



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN  
CON LA COLECTIVIDAD**

**MAESTRIA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL  
VI PROMOCIÓN**

**TESIS DE GRADO MAESTRIA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**TEMA: “DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE  
CONTAMINANTES PRIMARIOS Y RENDIMIENTO VEHICULAR  
MEDIANTE LA VARIACIÓN DEL OCTANAJE Y CONTENIDO DE AZUFRE  
EN LA GASOLINA Y DIESEL”**

**AUTOR: ING. CARLA VIVIANA ARELLANO**

**DIRECTOR: DR. RENÉ PARRA**

**SANGOLQUÍ, OCTUBRE DEL 2013**

Quito, 2 de agosto de 2013

Señor Ingeniero  
Walter Fuertes, Phd.  
Director de la Unidad de Gestión de Postgrados  
Escuela Politécnica de Ejército  
Sangolquí

De mi consideración:

En mi calidad de Director de Tesis de la estudiante Carla Viviana Arellano Navarrete, egresada del Programa de Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental, VI Promoción; me permito indicar que he revisado y apruebo el documento de la tesis denominada "Determinación y Análisis de las Emisiones de Contaminantes Primarios y Rendimiento Vehicular Mediante la Variación del Octanaje y Contenido de Azufre en la Gasolina y Diesel". Por lo indicado, solicito a Usted autorice la continuación de los trámites pertinentes para la graduación de la estudiante.

Por la atención a la presente, reciba mi agradecimiento.

Atentamente,



Dr. René Parra Narváez

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**MAESTRIA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

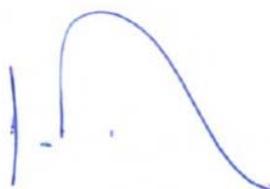
**CERTIFICADO**

**Dr. René Parra**

**CERTIFICA**

Que el trabajo titulado “DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES PRIMARIOS Y RENDIMIENTO VEHICULAR MEDIANTE LA VARIACIÓN DEL OCTANAJE Y CONTENIDO DE AZUFRE EN LA GASOLINA Y DIESEL”, realizado por Carla Viviana Arellano Navarrete bajo mi supervisión, cumple las normas establecidas en el Reglamento de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y dos discos compactos que contienen los archivos solicitados por la Universidad de las Fuerzas Armadas. Se autoriza a Carla Viviana Arellano Navarrete entregar lo indicado a la Ing. Esthela Salazar en su calidad de Coordinadora de la Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental.



---

**Ing. René Parra**

**DIRECTOR DE TESIS**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**MAESTRIA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Carla Viviana Arellano Navarrete**

**DECLARO QUE:**

El proyecto de tesis denominado “DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES PRIMARIOS Y RENDIMIENTO VEHICULAR MEDIANTE LA VARIACIÓN DEL OCTANAJE Y CONTENIDO DE AZUFRE EN LA GASOLINA Y DIESEL”, es de mi autoría; que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que fue desarrollado respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas bibliográficas cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía de este trabajo.

---

**Ing. Carla Arellano**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**MAESTRIA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Carla Viviana Arellano Navarrete**

Autorizo a la Universidad de la Fuerzas Armadas a publicar el proyecto de tesis “DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES PRIMARIOS Y RENDIMIENTO VEHICULAR MEDIANTE LA VARIACIÓN DEL OCTANAJE Y CONTENIDO DE AZUFRE EN LA GASOLINA Y DIESEL”, en la biblioteca virtual de la institución, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

---

**Ing. Carla Arellano**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**MAESTRIA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**DEDICATORIA**

A ti que comprendes y apoyas mi necesidad constante de investigar y aprender.

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**MAESTRIA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**AGRADECIMIENTO**

A Dios por su silenciosa guía.

A mi familia por su permanente apoyo.

Al Dr. René Parra y Dr. David Carrera por su imprescindible asistencia técnica.

Al personal de la Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador por facilitar la ejecución de este proyecto.

A la Secretaria de Ambiente por su desinteresada colaboración en beneficio de la ciudad.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	iii
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vii
RESUMEN .....	xx
RESUMEN .....	xx
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1 GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA .....	5
<b>1.2.1 SITUACIÓN ACTUAL: CALIDAD DE LOS COMBUSTIBLES EN EL ECUADOR .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2 SITUACIÓN ACTUAL: CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE EN EL ECUADOR.....</b>	<b>10</b>
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.3.3 METAS.....	18
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO .....	18
1.5 PROYECTOS RELACIONADOS/COMPLEMENTARIOS.....	19
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>19</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1 CALIDAD DEL AIRE.....	19
2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....	19
2.2.1CONTAMINANTES GASEOSOS .....	20
2.2.2 EMISIONES VEHICULARES.....	20
2.3 PRUEBAS DE EMISIÓN DE GASES .....	26
2.4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES.....	26

2.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN .....	28
2.5.1 MEJORA CALIDAD DE COMBUSTIBLES.....	29
2.6 REFINACIÓN DEL PETRÓLEO.....	30
2.6.1 PROCESO DE REFINAMIENTO .....	31
2.6.2 PRODUCTOS DERIVADOS.....	33
2.7 MARCO LEGAL – AMBIENTAL EN EL ECUADOR.....	35
2.7.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, (Asamblea Constituyente, 2013).....	36
2.7.2 LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL .....	36
2.7.3 LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.....	37
2.7.4 TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE .....	38
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>41</b>
<b>3 PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>41</b>
3.1 METODOLOGÍA.....	41
3.2 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....	42
3.3 ÁREA DE INFLUENCIA.....	42
3.4 INFORMACIÓN REQUERIDA .....	46
3.4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS REFINERÍAS DEL ECUADOR.....	46
3.4.2 OFERTA DE DERIVADOS DE REFINERÍAS DEL ECUADOR.....	57
3.4.3 DESPACHO DE COMBUSTIBLES EN EL ECUADOR.....	63
3.4.4 MEZCLA DE PRODUCTOS (Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP) , 2012).....	68
3.5 EQUIPO UTILIZADO PARA LA MEDICIÓN DE EMISIONES, POTENCIA Y TORQUE DEL VEHÍCULO .....	80
3.6 ENSAYOS Y PRUEBAS REALIZADOS .....	81
3.7 PROCEDIMIENTO DETALLADO .....	86
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>101</b>
<b>4. RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>101</b>
4.1 EMISIONES GASEOSAS USANDO GASOLINAS DE DIFERENTES CALIDADES.....	102

