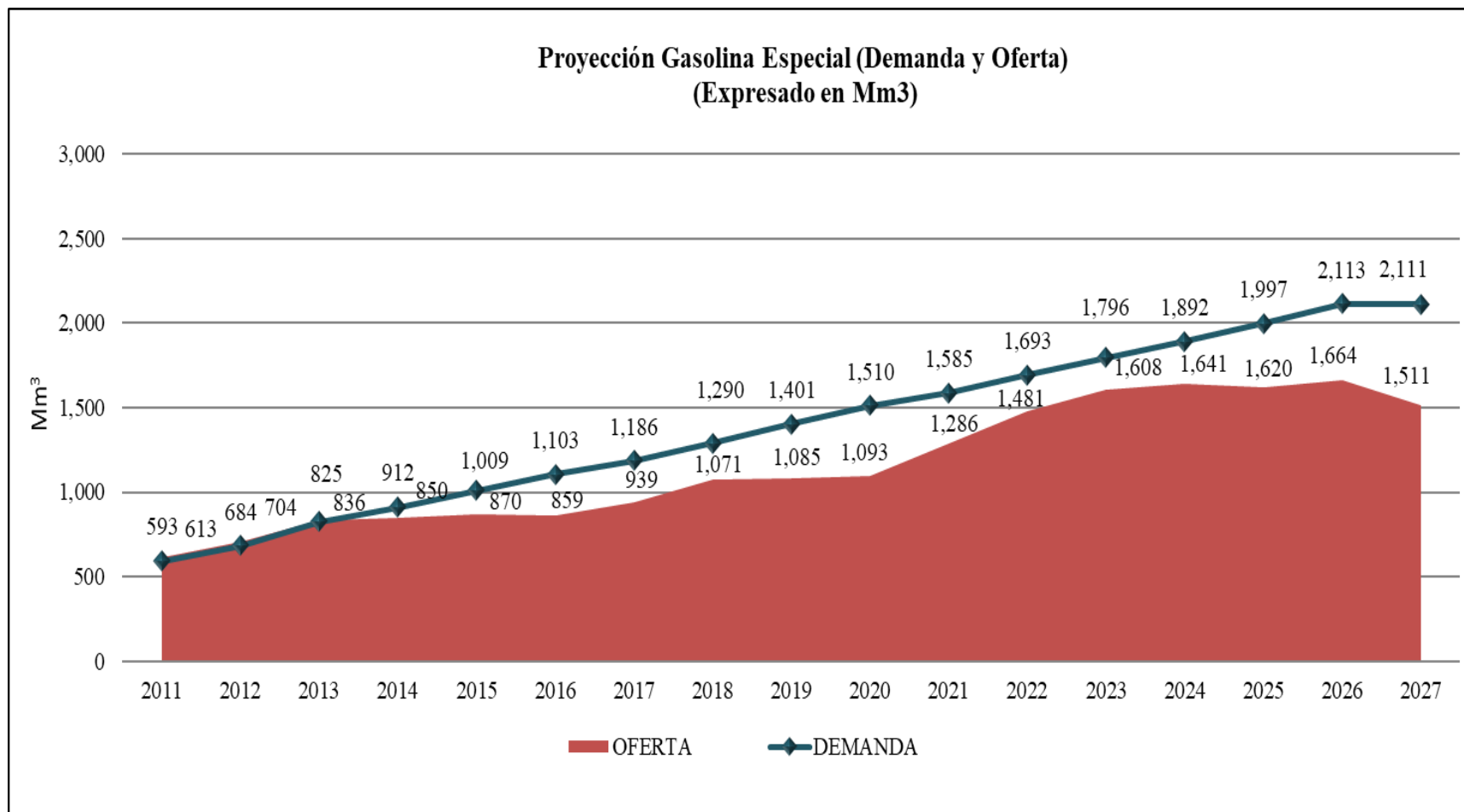


Figura 5.1: *Demanda y Oferta de la Gasolina Especial*
Fuente: Ministerio de Hidrocarburo

También es importante conocer la producción de la gasolina especial que es producto del procesamiento de las tres refinерías que están en funcionamiento en Bolivia detalladas a continuación:

Tabla 5.5: *Producción de la Gasolina Especial en las Refinerías de Bolivia*

Gestión	Gualberto Villaruel	Guillermo Elder Bell	Oro Negro	Total
	m³	m³	m³	m³
2011	367,347	241,559	4,082	612,988
2012	439,808	241,520	22,174	703,501
2013	524,103	270,411	41,500	836,014
2014	513,246	285,561	50,706	849,512
2015	542,163	273,206	54,162	869,531
2016	506,470	297,593	55,411	859,474
2017	527,553	355,937	55,013	938,503
2018	583,941	427,992	59,404	1,071,337
2019	549,874	481,618	53,537	1,085,030
2020	583,750	453,825	55,792	1,093,367
2021	731,592	502,641	51,846	1,286,079
2022	842,394	578,768	59,698	1,480,860

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos

5.1.5. Volumen Importado y Subvención de Gasolina Especial

También es necesario conocer cuánto es el volumen importado de gasolina especial que Bolivia importa para poder abastecer el consumo del mercado interno y la subvención que se realiza cada año por el Estado, ya que la producción que se tiene en las tres refinерías no es suficiente y esta diferencia es importada de diferentes países como: Chile, Argentina, Brasil y otros países mostrados en el Anexo I, la misma se la realiza en función de la demanda y la comercialización que se tienen en diferentes puntos del país. A continuación, mostramos la importación que realizó el Estado en la siguiente tabla:

Tabla 5.6: Importación de la Gasolina Especial

Año	Importación Mm³
2011	0.00
2012	0.00
2013	0.00
2014	51.50
2015	111.90
2016	191.60
2017	208.70
2018	201.00
2019	290.60
2020	367.30
2021	298.60
2022	211.80

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos

Como se puede observar Bolivia necesita importar gasolina especial desde el 2014 ya que la demanda aumenta cada año, y por lo tanto aumenta la subvención por el Estado de turno de este carburante con un precio internacional, como se muestra a continuación:

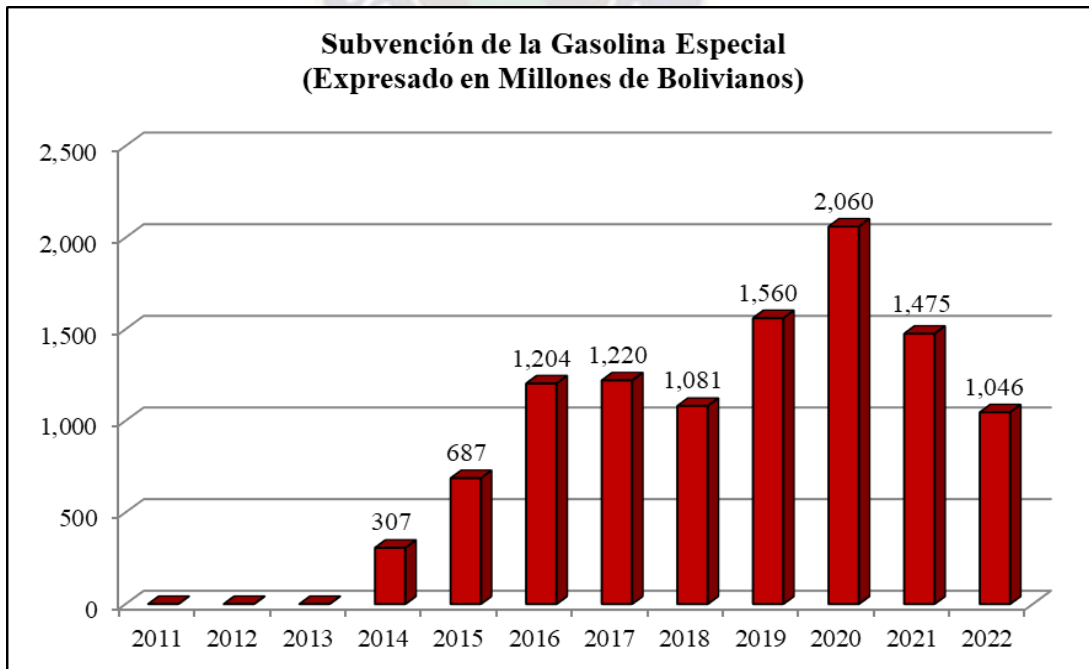


Figura 5.2: Subvención de la Gasolina Especial

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos

5.2. Evaluación Económica

Para realizar la evaluación económica se determinarán las inversiones que se realizarán para la puesta en marcha del blending de la Gasolina Magna.

5.2.1. Valoración Económica del Monto de Inversión

El monto de inversión se determina mediante el valor del capital fijo más el capital de trabajo. El primero se refiere a los costos que se incurren para construir los equipos para el blending de la Gasolina Magna y el segundo se refiere al capital necesario para garantizar el normal desarrollo del proceso productivo.

5.2.1.1. Capital Fijo

Para determinar el monto del capital fijo del blending de la gasolina es necesario escoger un método de cálculo para su estimación. En nuestro caso será el de los factores de costo, que corresponde a un método de factor múltiple en función del costo de los equipos puesto en el terreno. Para llevar a cabo la estimación del capital fijo mediante este método, primero es preciso e indispensable determinar el costo de los principales equipos del proceso puestos en el terreno, para posteriormente realizar los cálculos de las inversiones necesarias.

Tabla 5.7: Costo de Equipo (Puesto en FOB)

Equipo	Designación	Costo M\$us
Tanque de Almacenamiento	TK-1	762
Tanque de Almacenamiento	TK-2	373
Blending	MZ-1	806
Bomba	L-440	40
Bomba	L-120	50
Bomba	L-500	50
Total		M\$us 2.081

Fuente: Elaboración Propia

Mencionar que los precios de equipos tienen incluidos los costos de empaquetaduras, aislantes, bridas, codos, válvulas y otros. Asimismo, están expresados en valor FOB (Free On Board) que representa el precio de los equipos en el Puerto de Arica.

El costo de los equipos puesto en el terreno (CE) se determina mediante el valor del FOB más el CIF (Cost, Insurance and Freight) que representa el flete, los trámites aduaneros y el seguro de los equipos hasta el puerto de destino, más el transporte al lugar convenido, considerándolo el 20% del valor FOB.

Con respecto a los otros componentes del capital fijo se determinan en función de los costos de los equipos puestos en el terreno de la siguiente manera:

- Instalación de los equipos. Incluye el anclaje de los equipos en una localización geográfica específica dentro de los límites de la refinería. Representa entre 35-45% del CE y se ha elegido el valor del 35%.
- Tuberías y accesorios. Incluye el costo de compra e instalación de las tuberías, aislación, válvulas, etc. Representa entre 10-80% del CE y se ha elegido el valor del 20%.
- Instrumentación y control. Incluye el costo de compra, instalación y calibración del equipo de instrumentación y de control. Representa entre 10-40% del CE y se ha elegido el valor del 13%.
- Instalaciones eléctricas. Incluye el costo de compra e instalación del equipo eléctrico requerido incluyendo alambre, interruptores, equipos de emergencia, alumbrado, etc. Representa entre 8-14% del CE y se ha elegido el valor del 8%.
- Obras civiles. Incluye las edificaciones y estructuras. Representa entre 15-35% del CE y se ha elegido el valor del 15%.

- Delimitaciones. Incluye pavimentación, cercos, red contra incendios, áreas de parqueo, etc. Representa entre 5-18% del CE y se ha elegido el valor del 5%.
- Terreno. Es la parte fundamental por efectuar la construcción de la planta y representa entre 2-6% del CE y se ha elegido el valor del 2%.

Todos los componentes anteriores están directamente envueltos con la mano de obra y materiales requeridos para la construcción. Esta fracción del capital fijo se denomina activo fijo o costo directo.

Los costos que no están directamente envueltos con la mano de obra y materiales de la planta se denominan componentes indirectos o intangibles. Y son:

- Supervisión e ingeniería. Incluye costos de diseño de proceso e ingeniería general, supervisión del proyecto, planeamiento y control, inspecciones y costo de puesta en marcha. Representa entre el 8-20% del costo directo y se ha elegido el valor del 8%.
- Costo de construcción. Incluye las construcciones temporales, renta de herramientas y maquinarias, materiales y equipos necesarios durante la puesta en marcha para efectuar reparaciones, cambios o mejoras. Representa el 5-20% del costo directo y se ha elegido el valor del 10%.
- Utilidad del contratista. Este componente representa el 4-7% del costo directo y se ha elegido el valor del 4%.
- Contingencias e imprevistos. Para compensar por eventos no predecibles tales como tormentas, huelgas, cambios de precios, cambios pequeños en el diseño, errores en las estimaciones, etc. Representa entre 5-15% del costo directo y se ha elegido el valor del 5%.