4.1.1 EMISIONES NO <sub>x</sub> (ppm).....	102
4.1.2 EMISIONES HC (ppm) .....	104
4.1.3 EMISIONES CO <sub>2</sub> (%).....	106
4.1.4 EMISIONES CO (%).....	108
4.1.5 EMISIONES O <sub>2</sub> (%).....	110
4.2 RESUMEN DE DATOS PROMEDIO DE EMISIONES PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS:.....	112
4.3 POTENCIA Y TORQUE USANDO GASOLINAS DE DIFERENTES CALIDADES.....	113
4.4 RESUMEN DE DATOS MÁXIMOS DE POTENCIA Y TORQUE PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS:.....	117
4.5 EMISIONES GASEOSAS USANDO DIESEL DE DIFERENTES CALIDADES.....	118
4.5.1 EMISIONES NO <sub>x</sub> (ppm).....	118
4.5.2 EMISIONES HC (ppm) .....	120
4.5.3 EMISIONES CO <sub>2</sub> (%).....	121
4.5.4 EMISIONES CO (%).....	122
4.5.5 EMISIONES O <sub>2</sub> (%).....	123
4.5.6 EMISIONES PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> ).....	124
4.6 RESUMEN DE DATOS PROMEDIO DE EMISIONES PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE DIESEL.....	125
4.7 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE SO <sub>2</sub> .....	125
4.8 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS CON LA NORMATIVA.....	134
4.9 COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS.....	137
4.10 VARIACIÓN DE EMISIONES (GASOLINA).....	137
4.10.1 VARIACIÓN DE EMISIONES RESPECTO A LA GASOLINA TIPO 1, 2 Y 3 .....	137
4.11 COMPARACIÓN DE LA POTENCIA Y TORQUE DE LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS.....	139
4.12 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DIESEL .....	143

	x
4.13 CÁLCULO DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES (DIESEL).....	144
4.13.1 REDUCCIÓN EMISIONES RESPECTO AL DIESEL 1 Y 2.....	144
4.14 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE COMBUSTIBLES .....	148
4.14.1 CASO GASOLINAS: .....	148
4.14.2 CASO DIESEL: .....	152
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>157</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>157</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	157
5.1.1 GASOLINAS .....	157
5.1.2 DIESEL .....	159
5.1.3 COSTO .....	160
5.2 RECOMENDACIONES .....	161
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>161</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Comparación de emisiones anuales de Fuentes Móviles. ....	2
Figura 2.	Percentil 98 de los promedios anuales PM <sub>2.5</sub> (ug/m <sup>3</sup> ) año 2011 por estación. (Alcaldía del DMQ/Secretaría de Ambiente, 2011).....	3
Figura 3.	Contenido de azufre promedio anual de gasolinas y diesel (ppm).....	6
Figura 4.	Porcentaje acumulado de emisiones de fuentes fijas y fuentes móviles en el DMQ para el año 2011 en función de contaminantes CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> y PM. (Alcaldía del DMQ/Secretaría de Ambiente, 2011) .....	11
Figura 5.	Certificado de la Revisión Técnica Vehicular. ....	14
Figura 6.	Proceso de emisión de contaminantes en vehículos automotores. (Instituto Nacional de Ecología, 2007).....	21
Figura 7.	Proceso de refinación (Cerutti, 2001).....	34
Figura 8.	Despacho Anual de Combustibles por Provincia 2011, (Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012).....	44
Figura 9.	Despacho Anual de Combustibles por Provincia 2012, (Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012).....	46
Figura 10.	Ubicación de las refinerías en el Ecuador, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). ....	47
Figura 11.	Fotografía Refinería Esmeraldas, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). ....	48
Figura 12.	Esquema de procesos de Refinería Esmeraldas, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013).....	50
Figura 13.	Fotografía Refinería La Libertad, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). ....	51
Figura 14.	Diagrama Unidades de Destilación de Refinería La Libertad, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013).....	54

Figura 15. Fotografía de Refinería Shushufindi, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013).	54
Figura 16. Unidades de Destilación y Planta de Gas de Refinería Shushufindi, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013).	57
Figura 17. Mezclas no lineales.	72
Figura 18. Ejemplo de Índices de mezcla.	72
Figura 19. Dinamómetro LPS3000.	81
Figura 20. Ciclo de conducción FTP-75, EPA -AA-TSS-91-1, NTIS No. PB92-104405, 1991.	83
Figura 21. Ciclo de conducción IM-240.	84
Figura 22. Ruta Real recorrida por la ciudad de Quito.	85
Figura 23. Perfil de altura de Quito durante el recorrido real.	85
Figura 24. Vehículo liviano usado en la pruebas.	92
Figura 25. Instalación del analizador en gases en el vehículo liviano.	93
Figura 26. Analizador de gases portátil en el vehículo liviano.	93
Figura 27. Vaciado inicial de combustible del vehículo liviano.	93
Figura 28. Cargue de combustible en el vehículo liviano.	94
Figura 29. Dinamómetro utilizado en las pruebas.	94
Figura 30. Asegurando vehículo al dinamómetro utilizado en las pruebas.	95
Figura 31. Operación del dinamómetro utilizado en las pruebas.	95
Figura 32. Panel de control de pruebas en el dinamómetro.	95
Figura 33. Pantalla del panel de control de pruebas en el dinamómetro.	96
Figura 34. Vehículo pesado usado en las pruebas.	97
Figura 35. Instalación del analizador de gases en el vehículo pesado.	97
Figura 36. Analizador de gases portátil en el vehículo pesado.	98
Figura 37. Cargue de combustible en el vehículo pesado.	98
Figura 38. Representación gráfica de las emisiones de NO <sub>x</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.	103
Figura 39. Representación gráfica de las emisiones de NO <sub>x</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.	104