5.2.1.2. Capital de Trabajo

Denominado también capital circulante, debido a que está en movimiento durante todo el tiempo de vida de los equipos hasta que se recupera al final, con los ingresos. Este dinero, no pierde valor en el tiempo, por lo tanto, no es depreciable, y es constante a lo largo de la operación de los equipos. Existen diferentes métodos para estimar su cuantía, en este caso se hará uso de un método global; en que el capital de trabajo se considera de un 10 a 30% del monto del capital fijo, y en este caso se supondrá un valor del 20% como valor promedio.

En la siguiente tabla se detallan los montos de inversión inicial:

Tabla 5.8: Monto de Inversiones

ACTIVO FIJO	
Equipos-Puesto en FOB	2.081,00
Transporte de FOB a CIF y lugar, 15%	312,15
Equipos puesto en el terreno (CE)	2.393,15
Instalación de equipos, 35% del CE	837,60
Tuberías y accesorios, 20% del CE	478,63
Instrumentación y Control 10% del CE	239,32
Instalaciones Eléctricas, 8% del CE	191,45
Obras civiles , 15% del CE	358,97
Delimitaciones, 5% del CE	119,66
Terreno, 3% del CE	47,86
Subtotal	M\$us 7.059,79
INTANGIBLE	
Supervisión e ingeniería, 8% del activo fijo	564,78
Costo de Construcción, 10% del activo fijo	705,98
Utilidad del Contratista, 4% del activo Fijo	282,39
Contingencias, 5% del activo fijo	352,99
Subtotal	M\$us 1.906,14
TOTAL INVERSIÓN CAPITAL FIJO (ICF)	
Activo Fijo + Intangible	8.965,94
TOTAL INVERSIÓN CAPITAL DE TRABAJO	
Capital de Trabajo, 20% del ICF	1.793,19
TOTAL MONTO DE INVERSIÓN	
Inversión Capital Fijo + Inversión Capital de Trabajo	M\$us 10.759,12

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2. Estimación de los Costos de Operación

Los costos totales de producción de la gasolina pueden ser calculados con una de las tres siguientes bases: diaria, por unidad de producto, o en base anual. En este caso se utilizará la base anual, debido a que permite un cálculo más rápido de los costos de operación. Los costos de operación engloban tanto como los costos de producción y los gastos generales que serán descritas a continuación:

5.2.2.1. Costos de Producción

Corresponden a todos los gastos directamente conectados con la operación de los equipos físicos en la refinería, a su vez los costos de producción se componen de costos directos de producción y los cargos fijos.

5.2.2.1.1. Costos Directos de Producción

- **Materia Prima**

En este caso se determinará el costo para tratar la materia prima en la refinería a partir de la cantidad de Gasolina Magna que se quiere producir cada año esto en base a la cadena de precios de los carburantes.

A continuación, mostraremos el margen de la refinería a partir de la cadena de precios de los carburantes para la Gasolina Magna:

Tabla 5.9: Margen de Refinería en la Cadena de Precios expresado en bolivianos por litro

PRODUCTO	Precio de Referencia (A)	Margen de Refinería (B)	Precio Ex-Refinería sin IVA C=(A+B)	IVA P.Ref. Mg Refinería	Precio Ex-Refinería incluye IVA D=C+IVA	Margen de Comp. (E)	IVA Mg Comp.	Margen Total Ex-Refinería incluye IVA F=D+E+IV A
Gasolina Magna	1,37	0,30	1,68	0,25	1,93	0,08	0,01	2,02

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos

Ahora calcularemos este costo en función del volumen total de Gasolina Magna que se producirá mostrada en la tabla Anexo F.

$$\text{Costo}_{\text{Materia Prima}} = V_{\text{Gasolina Magna}} * F_{\text{Margen Ex-Refinería}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Materia Prima}} = 99,15 \times 10^6 \frac{\text{litros}}{\text{año}} * 2,02 \frac{\text{Bs}}{\text{litro}} * \frac{1 \text{ \$us}}{6,96 \text{ Bs}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Materia Prima}} = 28.770,48 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

- **Mano de Obra Directa**

La mano de obra directa está asociada al proceso de fabricación del producto, y está referida al personal que opera en realidad los equipos, es decir, los operarios.

La operatividad será de 365 días al año, con respecto a la cantidad de gasolina que se producirá la plantilla de operarios estará dividida en dos turnos de trabajo cada turno compuesto de tres operarios y un supervisor y los trabajadores de fines de semana dividido en dos turnos compuesto por dos operarios y un supervisor estos tendrán un sueldo mayor que los que trabajan en días habituales.

Podemos aproximar que el sueldo de la mano de obra directa para un operario es de unos 500 \$us y del supervisor de 700 \$us por mes en ambos casos y que el número de pagas anuales es de 12 (incluye beneficios sociales), entonces se tendrá un sueldo anual por operador de 6.000 \$us, mientras que para el supervisor será 8.400 \$us. Así que el costo anual generado de mano de obra directa será:

De lunes a sábado:

$$3 \text{ operarios} * \frac{500 \text{ \$us}}{\text{mes} * \text{operario}} = \frac{1.500 \text{ \$us}}{\text{mes}}$$

$$\frac{1.500 \text{ \$us}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} = 18.000 \frac{\text{\$us}}{\text{año}}$$

$$1 \text{ supervisor} * \frac{700 \text{ \$us}}{\text{mes} * \text{supervisor}} = \frac{700 \text{ \$us}}{\text{mes}}$$

$$\frac{700 \text{ \$us}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} = 8.400 \frac{\text{\$us}}{\text{año}}$$

$$(8.400+18.000) \frac{\text{\$us}}{\text{año}} = 26.400 * 2 \text{ turnos} = 52.800 \frac{\text{\$us}}{\text{año}}$$

En domingos:

$$2 \text{ operarios} * \frac{153,8 \text{ \$us}}{\text{mes} * \text{operario}} = \frac{307,6 \text{ \$us}}{\text{mes}}$$

$$\frac{307,6 \text{ \$us}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} = 3.691,2 \frac{\text{\$us}}{\text{año}}$$

$$1 \text{ supervisor} * \frac{215,4 \text{ \$us}}{\text{mes} * \text{supervisor}} = \frac{215,4 \text{ \$us}}{\text{mes}}$$

$$\frac{215,4 \text{ \$us}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} = 2.584,8 \frac{\text{\$us}}{\text{año}}$$

$$(3.691,2+2.584,8) \frac{\text{\$us}}{\text{año}} = 6.276 * 2 \text{ turnos} = 12.552 \frac{\text{\$us}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Mano de Obra Directa}} = \left(52.800 \frac{\text{\$us}}{\text{año}} + 12.552 \frac{\text{\$us}}{\text{año}} \right)$$

$$\text{Costo}_{\text{Mano de Obra Directa}} = 65,35 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

- **Insumos Químicos**

En esta parte analizaremos la cantidad de oxigenante (Ter-Butil Alcohol) que se importara para producir la Gasolina Magna, donde determinaremos el costo del aditivo más el transporte hasta la refinería Gualberto Villarroel para así producir la gasolina con las especificaciones necesarias para cumplir la normativa europea.

Como se mostró en la parte práctica se necesitará un 22% de volumen del aditivo, según investigaciones realizadas el precio del aditivo estaría en 0,51 \$us el litro de aditivo que sería importada de la refinería de ENAP en Chile que está a cargo del 90% de todo el tratamiento de crudo en ese país, así como su distribución. Los cálculos del precio del oxigenante se detallan a continuación:

- Costo de la compra del aditivo oxigenante

$$\text{Costo}_{\text{TBA}} = V_{\text{TBA}} * \text{Precio}_{\text{TBA}}$$

$$\text{Costo}_{\text{TBA}} = \frac{21,4 \text{ Mm}^3}{\text{año}} * \frac{1 \times 10^6 \text{ litros}}{1 \text{ Mm}^3} * \frac{0,51 \text{ \$us}}{\text{litro}}$$

$$\text{Costo}_{\text{TBA}} = 10.738,97 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

- Costo del transporte del aditivo

$$\text{Costo Transporte}_{\text{TBA}} = V_{\text{TBA}} * F_{\text{Transporte}}$$

$$\text{Costo Transporte}_{\text{TBA}} = \frac{21,4 \text{ Mm}^3}{\text{año}} * \frac{1 \times 10^3 \text{ m}^3}{1 \text{ M}} * \frac{40 \text{ \$us}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Costo Transporte}_{\text{TBA}} = 856,66 \frac{\text{M\$us}}{\text{año}}$$

El costo total de la importación del aditivo

$$\text{Costo Total}_{\text{TBA}} = \text{Costo}_{\text{TBA}} + \text{Costo Transporte}_{\text{TBA}}$$

$$\text{Costo Total}_{\text{TBA}} = 10.738,97 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}} + 856,66 \frac{\text{M\$us}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo Total}_{\text{TBA}} = 11.595,63 \frac{\text{M\$us}}{\text{año}}$$

- **Mano de Obra Indirecta**

En la mano de obra indirecta se incluye al personal que no está en contacto con los equipos del proceso, como pueden ser: el jefe de planta, los vigilantes, entre otros. Esta mano de obra se calcula como un porcentaje de la mano de obra directa que puede oscilar entre el 15 y el 45%. Se ha previsto considerar el 20% de la mano de obra directa.

Así que el costo anual generado de mano de obra indirecta será:

$$\text{Costo}_{\text{Mano de Obra Indirecta}} = 0,2 * \text{Costo}_{\text{Mano de Obra Directa}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Mano de Obra Indirecta}} = 0,2 * 65,35 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Mano de Obra Indirecta}} = 13,07 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

- **Mantenimiento**

El gasto de mantenimiento hace referencia a las revisiones e inspecciones periódicas generalmente hechas por empresas externas. El valor de este apartado depende de las condiciones de operación, y va del 2% al 12% del capital fijo según tengamos procesos sencillos o procesos de extremo peligro. En este caso se ha considerado un valor del 2%.

$$\text{Costo}_{\text{Mantenimiento}} = 0,02 * \text{ICF}$$

$$\text{Costo}_{\text{Mantenimiento}} = 0,05 * 8.965,94 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Mantenimiento}} = 179,32 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

- **Seguros**

El costo de operación derivado de los seguros hace referencia al hecho de asegurar tanto instalaciones como equipos de la refinería. Se ha considerado un valor estándar el 1% del capital fijo.

$$\text{Costo}_{\text{Seguros}} = 0,01 * \text{ICF}$$

$$\text{Costo}_{\text{Seguros}} = 0,01 * 8.965,94 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Seguros}} = 89,66 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

- **Suministros**

El gasto derivado de los suministros hace referente a la adquisición de forma regular de materiales tales como lubricantes, herramientas, vestuario adecuado, útiles de escritorio, etc. El valor de este gasto está comprendido entre un 0,1% a 1,5% del capital fijo. En este caso se considera un valor del 0,3%.

$$\text{Costo}_{\text{Suministros}} = 0,003 * \text{ICF}$$

$$\text{Costo}_{\text{Suministros}} = 0,003 * 8.965,94 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Suministros}} = 26,0 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

- **Laboratorio**

Los gastos de laboratorio incluyen desde el control de calidad de los productos elaborados y de la materia prima, hasta la investigación para nuevos productos o mejoras de los que se están realizando. El valor para este gasto está comprendido entre un 5% a 25% de la mano de obra directa, pero como en este caso no se realiza una investigación específica y sólo se tendría como prioridad el control de calidad, entonces se considera un valor del 5%.

$$\text{Costo}_{\text{Laboratorio}} = 0,05 * \text{Costo}_{\text{Mano de Obra Directa}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Laboratorio}} = 0,05 * 65,35 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Laboratorio}} = 3,27 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

5.2.2.1.2. Cargos Fijos

- **Depreciación**

Este apartado hace referencia la manera de contabilizar el envejecimiento, el desgaste, el agotamiento u obsolescencia del capital fijo (ICF) con el tiempo. Se distribuye a lo largo de la vida útil de la planta, aproximadamente de unos 10 años.

Teniendo en cuenta una depreciación lineal y un valor de rescate igual al valor del terreno, la depreciación se calcula dividiendo el capital fijo depreciable entre el número de años de la vida útil de los equipos en la refinería; es decir:

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{ICF-Terreno}}{10 \text{ años}}$$

$$\text{Depreciación} = \frac{(8.965,94 - 47,86)\text{M\$us}}{10 \text{ años}}$$

$$\text{Depreciación} = 891,81 \frac{\text{M \$us}}{\text{años}}$$

5.2.2.2. Gastos Generales

Los gastos generales se componen de los gastos administrativos, distribución y venta; y se determinan por los ingresos de las ventas como productos terminados vendidos directamente a los consumidores.