Figura 40. Representación gráfica de las emisiones de HC de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.....	105
Figura 41. Representación gráfica de las emisiones de HC de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240. ....	106
Figura 42. Representación gráfica de las emisiones de CO <sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.....	107
Figura 43. Representación gráfica de las emisiones de CO <sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240. ....	108
Figura 44. Representación gráfica de las emisiones de CO de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.....	109
Figura 45. Representación gráfica de las emisiones de CO de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240. ....	110
Figura 46. Representación gráfica de las emisiones de O <sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.....	111
Figura 47. Representación gráfica de las emisiones de O <sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240. ....	112
Figura 48. Pantalla que muestra variación de potencia para Gasolina 1. ....	114
Figura 49. Pantalla de variación de potencia para Gasolina 2. ....	115
Figura 50. Pantalla que muestra variación de potencia para Gasolina 3. ....	116
Figura 51. Pantalla de variación de potencia para Gasolina 4. ....	117
Figura 52. Representación gráfica de las emisiones de NO <sub>x</sub> de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real. ....	119
Figura 53. Representación gráfica de las emisiones de HC de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real. ....	120
Figura 54. Representación gráfica de las emisiones de CO <sub>2</sub> de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real. ....	121
Figura 55. Representación gráfica de las emisiones de CO de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real. ....	122
Figura 56. Representación gráfica de las emisiones de O <sub>2</sub> de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real. ....	123
Figura 57. Representación gráfica de las emisiones de PM <sub>10</sub> de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real. ....	124

Figura 58. Variación de la Emisión de SO <sub>2</sub> por el tipo de gasolina.....	129
Figura 59. Emisiones de SO <sub>2</sub> por provincia y por tipo de gasolina. ....	130
Figura 60. Porcentaje emisiones de SO <sub>2</sub> por provincia y por tipo de gasolina.....	130
Figura 61. Variación de las emisiones de SO <sub>2</sub> por el tipo de diesel. ....	133
Figura 62. Emisiones de SO <sub>2</sub> por provincia y por tipo de diesel.....	133
Figura 63. Porcentaje de emisiones de SO <sub>2</sub> por provincia. ....	134
Figura 64. Certificado RTV .....	135
Figura 65. Emisiones por tipo de gasolina.....	137
Figura 66. Resumen de Potencia y Torque para las gasolinas. ....	140
Figura 67. Potencia para los diferentes tipos de gasolina. ....	140
Figura 68. Torque para los diferentes tipos de gasolina.....	141
Figura 69. Variación de las RPM para los diferentes tipos de gasolina.....	141
Figura 70. Potencia normal para los diferentes tipos de gasolina. ....	142
Figura 71. Torque normal para los diferentes tipos de gasolina.....	142
Figura 72. Potencia de rueda para los diferentes tipos de gasolina. ....	142
Figura 73. Potencia de arrastre para los diferentes tipos de gasolina.....	143
Figura 74. Contenido de azufre para los tipos de diesel.....	146
Figura 75. Contenido de NOx, HC para los tipos de diesel. ....	146
Figura 76. Contenido de CO para los tipos de diesel. ....	146
Figura 77. Emisiones de PM y contenido de azufre para los tipos de diesel.....	147

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Revisiones de la Norma Técnica NTE INEN 935 para Gasolinas.....	5
Tabla 2.	Contenido de azufre promedio anual de gasolinas y diesel (ppm).....	6
Tabla 3.	Norma ecuatoriana de calidad de combustibles NTE INEN 935:2012. Octava Revisión. Gasolinas. Requisitos. ....	8
Tabla 4.	Norma ecuatoriana de calidad de combustibles NTE INEN 1489:2011. Quinta Revisión. Diesel. Requisitos. ....	9
Tabla 5.	Número de átomos de carbono en cada fracción de crudo.....	34
Tabla 6.	Despacho Anual de Combustibles por Provincia 2011, (Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012).....	43
Tabla 7.	Despacho Anual de Combustibles por Provincia 2012, (Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012).....	45
Tabla 8.	Descripción de las Unidades de proceso de Refinería Esmeraldas, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). ....	49
Tabla 9.	Descripción Unidades de Procesos de Refinería La Libertad, Gerencia de Refinación de EP Petroecuador.....	53
Tabla 10.	Descripción Unidades de Proceso de Refinería Shushufindi, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). ....	56
Tabla 11.	Producción de derivados de Refinería Esmeraldas año 2011.....	58
Tabla 12.	Producción de derivados de Refinería Esmeraldas año 2012.....	59
Tabla 13.	Producción de derivados de Refinería La Libertad año 2011.....	60
Tabla 14.	Producción de derivados de Refinería La Libertad año 2012.....	61

Tabla 15. Producción de derivados de Refinería Shushufindi año 2011.....	62
Tabla 16. Producción de derivados de Refinería Shushufindi año 2012.....	63
Tabla 17. Despacho real de gasolinas por provincia durante el 2011.....	64
Tabla 18. Despacho real de gasolinas por provincia durante el 2012.....	65
Tabla 19. Despacho real de diesel por provincia durante el 2011. ....	66
Tabla 20. Despacho real de diesel por provincia durante el 2012. ....	67
Tabla 21. Despacho anual y diario de gasolinas y diesel 2011. ....	68
Tabla 22. Despacho anual y diario de gasolinas y diesel 2012. ....	68
Tabla 23. Especificaciones de naftas en Refinería Esmeraldas, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). ....	75
Tabla 24. Especificaciones de naftas en Refinería La Libertad, ....	75
Tabla 25. Especificaciones de las naftas producidas en Refinería Shushufindi, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). ....	76
Tabla 26. Especificaciones de la Nafta Alto Octano Importada, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). ....	76
Tabla 27. Especificaciones promedio de los diferentes tipos de diesel producidos en Refinería Esmeraldas, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). ....	78
Tabla 28. Especificaciones promedio de los diferentes tipos de diesel producidos en Refinería La Libertad, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). ....	78
Tabla 29. Especificaciones promedio de los diferentes tipos de diesel producidos en Refinería Shushufindi, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). ....	79
Tabla 30. Especificaciones de los diferentes tipos de Diesel Importado, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013) .....	79
Tabla 31. Preparación gasolina de 81 octanos .....	87
Tabla 32. Preparación gasolina de 85 octanos .....	87
Tabla 33. Preparación gasolina de 87 octanos .....	88
Tabla 34. Preparación gasolina de 92 octanos .....	88