- **Distribución**

Para comprender los gastos que se realizan para poder abastecer al mercado se tomarán en cuenta tres márgenes de la cadena de precios para la Gasolina Magna 95 que están en función del impuesto especial a los hidrocarburos y sus derivados, transporte, almacenaje tanto para el sector mayorista y minorista.

Tabla 5.10: Margen Pre-Terminal en la Cadena de Precios expresado en bolivianos por Litro

IEHD (G)	Transp. Por poliducto (H)	Transp Diferentes (I)	IVA Transporte s	Margen total Pre- Terminal J=G+H+I+IVA
1,23	0,04	0,07	0,02	1,36

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos

$$\text{Costo}_{\text{Distribución 1}} = V_{\text{Gasolina Magna}} * F_{\text{Margen Pre-Terminal}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Distribución 1}} = 99,15 \times 10^6 \frac{\text{litros}}{\text{año}} * 1,36 \frac{\text{Bs}}{\text{litro}} * \frac{1 \text{ \$us}}{6,96 \text{ Bs}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Distribución 1}} = 19.323,38 \frac{\text{M\$us}}{\text{año}}$$

Tabla 5.11: Margen Mayorista de la Cadena de Precios expresado en bolivianos por Litro

Margen de Almacenaje (K)	Margen Mayorista (L)	IVA Márgenes	Margen Total Mayorista M=(K+L)+IV A
0,04	0,08	0,02	0,14

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos

$$\text{Costo}_{\text{Distribución 2}} = V_{\text{Gasolina}} * F_{\text{Margen Mayorista}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Distribución 2}} = 99,15 \times 10^6 \frac{\text{litros}}{\text{año}} * 0,14 \frac{\text{Bs}}{\text{litro}} * \frac{1 \text{ \$us}}{6,96 \text{ Bs}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Distribución 2}} = 1.998,18 \frac{\text{M \$us}}{\text{año}}$$

Tabla 5.12: Margen Estación de Servicio de la Cadena de Precios expresado en bolivianos por Litro

Margen de estaciones de servicio minorista (N)	IVA Estaciones de Servicios	Margen Total de Estaciones de Servicio O=N+IVA
0,19	0,03	0,22

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos

$$\text{Costo}_{\text{Distribución 3}} = V_{\text{Gasolina}} * F_{\text{Margen Estaciones de Servicio}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Distribución 3}} = 99,15 \times 10^6 \frac{\text{litros}}{\text{año}} * 0,22 \frac{\text{Bs}}{\text{litro}} * \frac{1 \text{ \$us}}{6,96 \text{ Bs}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Distribución 3}} = 3.111,13 \frac{\text{M\$us}}{\text{año}}$$

Para el costo total de distribución sumaremos los tres costos, obteniendo:

$$\text{Costo}_{\text{Distribución}} = \text{Costo}_{\text{Distribución 1}} + \text{Costo}_{\text{Distribución 2}} + \text{Costo}_{\text{Distribución 3}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Distribución}} = 19.323,38 \frac{\text{M\$us}}{\text{año}} + 1.998,18 \frac{\text{M\$us}}{\text{año}} + 3.111,13 \frac{\text{M\$us}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo}_{\text{Distribución}} = 24.432,69 \frac{\text{M\$us}}{\text{año}}$$

5.2.3. Valoración Económica de los Ingresos

Los ingresos estarán delimitados por la demanda que generara la gasolina Magna, la misma dependerá de la importación de vehículos que cumplan la normativa europea con referencia a la tecnología que se utiliza para que el vehículo pueda reducir la contaminación al medio ambiente, este crecimiento del parque automotor representa el 4,2 % en promedio anual que consume gasolina que será cubierta con la producción de este carburante con las especificaciones necesarias ambientales como se muestra:

Tabla 5.13: *Proyección de la Demanda de la Gasolina Especial en Bolivia*

Año	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Demanda (Mm3)	1,841	1,940	2,037	2,130	2,221	2,310

Fuente: Elaboración Propia

Para hallar el crecimiento de la demanda de gasolina especial para el 2022 con respecto al 2021 se la realizara de la siguiente forma:

$$\text{Crecimiento} = \frac{\text{Demanda}_{2019} - \text{Demanda}_{2018}}{\text{Demanda}_{2019}} * 100\%$$

$$\text{Crecimiento} = \frac{1.940,44 - 1.841,29}{1.940,44} * 100\%$$

$$\text{Crecimiento} = 5,1\%$$

Ahora determinaremos la cantidad de Gasolina Magna que hay que producir para el 2022 de la siguiente forma:

$$\text{Producción de Gasolina Magna} = V_{\text{Gasolina Magna}} * F_{\text{Crecimiento}}$$

$$\text{Producción de Gasolina Magna} = 1.940,44 \frac{\text{MMm}^3}{\text{año}} * 0,051$$

$$\text{Producción de Gasolina Magna} = 99,15 \frac{\text{MMm}^3}{\text{año}}$$

Los ingresos que se tendrán por la venta de litro Gasolina Magna en las estaciones de servicio al consumidor estarán sujetas a la cadena de precio de los carburantes con un aumento en el precio por la incorporación de un margen de recuperación por lo cual el precio final del combustible será de 4,71 Bs/l, como se detalla a continuación:

Tabla 5.14: *Cadena de Precio de la Gasolina Magna*

Margen Total Ex-Refinería	Margen total Pre-Terminal	Margen Total Mayorista	Recuperación de Inversión	Margen Total de Estaciones de Servicio	Precio de la Gasolina Magna 95
2,02	1,36	0,14	0,98	0,22	4,71

Fuente: Elaboración Propia

Donde los ingresos que se percibirían por la venta de gasolina estarán dados de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Ingresos} &= V_{\text{Gasolina Magna}} * \text{Precio}_{\text{Venta}} \\ \text{Ingresos} &= 99,15 \times 10^6 \frac{\text{litros}}{\text{año}} * 4,71 \frac{\text{Bs}}{\text{litros}} * \frac{1 \text{ \$us}}{6,96 \text{ Bs}} \\ \text{Ingresos} &= 67,16 \frac{\text{MM \$us}}{\text{año}} \end{aligned}$$

De la misma manera calcularemos los ingresos para los siguientes años tomando como base la demanda de gasolina magna que se necesitara, los resultados se encuentran ya calculados se tienen en la tabla 5.15.

5.2.4. Estudio del Rendimiento Económico

A partir de los datos obtenidos anteriormente y teniendo en cuenta un tiempo operativo de 7 años a partir del primer año podremos determinar las entradas y salidas de dinero del proyecto, las cuales son conocidas como Flujo Neto de Fondo (F.N.F.).

A continuación, se detalla la fórmula para la determinación de los Flujos Netos de Fondos económicos anuales:

$$\text{F.N.F.} = (\text{ING}_i - \text{EGR}_i - \text{D}_i) * (1 - t) + \text{D}_i - \text{INV}_i \quad (5.4.)$$

Donde:

i: Año (0, 1, 2, 3, ..., n)

FNF: Flujo Neto de Fondos

ING: Ingresos

EGR: Egresos (Gastos de Operación)

D: Depreciación de activo fijo

t: Tasa impositiva

VS: Valor de rescate

INV: Monto de Inversión Total (Capital fijo y Capital de trabajo)

La ecuación anterior del FNF se determina en función de las siguientes tablas:

Tabla 5.15: Estado de Ganancias y Pérdidas Proyectada expresado en MM\$us

Año Calendario	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Año de Operación	1	2	3	4	5	6	7
Ingresos	67.16	132.38	195.77	257.38	317.30	375.57	432.24
Egresos	41.64	80.83	118.93	155.96	191.97	226.99	261.05
Utilidad Bruta	25.53	51.55	76.84	101.42	125.33	148.58	171.19
Gastos Generales	24.43	48.16	71.22	93.63	115.43	136.62	157.24
Utilidad de Operación	1.10	3.39	5.62	7.79	9.90	11.96	13.95
Depreciación	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
Renta Neta	0.20	2.50	4.73	6.90	9.01	11.06	13.06
Impuesto a la Renta	0.05	0.63	1.18	1.73	2.25	2.77	3.26
Utilidad Neta	0.15	1.88	3.55	5.18	6.76	8.30	9.79

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.16: Flujo de Caja Proyectada expresado en MM\$us

Año Calendario	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Año de Operación	0	1	2	3	4	5	6	7
Inversión Capital Fijo	- 8.97							
Inversión Capital de Trabajo		1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79
Total Inversión	- 8.97	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79
Utilidad Neta		0.15	1.88	3.55	5.18	6.76	8.30	9.79
Depreciación		0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
Flujo Neto de Fondo	- 8.97	- 0.75	2.77	4.44	6.07	7.65	9.19	12.48

Fuente: Elaboración Propia

Resolviendo la ecuación (5.1.) para el cálculo del valor actual neto de la tabla 5.15 obtendremos:

$$VAN_{0,15\%} = \frac{-8,97}{(1 + 0,15)^0} + \frac{-0,75}{(1 + 0,15)^1} + \frac{2,77}{(1 + 0,15)^2} + \frac{4,44}{(1 + 0,15)^3} + \frac{6,07}{(1 + 0,15)^4} + \frac{7,65}{(1 + 0,15)^5} + \frac{9,19}{(1 + 0,15)^6} + \frac{12,48}{(1 + 0,15)^7}$$

$$VAN_{0,15\%} = 9,86 \text{ MM\$us}$$

Dado que en V.A.N. es mayor que cero, se concluye que el proyecto es rentable desde el punto de vista económico.

Ahora para el cálculo del T.I.R. se la realiza de la tabla 5.15 con la ecuación (5.2.):

$$VAN_{0,TIR} = \frac{-8,97}{(1+TIR)^0} + \frac{-0,75}{(1+TIR)^1} + \frac{2,77}{(1+TIR)^2} + \frac{4,44}{(1+TIR)^3} + \frac{6,07}{(1+TIR)^4} + \frac{7,65}{(1+TIR)^5} + \frac{9,19}{(1+TIR)^6} + \frac{12,48}{(1+TIR)^7} = 0$$

$$TIR = 36,2 \%$$

Para los valores de la tabla 5.14 y 5.15 la relación Beneficio/Costo es:

$$VAN(B)_{0,15\%} = \frac{67,16}{(1+0,15)^1} + \frac{132,38}{(1+0,15)^2} + \frac{195,77}{(1+0,15)^3} + \frac{257,38}{(1+0,15)^4} + \frac{317,30}{(1+0,15)^5} + \frac{375,57}{(1+0,15)^6} + \frac{432,24}{(1+0,15)^7} = 917,0 \text{ MM}\$us$$

$$VAN(C)_{0,15\%} = \frac{8,97}{(1+0,15)^0} + \frac{67,91}{(1+0,15)^1} + \frac{129,62}{(1+0,15)^2} + \frac{191,33}{(1+0,15)^3} + \frac{251,32}{(1+0,15)^4} + \frac{309,65}{(1+0,15)^5} + \frac{366,38}{(1+0,15)^6} + \frac{419,76}{(1+0,15)^7} = 787,54 \text{ MM}\$us$$

$$\frac{B}{C_{15\%}} = \frac{V.A.N.(B)_{0,15\%}}{V.A.N.(C)_{0,15\%}} = \frac{917,0}{787,54} = 1,16$$

5.2.5. Periodo de recuero de la inversión (Pay Out Time)

Como su nombre lo indica, es el periodo en que se recupera la inversión, en otras palabras, es el tiempo en que el Valor Actual Neto acumulado se hace cero.

A continuación, se muestra los resultados del cálculo del Valor Actual Neto acumulado y de la determinación del Periodo de Recuero de la Inversión.

Tabla 5.17: Evolución de la Rentabilidad

Año	0	1	2	3	4	5	6	7
F.N.F.	- 8,97	- 0,75	2,77	4,44	6,07	7,65	9,19	12,48
V.A.N. Acumulado	- 8,97	- 9,71	- 6,95	- 2,51	3,56	11,21	20,40	32,88

Fuente: Elaboración Propia

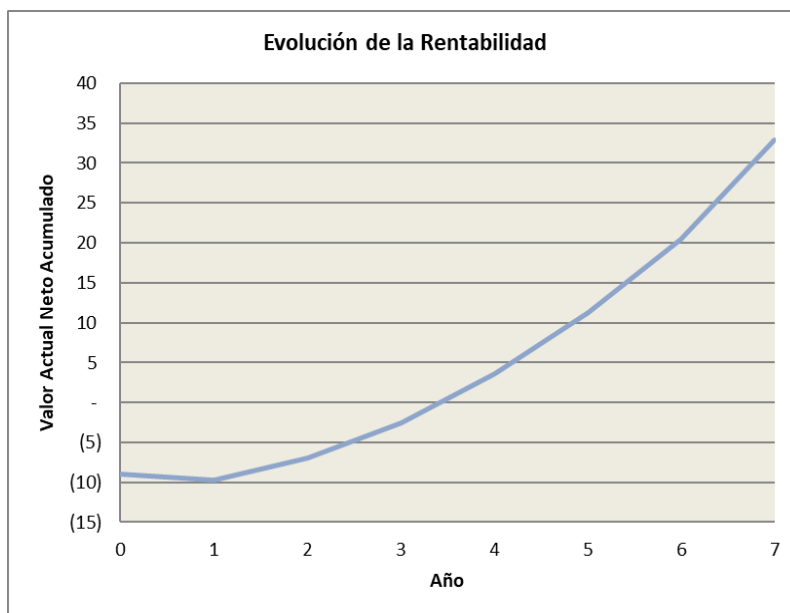


Figura 5.3: V.A.N. Acumulado y Periodo de Recupero de Inversión

Fuente: Elaboración Propia

Según la figura 5.3 se puede apreciar el progreso de la rentabilidad económica (Valor Actual Neto Acumulado) con el transcurrir de los años, observando el valor negativo hasta los 3 años y 6 meses es negativo y después de ello es positivo lo que quiere decir que después de 3 años se generara una rentabilidad.