Tabla 35. Preparación Diesel con contenido de azufre de 3.500 ppm.....	90
Tabla 36. Preparación Diesel con contenido de azufre de 500 ppm.....	90
Tabla 37. Preparación Diesel con contenido de azufre de 100 ppm.....	91
Tabla 38. Límite máximo de emisiones Norma 2204:2002. Primera revisión.....	100
Tabla 39. Límite máximo de emisiones Norma 2207:2002. Primera revisión.....	100
Tabla 40. Resumen de características de las diferentes gasolinas obtenidas en laboratorio.....	102
Tabla 41. Emisiones de NO <sub>x</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.....	102
Tabla 42. Emisiones de NO <sub>x</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.....	103
Tabla 43. Emisiones de HC de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.....	104
Tabla 44. Emisiones de HC de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.....	105
Tabla 45. Emisiones de CO <sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.....	106
Tabla 46. Emisiones de CO <sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.....	107
Tabla 47. Emisiones de CO de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.....	108
Tabla 48. Emisiones de CO de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.....	109
Tabla 49. Emisiones de O <sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.....	110
Tabla 50. Emisiones de O <sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.....	111
Tabla 51. Resumen de emisiones para las diferentes gasolinas. ....	112
Tabla 52. Resultados de Potencia y Torque usando GASOLINA 1. ....	113
Tabla 53. Resultados de Potencia y Torque usando GASOLINA 2. ....	114
Tabla 54. Resultados de Potencia y Torque usando GASOLINA 3. ....	115
Tabla 55. Resultados de Potencia y Torque usando GASOLINA 4. ....	116

Tabla 56. Resumen de Potencia y Torque para los tipos de gasolinas.....	117
Tabla 57. Resumen de características de los diesel obtenidas en laboratorio.....	118
Tabla 58. Emisiones de NO <sub>x</sub> de los tipos de diesel en la Ruta Real.....	119
Tabla 59. Emisiones de HC de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real.....	120
Tabla 60. Emisiones de CO <sub>2</sub> de los tipos de diesel en la Ruta Real.....	121
Tabla 61. Emisiones de CO de los tipos de diesel en la Ruta Real.....	122
Tabla 62. Emisiones de O <sub>2</sub> de los tipos de diesel en la Ruta Real.....	123
Tabla 63. Emisiones de PM <sub>10</sub> de los tipos de diesel en la Ruta Real.....	124
Tabla 64. Resumen de emisiones de los diesel en la Ruta Real.....	125
Tabla 65. Contenido de azufre y emisiones de SO <sub>2</sub> de los diferentes diesel.....	126
Tabla 66. Densidades promedio de las gasolinas en el año 2013, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). .....	127
Tabla 67. Emisiones de SO <sub>2</sub> por provincia y tipo de gasolina durante 2012.....	128
Tabla 68. Contenido de azufre y emisiones de SO <sub>2</sub> por tipo de diesel.....	131
Tabla 69. Densidades promedio de diesel en el año 2013, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013). .....	131
Tabla 70. Emisiones SO <sub>2</sub> por provincia y tipo de diesel durante el año 2012.....	132
Tabla 71. NTE INEN 2204:2002. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o relantí (prueba estática). .....	135
Tabla 72. Emisiones por tipo de gasolina.....	136
Tabla 73. Variación de contaminantes con relación a la Gasolina 1.....	138
Tabla 74. Variación de contaminantes con relación a la Gasolina 2.....	138
Tabla 75. Variación de contaminantes con relación a la Gasolina 3.....	138
Tabla 76. Comparación de potencia y torque para cada tipo de gasolina.....	139

Tabla 77. Contenido de azufre y emisiones de SO <sub>2</sub> por tipo de diesel.....	143
Tabla 78. Resumen de las emisiones para los tipos de diesel. ....	144
Tabla 79. Contenido de azufre y emisiones para los tipos de diesel. ....	144
Tabla 80. Porcentaje reducción de contaminantes con respecto al Diesel 1.....	145
Tabla 81. Porcentaje reducción de contaminantes con respecto al Diesel 2.....	145
Tabla 82. Emisiones de PM y contenido de azufre para los tipos de diesel.....	147
Tabla 83. Casos de análisis con dos tipos de gasolina cada uno.....	148
Tabla 84. Precios reales de importación/exportación de gasolina 2011/2012, (Planificación de la EP Petroecuador, 2011-2012).....	149
Tabla 85. Diferencia de costos entre cada caso de estudio de gasolina con el caso base usando precios 2011.....	150
Tabla 86. Diferencia de costos entre cada caso de estudio de gasolina con el caso base usando precios 2012.....	151
Tabla 87. Casos de análisis con un tipo de diesel cada uno. ....	152
Tabla 88. Precios reales de importación/exportación de diesel 2011/2012, (Planificación de la EP Petroecuador, 2011-2012).....	153
Tabla 89. Volúmenes de importación/exportación de diesel 2011/2012.....	154
Tabla 90. Diferencia de costos usando precios 2011. ....	155
Tabla 91. Diferencia de costos usando precios 2012. ....	155

## RESUMEN

El Gobierno Nacional, a través de la Empresa Pública EP Petroecuador ha plasmado sus esfuerzos de mejorar la calidad del aire ambiente, mediante el mejoramiento de la calidad de los combustibles comercializados en el Ecuador. El presente trabajo analiza técnica y económicamente esta mejora en la calidad de los combustibles. El primer capítulo detalla la problemática de la contaminación atmosférica y su relación con la calidad de los combustibles. En el segundo se resumen los aspectos teóricos necesarios para ejecutar la parte experimental y analizar los resultados de esta investigación. El tercer capítulo detalla el desarrollo de la parte experimental, el planteamiento de la hipótesis, la descripción de los ensayos y pruebas realizadas para determinar la influencia de la calidad de los combustibles en la emisión de contaminantes del aire. El capítulo cuarto puntualiza los resultados de las emisiones por tipo de combustible y su comparación con la normativa vigente. Adicionalmente se presentan los cálculos de la reducción de las emisiones comparando un combustible con otro y el análisis económico del mejoramiento de la calidad de las gasolinas y diesel. El último capítulo presenta conclusiones y recomendaciones en relación a la reducción de las emisiones de contaminantes con la reducción del contenido de azufre y el incremento del octanaje.

**Palabras Clave: Gasolina, Diesel, Octanaje, Contenido de Azufre, Rendimiento vehicular.**

## ABSTRACT

The Government, through the Public Enterprise EP Petroecuador has shaped their efforts to improve air quality by improving the quality of fuels sold in Ecuador. This paper analyzes technically and economically this improvement in fuel quality. The first chapter details the problems of air pollution and its relation to fuel quality. In the second summarizes the theoretical aspects needed to run the experiment and analyze the results of this research. The third chapter details the development of the experimental part, the approach of the hypothesis, the description of the tests and tests conducted to determine the influence of fuel quality in the emission of air pollutants. The fourth chapter points out the results of emissions by fuel type and their comparison with current regulations. Additionally we show the reduction in emissions compared with other fuel and economic analysis of improved quality of petrol and diesel. The final chapter presents conclusions and recommendations regarding the reduction of polluting emissions with reduced sulfur content and increased octane.

**Keywords: Gasoline, Diesel, Octane, Sulfur Content, Performance vehicles.**

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE  
CONTAMINANTES PRIMARIOS Y RENDIMIENTO VEHICULAR MEDIANTE  
LA VARIACIÓN DEL OCTANAJE Y CONTENIDO DE AZUFRE EN LA  
GASOLINA Y DIESEL

Sabiendo que los vehículos con motores a gasolina y a diesel liberan una cantidad importante de gases y partículas contaminantes o precursores de la formación de contaminantes del aire; el Gobierno Nacional, representado por la Empresa Pública Petroecuador, en su afán de mejorar la calidad de aire en el Ecuador, incrementó la calidad de las gasolinas y diesel automotriz.

La Empresa Pública EP Petroecuador analizó diversos escenarios que permitirían el incremento del octanaje y disminución del contenido de azufre en las Gasolinas Extra y Super, con la optimización de las condiciones de preparación de estas gasolinas, así como la posibilidad de comercializar en todo el país un Diesel con bajo contenido de azufre (500 ppm) para el sector automotriz, propuesta que podría ejecutarse a corto plazo y con una inversión razonable.

Bajo este escenario, en el presente trabajo se utilizó diferentes tipos de gasolina y diesel en un vehículo y se midió la emisión de contaminantes primarios y rendimiento vehicular para conocer el beneficio ambiental obtenido del mejoramiento en la calidad de combustibles.

## CAPÍTULO I

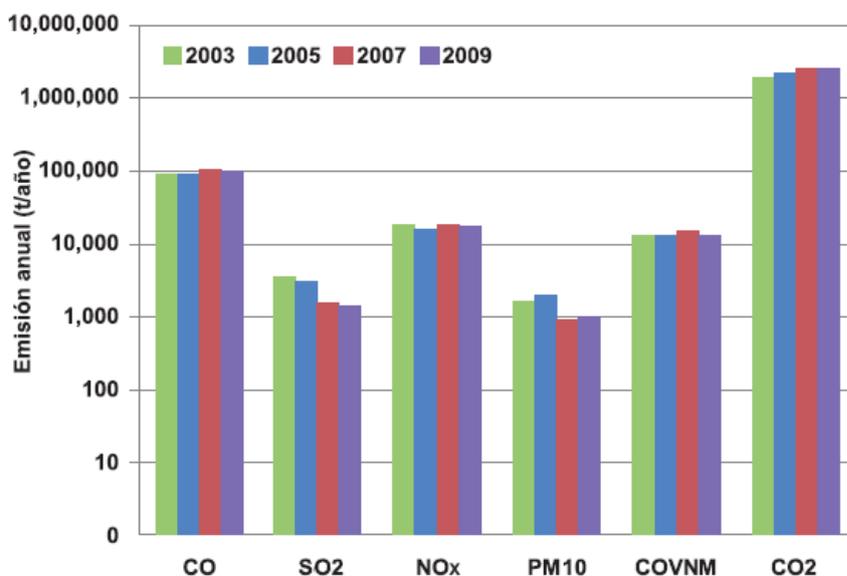
### 1 GENERALIDADES

#### 1.1 ANTECEDENTES

Indiscutiblemente existe una relación directa entre la calidad del aire y la calidad de los combustibles que se comercializan en el Ecuador, así como con el crecimiento del tráfico vehicular y las emisiones de otras fuentes.

De acuerdo a los Inventarios de Emisiones de los años 2003, 2005, 2007 y 2009 del Distrito Metropolitano de Quito, realizados por la Secretaría de Ambiente y al Informe de Calidad de Aire 2010 de la Ciudad de Cuenca, realizado por la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de la Alcaldía de Cuenca; la principal fuente de emisión de contaminantes del aire en Quito y Cuenca es el tráfico vehicular.

La figura 1 muestra la variación de las emisiones anuales de contaminantes atmosféricos originadas por fuentes móviles, desde el año 2003 hasta el año 2009, bajo este gráfico se presenta la cita textual del Inventario de Emisiones 2009 para el DMQ.