Realizando un resumen de los indicadores de rentabilidad como se muestra en la tabla 5.18 se muestra la evaluación económica de la refinería para la producción de la gasolina magna obteniéndose los siguientes indicadores económicos

Tabla 5.18: Resultados de Indicadores Económicos

Indicador de Rentabilidad		Conclusión
V.A.N.	9,86	Rentable
T.I.R.	36,2%	Recomendable
B/C	1,16	Recomendable
Pay Out Time	3 años y 6 meses	Aceptable

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- ✓ Como consecuencia de lo expuesto podemos indicar que la aplicación de la Normativa Euro IV con el aditivo oxigenante Ter Butil Alcohol da paso a la adecuación de la gasolina especial como un nuevo combustible acorde a las exigencias medio ambientales, con los parámetros necesarios para su comercialización.
- ✓ Asimismo, se pudo analizar algunas propiedades para cumplen con la normativa europea como lo son el octanaje en la mejora de la combustión en el motor, también se evidencio un aumento de la densidad y una disminución del RVP los cuales se encuentran en los rangos aceptables que especifica la Euro IV.
- ✓ De igual forma se pudo evidenciar la disminución de los contaminantes atmosféricos que se generan por el parque automotor a través de parámetros de emisión que se obtuvieron del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, mostrando así que la puesta en marcha del proyecto reduciría de alguna manera la contaminación y pondría al país como un referente en respetar normas ambientales.
- ✓ Con las nuevas exigencias según la normativa europea se promoverá al cambio de tecnología en el parque automotor, para adaptar los vehículos a las nuevas exigencias de emisión de contaminantes al medio ambiente.

6.2. Recomendaciones

- ✓ Analizar alternativas para un mejor suministro del aditivo de mercados vecinos a Bolivia para así reducir costos de importación, mejorando los aranceles de suministro de esta materia a la refinería Gualberto Villarroel.

- ✓ Extender los estudios expuestos en este proyecto acerca de ampliar los volúmenes de producción hacia las demás refinerías para abarcar la totalidad de la producción de gasolina, provocando de esta manera el cambio de tecnología en su totalidad del parque automotor en Bolivia.
- ✓ Trabajar en mejorar el modelo utilizado en este proyecto con la implementación de políticas por parte del gobierno central en base a pruebas a la gasolina especial para cumplir con los estándares básicos de calidad que exige la Normativa Euro IV.



BIBLIOGRAFIA

- Kosh, F. 2018, Red de Monitoreo de Calidad del Aire. Pagina Siete.
- Morcillo, Jesús 1989, Temas básicos de química. Alhambra Universidad.
- Fert Tutoriales 2014, Slideshare: Gasolina y Octanaje. Universidad Técnica del Norte.
Recuperado de: <http://www.slideshare.net>.
- Jose B.C. 2013, Pemex: Que es el Octanaje. Recuperado de: <http://www.pemex.com>.
- D. Maldonado 2011, Slideshare: Aplicaciones de Ter-Butanol. Recuperado de:
<http://www.slideshare.net>.
- Virginia A. 2017, Chemicalland21: Propiedades de Ter-Butanol. Recuperado de:
<http://www.chemicalland21>.
- Fundación Vida Sostenible. 2015, Catalizadores Málaga: Normativa Europea. Recuperado de: <http://www.catalizadoresmalaga.com>.
- P. Ibañez 2014, MotorPasión: Filtro de Partículas. Recuperado de:
<http://www.motorpasion.com>.
- D. Villarreal 2015, DiarioMotor: AdBlue. Recuperado de: <http://www.diariomotor.com>.
- K. Garcia. 2018, Pemex: Refinación de Crudos. Recuperado de: <http://www.pemex.com>.
- D. Tapia. 2017, Petroecuador: Refinería Esmeralda. Recuperado de:
<http://www.petroecuador.com>.
- Nelson, W.L. 1974, Refinación de Petróleos, Editorial Reverte, Barcelona España).
- Erenesto M.A. y Yolanda D. 2004, Contaminación atmosférica. Universidad de Castilla-La Mancha..
- Mecánicos y Refacciones. 2016, e-auto: Emisiones Contaminantes. Recuperado de:
<http://www.e-auto.com>.

- T. Aliaga 2016, Reducción de los Gases Contaminantes. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Daniel M. 2014, Aficionados a la Mecánica: Emisiones Contaminantes. Recuperado de: <http://www.aficionadosalamecanica.com>.
- Cristian L.G.2008, Ecologistas en Acción: Partículas PM2,5. Recuperado de: <http://www.ecologistasenacion.com>.
- Daniel M. 2014, Aficionados a la Mecánica: Sistemas Anticontaminación. Recuperado de: <http://www.aficionadosalamecanica.com>.
- Madeleine D. 2018, Scribd: Catalizador. Recuperado de: <http://www.scribd.com>.
- Josue G.A. 2018, Taringa: Convertidor Catalítico. Recuperado de: <http://www.taringa.net>.
- TekniWiki: Catalizador, 2014. Recuperado de: <http://www.tekniwiki.com>.
- Cristóbal B. 2017, Yara: SCR Technology. Recuperado de: <http://www.yara.com>.
- Christian. M.L. 2015, Estudio de los Efectos de Apertura de la Válvula EGR. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca..
- Ileana D.L. 2004, Eliminación Catalítica de Óxidos de Nitrógeno. Universidad Nacional de la Plata.
- J. Martin 2019, Motor Pasión: Catalizador de Reducción Catalítica. Recuperado de: <http://www.motorpasion.com>
- Ambiente en Acción. 2016, Euro IV. Ministerio de Ambiente del Perú.
- Instituto Nacional de Estadística (INE) parque automotor.
- Ministerio de Hidrocarburos, producción de las refinerías.
- Yacimientos Petrolíferos Fiscales de Bolivia Plan Estratégico Institucional (PEI).
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (INE), características de nuestros carburantes.

ANEXOS

- Anexo A: Glosario
- Anexo B: Ficha Técnica de Propiedades de la Gasolina según Norma Euro IV
- Anexo C: Diagramas de Flujo de Procesos de la Refinería Gualberto Villarroel
- Anexo D: Diseño de los Equipos de Proceso
- Anexo D.1: Tanques de Almacenamiento
- Anexo E: Proyección de los Costos Directos de Producción
- Anexo F: Proyección del Volumen de Gasolina Magna a Producir
- Anexo G: Proyección del Ingreso Bruto por la Producción de Gasolina Magna
- Anexo H: Reporte Histórico de Volumen de Gasolina Especial Producida en la Refinería Gualberto Villarroel
- Anexo I: Principales Países de Importación de Gasolina Especial en Bolivia

Anexo A: Glosario

Aditivo antidetonante para gasolina: Ingrediente que se añade a las gasolinas para mejorar su número de octano.

Amoniaco: Es el nombre comercial de un producto químico utilizado para para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) que producen los motores de ciclo gasolina Adblue es la marca registrada del producto AUS32, una disolución de urea de alta pureza en agua desmineralizada, en un porcentaje del 32,5 %. El producto desencadena un proceso que se denomina reducción catalítica selectiva (RCA o SCR en inglés).

Autoencendido: Inflamación espontánea y extraordinariamente rápida de la mezcla aire-combustible durante la fase de compresión. La inflamación es provocada por un aumento de la temperatura de la cámara de combustión que es capaz de producir la inflamación sin la intervención de una fuente exterior (la chispa de la bujía o un depósito sobrecalentado).

Blending: Proceso de mezcla de componentes mediante el cual se obtiene los productos comerciales con las especificaciones requeridas por el mercado. Pueden ser: Blending de fuels marinos, Blending de gasolinas, Blending de gasóleos, etc.

Carbonilla: La carbonilla viene de una acumulación de hidrocarburo no quemado (gasolina, aceite) que se coloca sobre las paredes del motor. Con el calor se cristaliza para formar un depósito carbonizado

Carga: Cantidad de materia prima que se alimenta a una planta para su proceso y transformación en otros productos.

Catalizador: Sustancias que facilitan las reacciones químicas, dado que aumentan la velocidad con que se producen o, en casos reducidos, las retardan (catalizadores inhibidores). Su finalidad puede estar determinada y encauzarse a obtener productos deseables o bien se

utilizan para liberar a un producto específico de sustancias indeseables. Terminada la reacción química que desencadena el catalizador, este último regresa a su estado químico original.

CFR (Costo y flete o Cost and Freight): Incoterm que va seguido del nombre del puerto de destino convenido. El vendedor se hace cargo de todos los costos de entrega, incluido el flete, hasta que la mercancía llegue al puerto de destino. Sin embargo, el seguro se transfiere al comprador en el momento que la mercancía pasa la borda del buque, en el país de origen. El incoterm CFR sólo se utiliza para transporte en barco, ya sea marítimo o fluvial.

CIF (Costo, seguro y flete o Cost, Insurance and Freight): Incoterm que va seguido del nombre del puerto de destino convenido. El vendedor se hace cargo de todos los costos de entrega, incluidos el flete y el seguro, hasta que la mercancía llegue al puerto de destino. El incoterm CIF se utiliza para cualquier transporte, pero sobretodo barco, ya sea marítimo o fluvial.

Combustible: Material que al combinarse con el oxígeno, se inflama con desprendimiento del calor. Sustancia capaz de producir energía por procesos distintos al de oxidación (tales como una reacción química), incluyéndose también los materiales fisionables y fusionables.

Combustión: Fenómeno o cambio químico en el que los materiales se combinan rápidamente con el oxígeno y producen luz y calor. También se le conoce como oxidación rápida.

Compuesto Oxigenado: Los compuestos oxigenados son aquellos que contienen un enlace carbono-oxígeno. Este puede ser sencillo o doble.

Condensado: Hidrocarburos líquidos que se producen junto con el gas natural y que se separan de él por enfriamiento o compresión o ambos. Tiene las características de una nafta

o gasolina ligera que requiere de tratamiento posterior para su uso como combustible o materia prima para petroquímica.

Contaminación ambiental: Contaminación de los medios naturales en grado tal que puede resultar perjudicial para las personas, animales, plantas u objetos, causando un deterioro en la calidad de la vida o un desequilibrio ecológico.

Curva de destilación: Curva que caracteriza las propiedades de vaporización de mezclas de líquidos, que es representativa de una destilación en condiciones definidas y que se traza relacionando el porcentaje de volumen destilado o recuperado con la temperatura a la cual es destilado. Las pruebas reportan esta característica como las temperaturas a las cuales los diferentes porcentajes de la muestra han hervido.

Destilación: Proceso de separación de componentes de una mezcla líquida por vaporización parcial y la recuperación separada del vapor y el residuo. Mediante este proceso se logra aumentar la concentración del componente más ligero o volátil en la fase de vapor y del pesado o residuo en la fase líquida. La eficiencia de separación dependerá de la volatilidad relativa de los componentes y del diseño del equipo de destilación. Este proceso puede aplicarse en muchas mezclas de productos, binarias (de dos productos) o multicomponentes (varios productos). Las variantes de esta operación son la destilación súbita (*flash*), rectificación, destilación fraccionada y destilación azeotrópica, entre otras.

ECU (Unidad de Control del Motor): Es la unidad de control electrónico que regula el motor. Se trata del corazón de un sistema electrónico compuesto por sensores y actuadores en la que los sensores informan a la unidad central y ésta envía la orden necesaria a los actuadores para transformar dicha información inicial. La función de los sensores es la de registrar diversos parámetros sobre el funcionamiento del vehículo (tales como las revoluciones del motor, temperatura de los sistemas, señal de la posición del acelerado).

Emisión: Acción por la que un cuerpo despidе o emite radiaciones eléctricas, caloríficas o de cualquier tipo. Descarga de gases y partículas hacia la atmósfera a través de una chimenea o venteo.