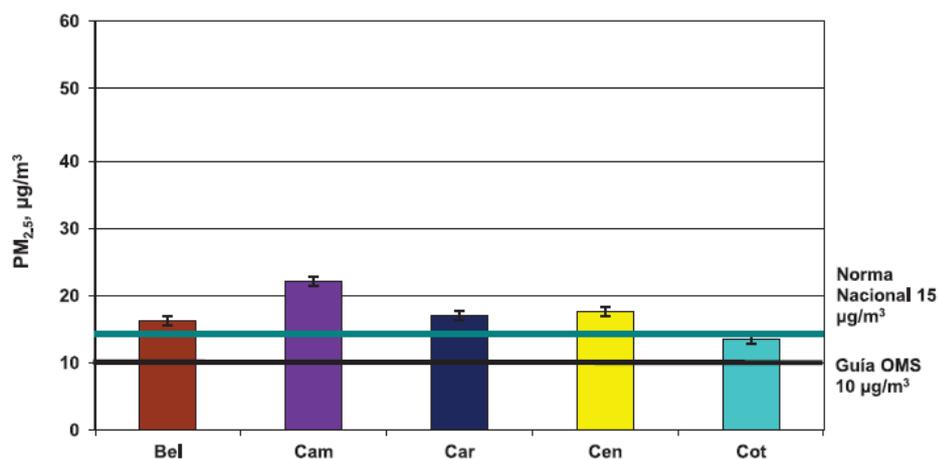
**Figura 1.** Comparación de emisiones anuales de Fuentes Móviles.  
(Secretaría de Ambiente, 2009)

“En cuanto al origen de las emisiones, el tráfico vehicular es la fuente más importante de emisión de contaminantes atmosféricos en el DMQ: genera el 96.7% del CO, cuya mayor aportación proviene de los autos particulares livianos (22.9%), camionetas (20.1%) y taxis (7.2%); el 22.2% de SO<sub>2</sub>; el 61.9% de los NO<sub>x</sub>, generados principalmente por buses y vehículos pesados (34.2%). Igualmente, el tráfico vehicular genera el 27.4 % del PM<sub>10</sub> y el 51.4% del PM<sub>2.5</sub>, fundamentalmente emitidos por buses y tráfico pesado a diesel. El 33.0% de los COVNM es originado por las fuentes móviles.”  
(Secretaría de Ambiente, 2009)

Con estos antecedentes, se evidencia que el tráfico vehicular es la fuente más importante de contaminación del aire en estas ciudades.

En el Distrito Metropolitano de Quito, la Secretaría de Ambiente utiliza el IQCA (Índice Quiteño de la Calidad del Aire) para difundir de forma simplificada la información sobre la calidad del aire. El mencionado índice se establece mediante los registros de la red de monitoreo.

En la figura 2 podemos observar que en la ciudad de Quito, el material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ) presenta concentraciones crónicas que superan tanto la norma nacional como el valor guía de la Organización Mundial de la Salud OMS. (Secretaría de Ambiente, 2011)



**Figura 2.** Percentil 98 de los promedios anuales  $PM_{2.5}$  ( $\mu g/m^3$ ) año 2011 por estación. (Secretaría de Ambiente, 2011)

Las emisiones de  $PM_{2.5}$  se relacionan directamente con la calidad de los combustibles, y específicamente con el contenido de azufre. La presencia de azufre en los combustibles promueve la emisión de  $SO_2$ , y la mayor emisión de otros contaminantes como el  $PM_{2.5}$ .

Por ello es importante mejorar la calidad de los combustibles, iniciando con la disminución del contenido de azufre, a fin de reducir las concentraciones de  $SO_2$  y de  $PM_{2.5}$ ; este último, uno de los contaminantes más importante en Quito.

El Gobierno Nacional, ante el creciente problema de la contaminación atmosférica se ha planteado el objetivo de mejorar a corto plazo la calidad

de los combustibles comercializados en el Ecuador, y llevarlos a los más altos estándares internacionales.

Alineada a los objetivos gubernamentales, la Empresa Pública de Hidrocarburos EP Petroecuador, inició el proyecto de la mejora de la calidad de combustibles encaminada en la obtención de la mezcla idónea de naftas para la producción de gasolinas, así como la producción de diesel automotriz de mejor calidad a la comercializada durante el año 2011 en el territorio ecuatoriano.

El mejoramiento de la calidad de combustibles contempló la reducción del contenido de azufre, tanto en gasolinas y diesel, lo que permitió cumplir no solo con los límites máximos de 500 ppm señalados en la regulación vigente para el diesel, sino avanzar a estándares más exigentes de hasta 150 ppm durante el año 2013.

Adicionalmente se incrementó el octanaje en las gasolinas, lo que permite optimizar la combustión y disminuir la concentración de contaminantes primarios en las emisiones vehiculares.

## 1.2 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

### 1.2.1 SITUACIÓN ACTUAL: CALIDAD DE LOS COMBUSTIBLES EN EL ECUADOR

Hasta el año 2011, la Empresa EP Petroecuador producía dos tipos de gasolinas, las que cumplían la norma INEN 935:2010, (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010) vigente en ese entonces:

1. Gasolina Extra de 81 octanos y contenido de azufre de 750 ppm.
2. Gasolina Súper de 90 octanos y contenido de azufre de 1000 ppm.

Adicionalmente, producía tres tipos de Diesel:

1. Diesel Premium con un contenido de azufre máximo de 500 ppm.
2. Diesel 2 con un contenido de azufre máximo de 7000 ppm.
3. Diesel 1 con un contenido de azufre máximo de 3000 ppm.

Es importante indicar que en el caso de las gasolinas, la normativa ha ido cambiando, volviéndose cada vez más exigente como se puede observar en la tabla 1:

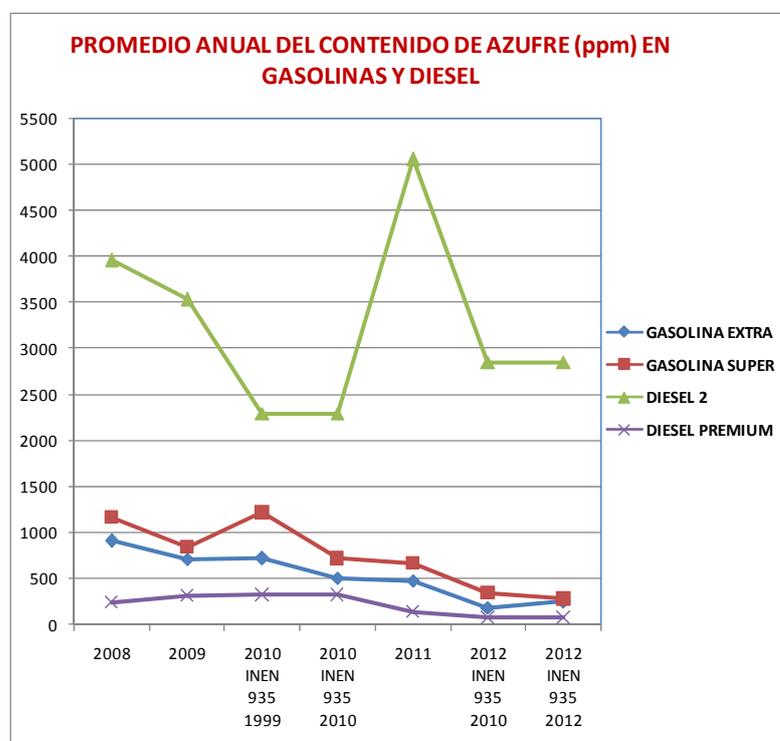
**Tabla 1.** Revisiones de la Norma Técnica NTE INEN 935 para Gasolinas.

NORMA TÉCNICA NTE INEN	FECHA OFICIALIZACIÓN	PRODUCTO	REQUISITOS	
			Número de Octano Research	Contenido de azufre (ppm)
935:1999	18/06/1999	Gasolina Extra	80	2000
		Gasolina Super	85	2000
935:2010	12/01/2010	Gasolina Extra	81	750
		Gasolina Super	90	1000
935:2012	18/05/2012	Gasolina Extra	87	650

En la tabla 2 y figura 3 se resumen los promedios anuales del contenido de azufre de las gasolinas y diesel comercializados en el país, los valores de contenido de azufre en ninguno de los casos sobrepasa lo establecido en la normativa antes indicada.

**Tabla 2.** Contenido de azufre promedio anual de gasolinas y diesel (ppm).

<b>PROMEDIO ANUAL DEL CONTENIDO DE AZUFRE (ppm) EN GASOLINAS Y DIESEL</b>							
PRODUCTO	2008	2009	2010 INEN 935 1999	2010 INEN 935 2010	2011	2012 INEN 935 2010	2012 INEN 935 2012
<b>GASOLINA EXTRA</b>	910	710	720	510	480	180	249
<b>GASOLINA SUPER</b>	1170	840	1220	720	670	341	277
<b>DIESEL 2</b>	3960	3537	2298	2298	5060	2857	2857
<b>DIESEL PREMIUM</b>	240	320	322	322	135	74	74



**Figura 3.** Contenido de azufre promedio anual de gasolinas y diesel (ppm).

El Diesel Premium, con un contenido de azufre máximo de 500 ppm, se comercializó hasta el año 2011 solo en las siguientes ciudades:

✓ El Distrito Metropolitano de Quito desde mayo del 2006 de forma obligatoria, por lo establecido en la Ordenanza Metropolitana publicada en Registro Oficial No. 78 del 9 de agosto de 2005.

✓ La ciudad de Cuenca desde enero del 2008, por solicitud del Municipio de esta ciudad, 2007, siempre que había disponibilidad de este combustible de producción nacional.

✓ La ciudad de Guayaquil, desde el año 2010, por solicitud de Consorcio Metroquil, destinados para el abastecimiento de los autobuses del Sistema Metrovía, que realizan el transporte urbano dentro de la ciudad.

Hasta el año 2011, el Diesel 2 con un contenido de azufre de hasta 7000 ppm, se comercializaba en el resto del país y el Diesel 1, hasta el momento es de uso restringido para las industrias que lo requieren.

La norma NTE INEN 935:2012. Octava Revisión. Gasolinas, (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012) establece un contenido de aromáticos y azufre máximo de 30% y 650 ppm para la Gasolina Extra, 35% y 650 ppm para la Gasolina Super respectivamente, valores que limitan la optimización en el uso de naftas propias para la preparación de gasolinas en la Refinería de Esmeraldas. En la tabla 3 se detalla esta norma, la que establece todos los requisitos que deben cumplir la Gasolina Extra y Gasolina Super que se comercializa en el país.

**Tabla 3.** Norma ecuatoriana de calidad de combustibles NTE INEN 935:2012. Octava Revisión. Gasolinas. Requisitos. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012)

<b>GASOLINAS</b>			
PRUEBA O ANÁLISIS	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN GASOLINA SUPER NTE INEN 935:2012 OCTAVA REVISIÓN	ESPECIFICACIÓN GASOLINA EXTRA NTE INEN 935:2012 OCTAVA REVISIÓN
NUMERO DE OCTANO RESEARCH (RON)	NTE INEN 2102	mín. 92.0	mín. 87.0
DESTILACIÓN:			
10% (°C)		máx. 70	máx. 70
50% (°C)		mín. 77 - máx. 121	mín. 77
90% (°C)	NTE INEN 926	máx. 190	máx. 189
PUNTO FINAL (°C)		máx. 220	máx. 215
RESIDUO DE DESTILACIÓN (% VOL)		máx. 2	máx. 2
RELACIÓN VAPOR-LÍQUIDO, A 60°C, V/L	NTE INEN 932 ASTM D5 188 <sup>D</sup>	máx. 20	máx. 20
PRESIÓN DE VAPOR (kPa)	NTE INEN 928 <sup>C</sup> ASTM D 4953 ASTM D 5191 <sup>D</sup>	máx.60 <sup>B</sup>	máx.60 <sup>B</sup>
CORROSION LAMINA DE COBRE (3 h a 50°C)	NTE INEN 927	máx. 1	máx. 1
CONTENIDO DE GOMAS (mg/100 cm <sup>3</sup> )	NTE INEN 933	máx. 4	máx. 3
CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	NTE INEN 929 ASTM D4 294 <sup>D</sup>	máx. 650	máx. 650
CONTENIDO DE AROMÁTICOS (% VOL)	NTE INEN 2252 <sup>D</sup> ASTM D 6730	máx. 35	máx. 30
CONTENIDO DE BENCENO (% VOL)	ASTM D 3606 <sup>C</sup> ASTM D 5580 <sup>D</sup> ASTM D 6277 ASTM D 6730	máx. 2	máx. 1
CONTENIDO DE OLEFINAS (% VOL)	NTE INEN 2252 <sup>D</sup> ASTM D 6730	máx. 25	máx. 18
ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN (min)	ASTM D 7525 NTE INEN 934 <sup>D</sup> ASTM D 4815 <sup>D</sup>	mín. 240	mín. 240
CONTENIDO DE OXÍGENO (% MASA)	ASTM D 5845 ASTM D 6730	máx. 2.7 <sup>E</sup>	máx. 2.7 <sup>E</sup>
CONTENIDO DE PLOMO (mg/l)	ASTM D 3237 ASTM D 5185	NO DETECTADO F, G	NO DETECTADO F, G
CONTENIDO DE MANGANESO (mg/l)	ASTM D 3831 ASTM D 5185	NO DETECTADO F, H	NO DETECTADO F, H
CONTENIDO DE HIERRO (mg/l)	ASTM D 5185	NO DETECTADO F, I	NO DETECTADO F, I