EOBD (Diagnostico a Bordo Europeo): El sistema EOBD funciona a través de sensores que están estrechamente relacionados con la centralita o computadora del vehículo; cuando se presenta una falla, este sistema enciende una luz de advertencia en el tablero de instrumentos para que el conductor haga el respectivo análisis o diagnóstico.

Flete: Precio pagado por el alquiler de un buque o el transporte de carga por mar, aire o tierra.

FOB (Franco a bordo o Free On Board): Incoterm que va seguido del nombre del puerto de embarque convenido. El vendedor entrega la mercancía en el momento en que la carga sobrepasa la borda del buque en el puerto de embarque convenido; en ese momento se traspasan los riesgos de pérdida o daño de la mercancía del vendedor al comprador. El incoterm FOB se utiliza para transporte en barco, ya sea marítimo, fluvial o transporte aéreo.

Fracción o corte: Grupo de hidrocarburos o componentes del petróleo que poseen propiedades o características similares y que se separan en el proceso de la destilación primaria. Las fracciones de la destilación del petróleo gradualmente se dividen en cinco que son: gas licuado, nafta o gasolina, kerosene, gasóleo o diesel y residuo. Cada una de estas fracciones puede a su vez dividirse en subfracciones, por ejemplo: nafta ligera, nafta media y nafta pesada.

Fraccionamiento: Nombre genérico del proceso de separación de una mezcla en sus componentes o fracciones por medio de la destilación.

Gas licuado: En términos genéricos se refiere a cualquier gas que se ha condensado o licuado. En la industria petrolera se denomina así a la mezcla de propano y butano

comprimido y licuado. Proviene ya sea de líquidos del gas natural y gasolina natural o de los procesos de refinación de crudo.

Gas natural: Es una mezcla de hidrocarburos, generalmente gaseosos presentes en forma natural en estructuras subterráneas. Consiste principalmente de metano (80%) y proporciones significativas de etano, propano y butano; también, alguna cantidad de condensado y/o aceite asociado con el gas.

GASCÓN (Concentración de gases): En lenguaje de refinería al conjunto de hidrocarburos ligeros C_1 a C_4 se les denomina ligeros o “light ends”. La función de la unidad de concentración de gases es la de tratar estas corrientes separando los compuestos de forma que permita su utilización en la propia refinería o su venta como producto comercial.

Gasolina: Nombre comercial que se aplica de una manera amplia a los productos más ligeros de la destilación del petróleo. En la destilación del petróleo crudo la gasolina es el primer corte o fracción que se obtiene. En su forma comercial es una mezcla volátil de hidrocarburos líquidos con pequeñas cantidades de aditivos, apropiada para usarse como combustible en motores de combustión interna con ignición por chispa eléctrica, con un rango de destilación de aproximadamente 27 a 225° C.

Gasolina natural: Gasolina que se encuentra en forma de rocío en el gas natural y que al igual que los condensados se recuperan del gas natural por enfriamiento o compresión. Es un líquido similar a la gasolina pero más ligero, volátil e inestable, debido a su menor peso molecular y a que contiene disueltos vapores de pentanos, butanos y propano; es además de bajo octano, por lo cual generalmente se somete a los procesos de fraccionamiento, reformación o isomerización, antes de mezclarse como componente de las gasolinas.

GLP (Gas licuado de petróleo o Liquefied Petroleum Gas): Este compuesto de propano, butano o una mezcla de los dos, la cual puede ser total o parcialmente licuada bajo presión

con objeto de facilitar su transporte y almacenamiento. El GLP puede utilizarse para cocinar, para calefacción o como combustible automotriz.

Hidrocarburo: Cualquier compuesto o mezcla de compuestos, sólido, líquido o gas que contiene carbono e hidrógeno como el carbón, petróleo crudo y gas natural.

Hidrotratamiento: El hidrotratamiento es actualmente uno de los procesos químicos más importantes en las refinerías, debido a la capacidad de tratar crudos más pesados y ácidos, y de obtener productos con las especificaciones requeridas, ya que la legislación ambiental es más restrictiva, con el fin de proteger el medio ambiente. El proceso consiste en la adición de hidrógeno de alta pureza a alta presión, en presencia de catalizadores selectivos, para inducir las reacciones de hidrogenación, con el fin de saturar los compuestos aromáticos o eliminar elementos como azufre, nitrógeno u oxígeno.

Hidrobon: A la corriente procedente de la zona de pre-fraccionamiento hacia la zona de Hydrobón, se le inyecta hidrógeno derivado del absorbedor de la zona de Platforming, pasando, posteriormente, por un intercambiador hacia un horno de cuatro pasos donde la corriente es precalentada antes de su paso al reactor de Hydrobón. De este reactor la corriente sale libre de metales, azufre, haluros y nitrógeno.

Hollín: El hollín es un subproducto de la combustión incompleta de materiales orgánicos (es decir, que contienen carbono) como madera, aceite combustible, plásticos y desechos de los hogares. El polvo fino de color negro o café puede contener una cantidad de carcinógenos como arsénico, cadmio y cromo.

Incoterms: Son un conjunto de normas internacionales para la interpretación de los términos de intercambio comercial más comunes. Estos definen las posiciones en donde comienzan y terminan los riesgos de los embarcadores, transportadores y consignatarios.

Isómero: Compuesto que tiene la misma composición química y la misma fórmula empírica que otro, pero distinta estructura molecular, por lo que sus propiedades físicas o químicas y sus reacciones no son las mismas.

Isomerización: Se define isomerización como el proceso químico mediante el cual una molécula es transformada en otra que posee los mismos átomos, pero dispuestos de forma distinta. De este modo, se dice que la primera molécula es un isómero de la segunda, y viceversa. En algunos casos y para algunas moléculas, la isomerización puede suceder espontáneamente. De hecho, algunos isómeros poseen aproximadamente la misma energía de enlace, lo que conduce a que se presenten en cantidades más o menos iguales que se interconvierten entre sí. La diferencia de energía existente entre dos isómeros se denomina energía de isomerización.

Líquidos de Gas Natural (LGN): Son aquellos hidrocarburos provenientes de formaciones productivas de gas natural que son licuados en las instalaciones de campo o en plantas de separación de gas natural. Los líquidos del gas natural incluyen al etano, propano, butano y gasolina natural.

Mezcla Estequiométrica: La relación ideal entre aire y combustible para que la combustión se realice del modo más eficiente posible se denomina mezcla estequiométrica. Esta relación de proporciones se mide en gramos, siendo diferente dependiendo del tipo de combustible al que nos refiramos.

Modulación por Ancho de Pulso (PWM): Una señal de modulación de ancho de pulso, es un método para generar una señal analógica utilizando una fuente digital. Una señal PWM consta de dos componentes principales que definen su comportamiento: un ciclo de trabajo y una frecuencia. El ciclo de trabajo describe la cantidad de tiempo que la señal está en un estado alto (encendido) como un porcentaje del tiempo total que se tarda en completar un

ciclo. La frecuencia determina qué tan rápido el PWM completa un ciclo (es decir, 1000 Hz serían 1000 ciclos por segundo) y, por lo tanto, qué tan rápido cambia entre los estados alto y bajo.

Naftas: Las naftas son una mezcla de hidrocarburos que se encuentran refinados, parcialmente obtenidos en la parte superior de la torre de destilación atmosférica: naftas livianas y pesada o de la torre de fraccionamiento de una unidad de craqueo catalítico: nafta craqueada. Estas naftas se diferencian por el rango de destilación y octanaje, las cuales después son utilizadas para la producción de diferentes tipos de gasolinas. Las naftas son altamente inflamables por lo cual su manejo y almacenamiento requieren de un proceso extremadamente cuidadoso y especial.

Octanaje o número de octano: Es una medida de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas para evitar las detonaciones y explosiones en las máquinas de combustión interna, de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil. Esta se determina mediante corridas de prueba en un motor, de donde se obtienen dos parámetros a diferentes condiciones:

- El RON, Research Octane Number (Número de octano de investigación), se determina según la norma ASTM D2699, efectuando una velocidad de 600 revoluciones por minuto (rpm) y a una temperatura de entrada de aire de 125 °F (51,7 °C).
- El MON, Motor Octane Number (Número de octano del motor), se obtiene mediante una corrida de prueba según la norma ASTM D2700, en una máquina operada a una velocidad de 900 revoluciones por minuto y con una temperatura de entrada de aire de 300 °F (149 °C).

El octanaje se mide usando una escala arbitraria de número de octano. En esta escala, se dio a los hidrocarburos iso-octano (que es poco detonante) un índice de octano de 100; y al n-

heptano (que es muy detonante), un índice de octano de cero. Así, por ejemplo, si una gasolina presenta propiedades antidetonantes similares a una mezcla de 95% de iso-octano y 5% de n-heptano, se dice que tiene un número de octano de 95. Si una gasolina presenta bajo octanaje origina problemas tales como la generación de detonaciones o explosiones en el interior de las máquinas de combustión interna, aparejado esto con un mal funcionamiento y bajo rendimiento del combustible, cuando el vehículo está en movimiento, asociado a una elevada emisión de contaminantes.

Planta de proceso: Para los procesos de refinación del petróleo es el área industrial en la cual se transforman las sustancias que se manejan, siguiendo procesos petroquímicos o de refinación.

RBN (Research Blending Number): Índice de mezcla del RON, utilizado para linealizar la función RON con la composición volumétrica de varios componentes en una mezcla de gasolinas.

Refinación: Conjunto de procesos industriales empleados para transformar los petróleos crudos en productos derivados tales como: nafta, gas-oil, kerosene, solventes lubricantes, asfalto, etc.

Refinería: Complejo de instalaciones en el que el petróleo crudo se separa en fracciones ligeras y pesadas, las cuales se convierten en productos aprovechables e insumos.

Reformado: La reformación catalítica es un proceso químico utilizado en el refino del petróleo. Es fundamental en la producción de gasolina. Su objetivo es aumentar el número de octano de la nafta pesada obtenida en la destilación atmosférica del crudo. Esto se consigue mediante la transformación de hidrocarburos parafínicos y nafténicos en isoparafínicos y aromáticos. Estas reacciones producen también hidrógeno, un subproducto valioso que se aprovecha en otros procesos de refino. Para ello se utilizan altas temperaturas

(490-530 °C), presiones moderadas (10-25 bar) y catalizadores sólidos de platino y otros metales nobles soportados sobre alúmina

Tecnología: Aplicación con propósitos prácticos del conocimiento obtenido de ciencia pura.

Tetraetilo de Plomo: Líquido incoloro de fórmula $(C_2H_5)_4Pb$ que aún se usa ampliamente como antidetonante para las gasolinas. Es extremadamente tóxico por absorción a través de la piel y por inhalación de los vapores; éstos entran a la atmósfera a partir de las emisiones de las estaciones de servicio (gasolineras). Su presencia en la gasolina causa la emisión de partículas de plomo en el escape de los vehículos, lo que contribuye a la contaminación atmosférica y puede causar daños graves a la salud de los expuestos, en particular, en el sistema nervioso.

Unidad de Isomerización: Esta unidad tiene por finalidad de aumentar el índice de octanos de gasolina ligera separada en la unidad de ligeros. Esto se consigue transformando las n-parafinas en isoparafinas, de tal forma que el n-hexano tiene un índice de octanos de 24 mientras que el 2,2-dimetilbutano presenta un índice de 94. Consiste en un proceso catalítico en presencia de catalizadores ácidos (normalmente zeolitas) que favorecen la formación de carbocationes cuyo mecanismo de reacción conduce a isoparafinas. La carga es la nafta ligera separada en el splitter de nafta. La conversión no es muy alta por lo que hay una recirculación de hidrocarburos no transformados.

Unidad de Rectificación Catalítica: La nafta desulfurada se mezcla con una corriente de hidrógeno de reciclaje y después de ser precalentada en un tren de intercambio, pasa al horno de carga donde vaporiza completamente. De allí entra en los reactores de reformado. Es un proceso muy endotérmico, por lo que se lleva a cabo en varios reactores en serie entre los que hay intercalados hornos de recalentamiento. En las unidades más antiguas los reactores (tres o cuatro) son de lecho fijo. En este tipo de reactor el catalizador se desactiva con el

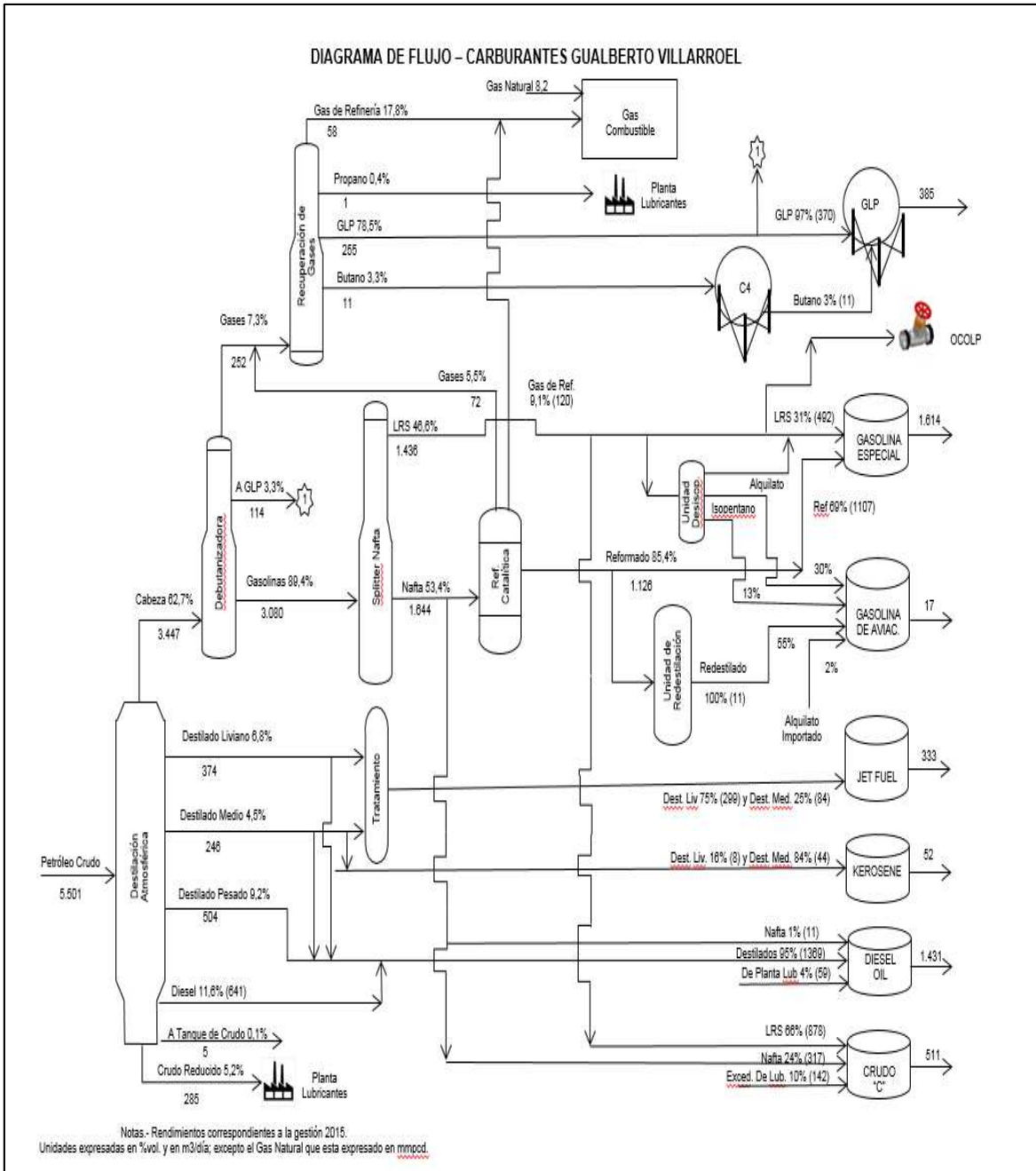
tiempo, debido a la formación de coque que se deposita sobre los centros activos de platino y los bloquea. Por ello es necesario parar la unidad cada dos o tres años para regenerarlo con la pérdida de producción que ello supone. En 1971 UOP introdujo la variante denominada CCR (Continuos Catalyst Reforming), donde los reactores son de lecho móvil descendente, y que permite la regeneración continua del catalizador de platino. Para ello se utiliza un reactor adicional donde se produce la combustión del coque con aire. Además, dado que el coque ya no es un problema, el CCR se diseña para trabajar a menos presión y mayor temperatura, lo que permite obtener un producto con un número de octano mayor que en el proceso original. Después de los reactores el producto se enfría y depresiona para separar el hidrógeno del producto líquido de la reacción.

Volatilidad: Tendencia de un líquido a pasar a su fase de vapor. Las sustancias volátiles despiden vapores a las temperaturas ambientales. En la industria de refinación del petróleo, esta propiedad es muy importante tanto en los crudos como en los productos. Las mezclas de hidrocarburos, como la gasolina, pueden clasificarse como volátiles debido a que contienen componentes que se evaporan con facilidad. Para ello se controla su presión de vapor, determinación que refleja

Anexo B: Ficha Técnica de Propiedades de la Gasolina según Norma Euro IV

Características	Unidad de medida	Límites (1)		Métodos de ensayo		
		Mínimos	Máximos	En EN 228 (2)	Normas ASTM (13)	Normas UNE (13)
Densidad a 15 °C.	kg/m ³	720	775	EN ISO 3675:1998	D 1298	EN ISO 3675
Índice de octano research (RON).		95,0	–	EN ISO 12185:1996/C1:2001	D 4052	EN ISO 12185
Índice de octano motor (MON).		85,0	–	EN 25165:1993	D 2699	EN ISO 25164
Presión de vapor (DVPE). Verano (3).	kPa	45	60	EN 25163:1993	D 2700	EN 25163
Invierno (4).		50	80	EN ISO 13016-1:2000	–	EN 13016-1
Destilación:						
Evaporado a 70°C verano (3).	%v/v	20	48	EN ISO 3405:2000	D 86	EN ISO 3405
invierno (4).	%v/v	22	50			
Evaporado a 100°C.	%v/v	46	71			
Evaporado a 150°C.	%v/v	75	–			
Punto final.	°C	–	210			
Residuo.	%v/v	–	2			
VLI (10VP+7E70) (5).		–	1.050		–	
Análisis de los hidrocarburos:						
olefinas (6) (7) (8).	%v/v	–	18,0	ASTM D 1319:1995	D 1319	
aromáticos (6)(7)(8).	%v/v	–	42,0	ASTM D 1319:1995	D 1319	
benceno.	%v/v	–	1,0	EN 12177:1998		EN 12177
				EN 238:1996	D 2267	EN 238
Contenido de oxígeno.	%m/m	–	2,7	EN 1601:1997		
				EN ISO 13132:2000		EN 13132 EN 1601
Oxigenados:	%v/v			EN 1601:1997		
Metanol (9).		–	3	EN ISO 13132:2000		EN 13132 EN 1601
Etanol (10).		–	5			
Alcohol isopropílico.		–	10			
Alcohol ter5-butílico.		–	7			
Alcohol iso-butílico.		–	10			
Éteres que contengan 5 átomos o más de carbono por molécula.		–	15			
Otros compuestos oxigenados (11).		–	10			
Contenido de azufre (12).	mg/kg	–	150	EN ISO 14596:1998		EN ISO 14596
				EN ISO 8754:1995		EN ISO 8754
				EN 24260:1994		EN 24260
Contenido de plomo.	g/l	–	0,005	EN 237:1996	D 3237	EN 237
Corrosión lámina de cobre. (3 horas a 50 °C).	escala	–	Clase 1	EN ISO 2160:1998	D 130	EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación.	minutos	360	–	EN ISO 7536:1996	D 525	EN ISO 7536
Contenido de gomas actuales (lavadas).	mg/100ml	–	5	EN ISO 6246:1997	D 381	EN ISO 6246

Anexo C: Diagramas de Flujo de Procesos de la Refinería Gualberto Villarroel



Anexo D: Diseño de los Equipos de Proceso

Anexo D.1: Tanques de Almacenamiento

- **Tiempo de residencia**

A la hora de dimensionar los tanques se ha fijado un tiempo de residencia de 2 días, tanto para la materia prima como para los líquidos obtenidos.

- **Factor de seguridad**

Mediante los balances de materia se obtiene el volumen útil de cada compuesto, es decir, el volumen mínimo necesario que se ha de almacenar. Para evitar posibles tensiones en el caso de variaciones de caudal o bien en el movimiento del fluido como consecuencia de operaciones de carga y descarga, así como medida de seguridad, se sobredimensiona el tanque mediante un factor de seguridad. De esta manera se obtiene el volumen real de cada tanque.

El factor de seguridad se ha estimado en un 15% del volumen útil; por tanto, se aplicará un factor de seguridad de 1.15 al volumen del tanque necesario con el fin de tener los tanques llenos en un 85% de su volumen total.

- **Volumen del tanque**

El cálculo del volumen total de los tanques de almacenaje se realiza con la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q \times \tau \times f}{\rho} \quad (\text{H.1})$$

Donde: V : Volumen del tanque (m^3)

Q : Caudal másico (Kg/h)

τ : Tiempo de residencia (horas)

f : Factor de seguridad

ρ : Densidad del fluido (Kg/m³)

- Se determinará el caudal másico de aditivo para la determinación del volumen.

$$\frac{3.495,8 \text{ Barril}}{\text{día}} * \frac{159 \text{ litros}}{1 \text{ Barril}} * \frac{0,789 \text{ Kg}}{\text{litro}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} = 18.272,98 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

El volumen del tanque que albergará el aditivo según la ecuación (H1) será:

$$V = \frac{18.272,98 \times 48 \times 1,15}{789} = 1.278,41 \text{ m}^3$$

- Se determinará el caudal másico de gasolina magna para la determinación del volumen.

$$\frac{15.890 \text{ Barril}}{\text{día}} * \frac{159 \text{ litros}}{1 \text{ Barril}} * \frac{0,7554 \text{ Kg}}{\text{litro}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} = 79.521,9 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

- El volumen del tanque que albergará a la gasolina magna será:

$$V = \frac{79.521,9 \times 48 \times 1,15}{755,4} = 5.810,97 \text{ m}^3$$

- **Relación diámetro-altura**

Generalmente estos tanques atmosféricos son de elevado diámetro y baja altura, optándose de la relación óptima:

$$D/H = 2,5 \quad (\text{H.2})$$

Para el diseño de los tres tanques de la planta, siempre con el objetivo de utilizar la cantidad mínima de material.

El volumen total se reparte en todo el cuerpo cilíndrico del tanque, por lo tanto:

$$V_{\text{Tanque}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H \quad (\text{H.3})$$

Reemplazando (H.2) en (H.3) y despejando D:

$$D = \left(\frac{4 \times 2,5 \times V_{\text{tanque}}}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{H.4})$$

➤ Las dimensiones del tanque que alberga al aditivo oxigenante será:

$$D = \left(\frac{4 \times 2,5 \times 1.278,41}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} = 15,96 \text{ m}$$

De (H.2): $H = 6,38 \text{ m}$

➤ Las dimensiones del tanque que alberga a la gasolina magna será:

$$D = \left(\frac{4 \times 2,5 \times 5.810,97}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} = 26,44 \text{ m}$$

De (H.2): $H = 10,57 \text{ m}$

- **Presión y temperatura de diseño del tanque**

En tanques atmosféricos, la presión de diseño se calcula en función de la presión de operación y de la presión hidrostática ejercida por el líquido:

$$P_{\text{Diseño}} = P_{\text{Operación}} + P_{\text{Hidrostática}} \quad (\text{H.5})$$

En donde, la presión hidrostática es:

$$P_{\text{Hidrostática}} = h_{\text{líquido}} \times g \times \rho_{\text{líquido}} \quad (\text{H.6})$$

Donde: h : Altura del líquido confinado en el tanque (m)

ρ : Densidad del líquido confinado en el tanque (Kg/m^3)

g : Constante gravitacional (m/s^2)

La altura del líquido se obtiene igualando el volumen ocupado por el fluido (teniendo en cuenta el factor de seguridad) al volumen de un cilindro:

$$85\% \times V_{\text{tanque}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times h_{\text{líquido}} \quad (\text{H.7})$$

La temperatura de diseño se calcula en función de la temperatura de operación:

$$T_{\text{Diseño}} = T_{\text{Operación}} + 20^{\circ} C \quad (\text{H.8})$$

➤ La presión y temperatura de diseño del tanque que almacenará el aditivo oxigenante será:

$$h_{\text{líquido}} = \frac{0,85 \times 1.278,41 \times 4}{\pi \times (15,96)^2} = 5,43 \text{ m}$$

$$\text{De (H.6): } P_{\text{Hidrostática}} = 5,43 \times 9,778 \times 789 = 41.904,48 \text{ kg/m.s}^2 = 41,9 \text{ KPa}$$

$$41,9 \text{ KPa} \times \frac{10^3 \text{ Pa}}{1 \text{ KPa}} \times \frac{1 \text{ atm}}{101325 \text{ Pa}} = 0,41 \text{ atm}$$

$$\text{De (H.5): } P_{\text{Diseño}} = 1 \text{ atm} + 0,41 \text{ atm} = 1,41 \text{ atm}$$

La temperatura de operación a la que se encuentran el tanque es la ambiental, porque se encuentran a la intemperie.

$$\text{De (H.8)} \quad T_{\text{Diseño}} = 25^{\circ} C + 20^{\circ} C = 45^{\circ} C$$

➤ La presión y temperatura de diseño del tanque que alberga a la gasolina magna será:

$$h_{\text{líquido}} = \frac{0,85 \times 5.810,97 \times 4}{\pi \times (26,44)^2} = 9 \text{ m}$$

$$\text{De (H.6): } P_{\text{Hidrostática}} = 9 \times 9,778 \times 755,4 = 66.447,98 \text{ kg/m.s}^2 = 66,45 \text{ KPa}$$

$$66,45 \text{ KPa} \times \frac{10^3 \text{ Pa}}{1 \text{ KPa}} \times \frac{1 \text{ atm}}{101325 \text{ Pa}} = 0,66 \text{ atm}$$

$$\text{De (H.5): } P_{\text{Diseño}} = 1 \text{ atm} + 0,66 \text{ atm} = 1,66 \text{ atm}$$

La temperatura de operación a la que se encuentran el tanque es la ambiental, porque se encuentran a la intemperie.

De (H.8) $T_{\text{Diseño}} = 25^{\circ} C + 20^{\circ} C = 45^{\circ} C$

- **Espesor del tanque**

Para el cálculo del espesor requerido del tanque de almacenamiento se han considerado como controlantes los esfuerzos inducidos por la carga de presión interna. Cabe indicar que todo el tanque presentará un espesor constante, siendo éste el mayor de los requeridos para el fondo y el casco cilíndrico.

El procedimiento de cálculo a seguir en la determinación del espesor de la carcasa cilíndrica será según la norma API 650:

Tabla H.1 Espesor Mínimo de Carcasa para Tanques

Diámetro Nominal del Tanque		Espesor Mínimo de la Carcasa del Tanque	
(m)	(ft)	(mm)	(in)
D < 15	D < 50	5	3/16
15 < D < 36	50 < D < 120	6	¼
36 < D < 60	120 < D < 200	8	5/16
D > 60	D > 200	10	3/8

Nota: No incluye margen por corrosión (c)

Fuente: Norma API 650

Tabla H.2 Espesores Comerciales de Pared de Recipientes

Unidades	Valores							
In	1/16	3/32	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2
Mm	1,6	2,4	4,8	6,4	7,9	9,5	11,1	12,7
In	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16	1
Mm	14,3	15,9	17,5	19,1	20,6	22,2	23,8	25,4
In	1 1/16	1 1/8	1 3/16	1 1/4	1 5/16	1 3/8	1 7/16	1 1/2
Mm	27,0	28,6	30,2	31,8	33,3	34,9	36,5	38,1

Fuente: Manual de recipientes a presión – Eugene F. Megyesy

- Espesor del tanque que alberga el aditivo oxigenante será:

Exigido por la norma API 650:

$$D_{\text{Carc.Cil.}} = 15,96 \text{ m } \in (15 \text{ m}, 36 \text{ m}) \rightarrow t_{\text{Min}} = 6 \text{ mm} + c$$

$$\text{Asumimos para aceros al carbono} \rightarrow c = 2,54 \text{ mm}$$

Por consiguiente, $t_{\text{Min}} = 8,54 \text{ mm}$

Finalmente, el valor del espesor de la carcasa cilíndrica ha de ser mayor o igual a 8,54 mm, al cual le corresponde un espesor comercial de 9,5 mm.

- Espesor del tanque que alberga a la gasolina magna será:

Exigido por la norma API 650:

$$D_{\text{Carc.Cil.}} = 26,44 \text{ m } \in (15 \text{ m}, 36 \text{ m}) \rightarrow t_{\text{Min}} = 6 \text{ mm} + c$$

$$\text{Asumimos para aceros al carbono} \rightarrow c = 2,54 \text{ mm}$$

Por consiguiente, $t_{\text{Min}} = 8,54 \text{ mm}$

Finalmente, el valor del espesor de la carcasa cilíndrica ha de ser mayor o igual a 8,54 mm, al cual le corresponde un espesor comercial de 9,5 mm.

Anexo E: Proyección de los Costos Directos de Producción

COSTOS DIRECTOS	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Materia Prima	28,770.48	56,708.17	83,859.49	110,253.47	135,919.11	160,879.64	185,155.37
Mano de Obra Directa	65.35	65.35	65.35	65.35	65.35	65.35	65.35
<u>Insumos</u>							
TBA	11,595.63	22,855.61	33,798.65	44,436.45	54,780.71	64,840.78	74,624.85
Mano de Obra Indirecta	13.07	13.07	13.07	13.07	13.07	13.07	13.07
Mantenimiento	179.32	179.32	179.32	179.32	179.32	179.32	179.32
Seguros	89.66	89.66	89.66	89.66	89.66	89.66	89.66
Suministros	26.90	26.90	26.90	26.90	26.90	26.90	26.90
Laboratorio	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27
Subtotal (M\$us/año)	40,743.67	79,941.34	118,035.70	155,067.48	191,077.39	226,097.99	260,157.78
CARGOS FIJOS							
Depreciación	891.81	891.81	891.81	891.81	891.81	891.81	891.81
Subtotal (M\$us/año)	891.81	891.81	891.81	891.81	891.81	891.81	891.81
TOTAL DE COSTO DE PRODUCCIÓN							
Costo Directos + Cargos Fijos (M\$us/año)	41,635.48	80,833.14	118,927.51	155,959.29	191,969.19	226,989.79	261,049.58
TOTAL DE GASTOS GENERALES							
Distribución (M\$us/año)	24,432.69	48,158.14	71,215.79	93,630.29	115,426.26	136,623.44	157,239.05
TOTAL COSTO DE OPERACIÓN							
Costo de Producción + Gastos Generales (M\$us/año)	66,068.16	128,991.28	190,143.30	249,589.58	307,395.46	363,613.23	418,288.64

Fuente: Elaboración Propia

Anexo F: Proyección del Volumen de Gasolina Magna a Producir

Detalle	2,022	2,023	2,024	2,025	2,026	2,027	2,028
Volumen de Gasolina Especial	1,940.44	2,036.72	2,130.29	2,221.25	2,309.70	2,395.72	2,479.38
Determinacion de Factor de Crecimiento	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
Volumen de la Gasolina Magna a Producir	99.15	195.43	289.00	379.96	468.41	554.43	638.09
Volumen de Gasolina Especial a Tratar	77.73	153.22	226.58	297.89	367.23	434.67	500.26
Volumen de Aditivo Oxigenante	21.42	42.21	62.42	82.07	101.18	119.76	137.83

Fuente: Elaboración Propia

Anexo G: Proyección del Ingreso Bruto por la Producción de Gasolina Magna

Detalle	2,022	2,023	2,024	2,025	2,026	2,027	2,028
Volumen de la Gasolina Magna	99.15	195.43	289.00	379.96	468.41	554.43	638.09
Factor Materia Prima	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02
Factor Distribucion 1	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Factor Distribucion 2	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Factor Distribucion 2	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
Factor de Ganancia	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
Costo de Materia Prima	28,770.48	56,708.17	83,859.49	110,253.47	135,919.11	160,879.64	185,155.37
Costo de Distribucion 1	19,323.38	38,087.42	56,323.31	74,050.53	91,288.59	108,053.05	124,357.58
Costo de Distribucion 2	1,998.18	3,938.52	5,824.25	7,657.37	9,439.92	11,173.49	12,859.49
Costo de Distribucion 3	3,111.13	6,132.20	9,068.24	11,922.38	14,697.76	17,396.90	20,021.98
Ingreso de Reucuperacion	13,960.78	27,517.44	40,692.53	53,500.11	65,954.28	78,066.29	89,846.01
Costo Aditivo	10,738.97	21,167.09	31,301.69	41,153.60	50,733.65	60,050.50	69,111.75
Costo Transporte Aditivo	856.66	1,688.52	2,496.96	3,282.85	4,047.06	4,790.28	5,513.10
Total Costo Aditivo	11,595.63	22,855.61	33,798.65	44,436.45	54,780.71	64,840.78	74,624.85
Ingreso Bruto	67.16	132.38	195.77	257.38	317.30	375.57	432.24

Fuente: Elaboración Propia

Anexo H: Reporte Histórico de Volumen de Gasolina Especial Producida en la Refinería Gualberto Villarroel

REFINERIA GUALBERTO VILLARROEL											
AÑO	MES	Petróleo Crudo		GLP (m3)	GASOLINA ESPECIAL (m3)	GASOLINA AVIACION (m3)	KEROSENE (m3)	JET FUEL (m3)	DIESEL OIL (m3)	CRUDO RECONSTITUIDO (m3)	ACETES BASE (m3)
		Recepción (m3)	Elaboración (m3)								
2017	Enero	151,781.2	141,136.7	10,776.6	45,763.1	643.3	1,605.5	10,264.4	36,022.8	18,038.4	2,187.0
	Febrero	132,401.0	128,017.5	9,588.1	44,338.4	1,318.3	1,272.9	9,597.8	33,264.1	18,504.2	1,940.1
	Marzo	149,042.0	139,839.3	10,457.2	47,195.8	903.2	1,639.3	9,484.3	35,941.3	15,320.2	2,231.4
	Abril	132,160.0	136,665.1	10,133.6	43,592.3	676.3	1,481.0	10,005.7	34,143.7	25,513.0	2,243.6
	Mayo	121,842.4	92,353.2	6,846.7	23,549.5	49.3	1,812.7	3,462.0	25,780.4	30,413.4	775.0
	Junio	135,524.7	141,840.8	9,912.0	38,634.5	1,030.8	1,668.2	10,214.3	35,212.7	28,432.6	1,254.0
	Julio	152,594.6	141,832.9	10,586.0	45,727.3	684.1	1,552.9	9,595.5	37,635.7	22,619.0	2,109.6
	Agosto	148,664.6	143,367.4	9,506.4	43,556.7	686.9	1,674.7	8,487.8	40,202.4	27,154.0	2,167.7
	Septiembre	156,292.4	138,393.4	9,093.4	52,730.4	0.0	1,258.4	10,104.7	36,020.8	16,180.6	2,079.8
	Octubre	159,770.2	142,936.4	9,956.8	48,769.3	693.9	1,796.8	10,965.4	35,711.2	21,028.8	2,098.4
	Noviembre	128,698.4	127,536.0	9,481.6	44,624.8	683.4	1,549.0	6,662.4	33,689.0	23,690.9	2,052.2
	Diciembre	157,790.2	159,359.2	10,444.9	49,071.2	701.5	1,543.2	10,159.5	41,545.3	24,472.3	2,043.7
TOTAL	1,726,561.8	1,633,277.8	116,783.2	527,553.0	8,070.9	18,854.7	109,003.9	425,169.5	271,367.4	23,182.5	
2018	Enero	137,124.6	127,507.9	9,735.9	50,654.6	581.2	1,450.4	9,273.2	32,544.2	16,296.6	1,975.8
	Febrero	119,615.8	115,655.6	8,662.2	49,077.6	1,191.0	1,150.0	8,671.0	30,052.0	16,717.4	1,752.8
	Marzo	134,649.8	126,335.8	9,447.4	52,240.4	815.9	1,481.0	8,568.4	32,470.6	13,840.8	2,015.9
	Abril	119,398.0	123,468.1	9,155.0	48,251.7	610.9	1,338.0	9,039.5	30,846.6	23,049.4	2,027.0
	Mayo	110,076.8	83,435.1	6,185.6	26,066.6	44.5	1,637.6	3,127.7	23,290.9	27,476.5	700.1
	Junio	122,437.9	128,144.0	8,954.8	42,763.9	931.3	1,507.1	9,228.0	31,812.4	25,687.0	1,132.9
	Julio	137,859.3	128,136.9	9,563.8	50,614.9	618.0	1,403.0	8,668.9	34,001.5	20,434.8	1,905.9
	Agosto	134,308.9	129,523.2	8,588.4	48,212.3	620.6	1,513.0	7,668.2	36,320.3	24,531.8	1,958.4
	Septiembre	141,200.1	125,029.5	8,215.3	58,366.5	0.0	1,136.9	9,128.9	32,542.5	14,618.1	1,879.0
	Octubre	144,342.1	129,133.8	8,995.3	53,982.1	626.9	1,623.3	9,906.5	32,262.8	18,998.2	1,895.8
	Noviembre	116,270.7	115,220.5	8,566.0	49,394.6	617.4	1,399.4	6,019.1	30,435.9	21,403.2	1,854.0
	Diciembre	142,553.2	143,970.7	9,436.3	54,316.2	633.7	1,394.2	9,178.5	37,533.5	22,109.1	1,846.4
TOTAL	1,559,837.1	1,475,561.1	105,506.1	583,941.0	7,291.6	17,034.0	98,478.0	384,113.2	245,162.9	20,943.9	

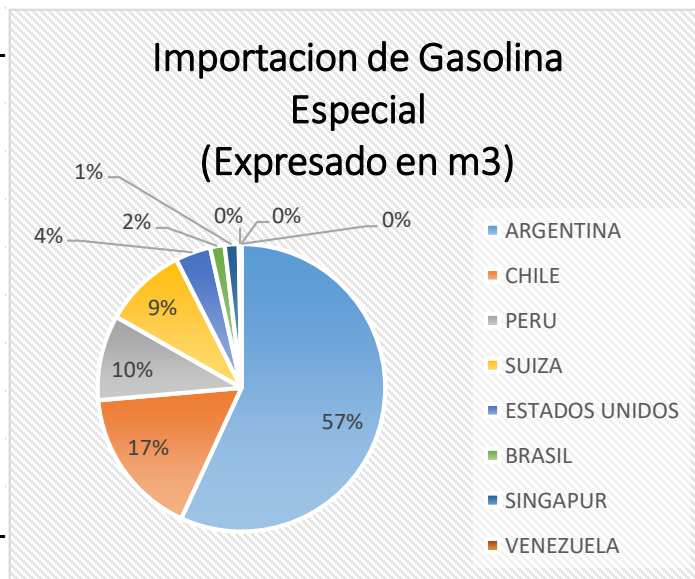
REFINERIA GUALBERTO VILLARROEL											
AÑO	MES	Petróleo Crudo		GLP (m3)	GASOLINA ESPECIAL (m3)	GASOLINA AVIACION (m3)	KEROSENE (m3)	JET FUEL (m3)	DIESEL OIL (m3)	CRUDO RECONSTITUIDO (m3)	ACETES BASE (m3)
		Recepción (m3)	Elaboración (m3)								
2019	Enero	145,620.0	135,407.5	10,339.1	47,699.4	617.2	1,540.3	9,847.7	34,560.5	17,306.2	2,098.2
	Febrero	127,026.5	122,820.9	9,198.9	46,214.4	1,264.8	1,221.2	9,208.2	31,913.8	17,753.1	1,861.4
	Marzo	142,991.9	134,162.8	10,032.7	49,192.7	866.5	1,572.8	9,099.3	34,482.3	14,698.3	2,140.8
	Abril	126,795.2	131,117.5	9,722.2	45,436.7	648.8	1,420.9	9,599.5	32,757.7	24,477.4	2,152.6
	Mayo	116,896.5	88,604.3	6,568.8	24,545.9	47.3	1,739.1	3,321.5	24,733.9	29,178.8	743.5
	Junio	130,023.4	136,083.1	9,509.6	40,269.1	989.0	1,600.5	9,799.7	33,783.3	27,278.4	1,203.1
	Julio	146,400.3	136,075.5	10,156.3	47,662.0	656.3	1,489.9	9,206.0	36,108.0	21,700.8	2,023.9
	Agosto	142,629.9	137,547.7	9,120.5	45,399.6	659.0	1,606.7	8,143.3	38,570.5	26,051.7	2,079.7
	Septiembre	149,948.0	132,775.6	8,724.3	54,961.4	0.0	1,207.3	9,694.5	34,558.6	15,523.8	1,995.4
	Octubre	153,284.7	137,134.2	9,552.6	50,832.8	665.7	1,723.9	10,520.3	34,261.6	20,175.2	2,013.3
	Noviembre	123,474.2	122,358.9	9,096.7	46,512.9	655.7	1,486.1	6,392.0	32,321.5	22,729.2	1,968.9
	Diciembre	151,385.0	152,890.3	10,020.9	51,147.4	673.0	1,480.6	9,747.1	39,858.9	23,478.9	1,960.8
TOTAL	1,656,475.6	1,566,978.3	112,042.6	549,874.0	7,743.3	18,089.3	104,579.1	407,910.6	260,351.8	22,241.4	
2020	Enero	181,619.7	186,072.1	12,070.7	48,201.3	660.9	1,659.8	11,265.6	48,314.1	49,048.2	2,041.7
	Febrero	167,400.3	167,954.8	11,878.8	46,614.6	23.0	1,773.9	11,086.5	43,628.7	46,856.6	2,044.4
	Marzo	175,446.7	172,309.4	11,999.7	49,562.8	688.3	1,799.0	11,795.9	44,766.9	41,932.9	1,834.8
	Abril	174,297.4	172,633.2	12,284.8	50,475.5	664.8	1,855.5	12,036.6	43,526.1	44,753.8	2,185.6
	Mayo	166,366.1	172,624.5	11,801.0	50,702.3	648.3	1,828.0	10,810.1	45,343.9	39,212.1	2,043.7
	Junio	157,494.5	165,629.8	11,867.6	47,288.7	659.0	1,550.1	10,232.4	43,369.8	46,214.6	2,031.8
	Julio	139,900.7	134,456.5	9,325.4	37,452.8	656.4	1,364.1	8,573.8	33,767.9	34,843.1	1,397.5
	Agosto	163,612.8	172,571.6	12,023.6	48,786.7	14.0	1,897.6	11,007.9	44,633.0	43,205.4	2,042.3
	Septiembre	163,894.2	164,481.2	11,178.9	43,373.7	655.4	1,217.2	8,224.4	46,013.9	43,324.3	1,796.7
	Octubre	168,369.1	165,334.7	11,231.0	55,489.2	747.0	1,512.6	9,096.7	44,756.2	35,281.6	1,849.3
	Noviembre	172,946.0	164,903.7	11,494.5	46,656.8	654.5	1,232.9	11,202.4	41,947.9	37,674.2	1,905.6
	Diciembre	157,581.9	167,576.9	11,800.0	59,145.3	41.0	1,321.5	10,066.9	44,414.3	25,639.2	2,063.6
TOTAL	1,988,929.4	2,006,548.4	138,956.0	583,750.0	6,112.6	19,012.2	125,399.2	524,482.7	487,986.0	23,237.0	

REFINERIA GUALBERTO VILLARROEL											
AÑO	MES	Petróleo Crudo		GLP (m3)	GASOLINA ESPECIAL (m3)	GASOLINA AVIACION (m3)	KEROSENE (m3)	JET FUEL (m3)	DIESEL OIL (m3)	CRUDO RECONSTITUIDO (m3)	ACEITES BASE (m3)
		Recepción (m3)	Elaboración (m3)								
2021	Enero	227,617.2	233,197.2	15,127.8	60,408.9	828.3	2,080.2	14,118.8	60,550.3	61,470.3	2,558.8
	Febrero	209,796.5	210,491.5	14,887.3	58,420.3	28.8	2,223.2	13,894.3	54,678.2	58,723.6	2,562.2
	Marzo	219,880.8	215,948.9	15,038.8	62,115.2	862.6	2,254.6	14,783.4	56,104.7	52,552.9	2,299.5
	Abril	218,440.4	216,354.7	15,396.1	63,259.1	833.2	2,325.4	15,085.0	54,549.6	56,088.3	2,739.1
	Mayo	208,500.4	216,343.8	14,789.8	63,543.3	812.5	2,291.0	13,547.9	56,827.8	49,143.1	2,561.3
	Junio	197,382.0	207,577.6	14,873.2	59,265.2	825.9	1,942.7	12,823.9	54,353.7	57,919.0	2,546.4
	Julio	175,332.3	168,509.3	11,687.2	46,938.2	822.6	1,709.6	10,745.2	42,320.0	43,667.6	1,751.4
	Agosto	205,049.8	216,277.5	15,068.7	61,142.5	17.5	2,378.2	13,795.8	55,936.9	54,147.7	2,559.5
	Septiembre	205,402.5	206,138.1	14,010.1	54,358.6	821.4	1,525.5	10,307.3	57,667.5	54,296.7	2,251.7
	Octubre	211,010.7	207,207.8	14,075.4	69,542.5	936.2	1,895.7	11,400.6	56,091.3	44,217.1	2,317.7
	Noviembre	216,746.7	206,667.6	14,405.6	58,473.2	820.3	1,545.1	14,039.5	52,571.7	47,215.7	2,388.2
	Diciembre	197,491.5	210,017.9	14,788.5	74,124.6	51.4	1,656.1	12,616.4	55,662.8	32,132.6	2,586.2
TOTAL		2,492,650.7	2,514,731.9	174,148.4	731,592.0	7,660.7	23,827.2	157,158.1	657,314.6	611,574.6	29,122.1
2022	Enero	262,090.5	268,515.7	17,418.9	69,558.0	953.7	2,395.2	16,257.1	69,720.8	70,780.1	2,946.3
	Febrero	241,570.9	242,371.1	17,142.0	67,268.3	33.2	2,559.9	15,998.6	62,959.4	67,617.5	2,950.2
	Marzo	253,182.4	248,655.1	17,316.4	71,522.8	993.3	2,596.1	17,022.3	64,601.9	60,512.2	2,647.8
	Abril	251,523.9	249,122.4	17,727.9	72,839.8	959.4	2,677.6	17,369.7	62,811.3	64,583.0	3,154.0
	Mayo	240,078.5	249,109.8	17,029.7	73,167.1	935.5	2,637.9	15,599.8	65,434.6	56,585.9	2,949.2
	Junio	227,276.1	239,015.9	17,125.8	68,241.1	951.0	2,236.9	14,766.1	62,585.8	66,691.1	2,932.0
	Julio	201,887.0	194,030.6	13,457.2	54,047.1	947.2	1,968.5	12,372.6	48,729.6	50,281.1	2,016.7
	Agosto	236,105.3	249,033.5	17,350.9	70,402.8	20.2	2,738.4	15,885.2	64,408.7	62,348.6	2,947.2
	Septiembre	236,511.3	237,358.4	16,132.0	62,591.4	945.8	1,756.5	11,868.4	66,401.4	62,520.1	2,592.8
	Octubre	242,968.9	238,590.1	16,207.2	80,075.0	1,078.0	2,182.8	13,127.2	64,586.5	50,913.9	2,668.7
	Noviembre	249,573.7	237,968.1	16,587.4	67,329.2	944.5	1,779.2	16,165.9	60,533.9	54,366.6	2,749.9
	Diciembre	227,402.2	241,825.8	17,028.3	85,351.0	59.1	1,907.0	14,527.2	64,093.2	36,999.2	2,977.9
TOTAL		2,870,170.8	2,895,596.3	200,523.7	842,394.0	8,820.9	27,435.9	180,960.2	756,867.0	704,199.5	33,532.7

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos

Anexo I: Principales Países de Importación de Gasolina Especial en Bolivia

Países	Importación M3
ARGENTINA	120.452
CHILE	35.470
PERU	20.290
SUIZA	19.749
ESTADOS UNIDOS	8.426
BRASIL	3.442
SINGAPUR	3.339
VENEZUELA	541
PAISES BAJOS	72
OTROS	20
TOTAL	211.800,0



Nombre: Christian Marcos Vargas Kasa

Celular: 72504519

Correo: tecnica.dieselgrouplimitada@gmail.com



**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-2575/2024
La Paz, 21 de agosto de 2024**

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **15 de agosto de 2024**, por **CHRISTIAN MARCOS VARGAS KASA** con **C.I. N° 9259679 LP**, con número de trámite **DA 1466/2024**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA NORMATIVA EURO IV PARA LA ADECUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA GASOLINA ESPECIAL CON ADITIVOS OXIGENANTES"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO:

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los"*



ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO:

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

RESUELVE:

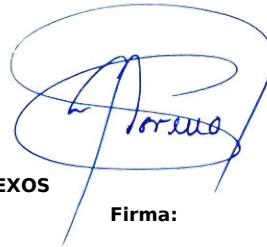
INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: "**ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA NORMATIVA EURO IV PARA LA ADECUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA GASOLINA ESPECIAL CON ADITIVOS OXIGENANTES**" a favor del autor y titular: **CHRISTIAN MARCOS VARGAS KASA** con **C.I. N° 9259679 LP** bajo el seudónimo **CHRIS**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/Im

Firmado Digitalmente por:

Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI
CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS
LA PAZ - BOLIVIA



Firma:



ioMXg2Lj8Eg17K

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB www.senapi.gob.bo/verificacion Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACIÓN O ESCANEAR CÓDIGO QR.



Oficina Central - La Paz
Av. Montes, N° 515,
entre Esq. Uruguay y
C. Batallón Illimani.
Telfs.: 2115700
2119276 - 2119251

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, N° 737,
entre 16 de Julio y Antezana.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 5B,
Zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esq. Urriagoitia,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Ciro Trigo y Avaroa
Edif. Santa Clara, N° 243.
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre, N° 5837,
entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14.
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 242,
Primer Piso, Of. 17.
Telf.: 72018160