**B** En el caso que las gasolinas contengan etanol anhidro la presión de vapor puede llegar hasta 62 kPa.

**C** Método de ensayo utilizado para combustible gasolina sin etanol

**D** Este método es considerado el método dirimente para los casos de arbitraje o peritación

**E** El equivalente en masa de etanol anhidro agregado a la mezcla

**F** Sin adición intencional

**G** No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3237

**H** No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3831

**I** No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 5185

La Refinería Esmeraldas con las unidades CCR (Reformación Catalítica) y FCC (Craqueo Catalítico) produce un combustible de elevado octanaje, pero con un alto contenido de aromáticos y azufre respectivamente. Por tal motivo, para distribuir combustibles que cumplan con las exigencias de la norma NTE INEN, EP Petroecuador debe importar nafta de alto octano, así como de Diesel, para cubrir la demanda nacional.

En la tabla 4 se presenta la norma NTE INEN 1489:2011. Quinta Revisión. Diesel, (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) que establece un máximo de contenido de azufre de 500 ppm para el Diesel de bajo contenido de azufre y 7000 ppm para el Diesel de alto contenido de azufre. En esta norma se establece todos los requisitos que debe cumplir el Diesel que se comercializa en el país.

**Tabla 4.** NTE INEN 1489:2011. Quinta Revisión. Diesel. Requisitos. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

<b>DIESEL</b>			
PRUEBA O ANÁLISIS	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN DIESEL BAJO AZUFRE	ESPECIFICACIÓN DIESEL 2
		NTE INEN 1489:2011 QUINTA REVISIÓN	NTE INEN 1489:2011 QUINTA REVISIÓN
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	NTE INEN 1493 Procedimiento A	mín. 51	mín. 51
CONTENIDO DE AGUA Y SEDIMENTOS (% VOL)	NTE INEN 1494	máx. 0.05	máx. 0.05
CONTENIDO DE RESIDUO CARBONOSO SOBRE EL 10% DEL RESIDUO DE DESTILACIÓN (% MASA)	NTE INEN 1491	máx. 0.15	máx. 0.15
CONTENIDO DE CENIZAS (% MASA)	NTE INEN 1492	máx. 0.01	máx. 0.01
DESTILACIÓN AL 90%, (°C)	NTE INEN 926	máx. 360	máx. 360
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 37.8°C (cst)	NTE INEN 810	mín. 2.5 – máx. 6.0	mín. 2.5 – máx. 6.0
CONTENIDO DE AZUFRE (% MASA)	ASTM D 4294 NTE INEN 1490	máx. 0.05	máx. 0.7
CORROSION LAM. COBRE	NTE INEN 927	No. 3	No. 3
INDICE DE CETANO, CALCULADO	NTE INEN 1495	mín. 45	mín. 45
CONTENIDO DE BIODIESEL (% VOL)	NTE INEN 14078	mín. Nota 1. - máx. 5	mín. Nota 1. - máx. 5

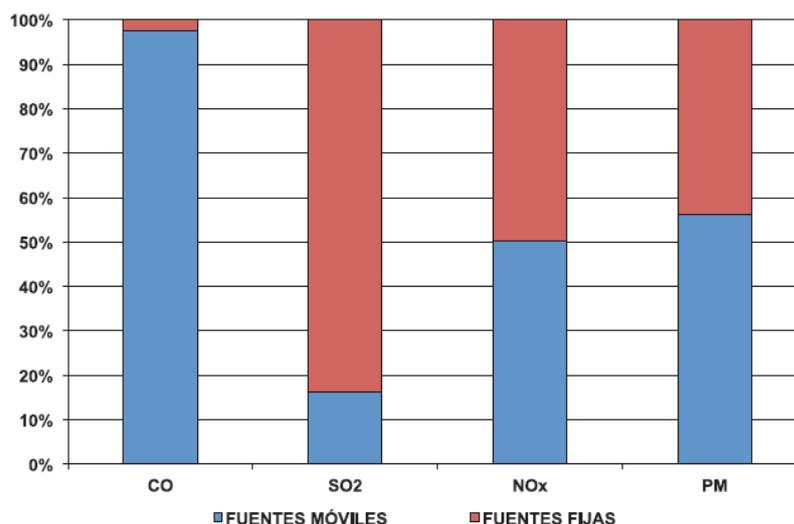
NOTA: De no contener biodiesel no es necesario la realización de este ensayo.

## **1.2.2 SITUACIÓN ACTUAL: CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE EN EL ECUADOR**

La Secretaría del Ambiente del Municipio de Quito, en sus documentos oficiales, Informes anuales e Inventarios de emisiones, indica que, el deterioro de la calidad del aire dentro del perímetro urbano, está vinculado principalmente a la calidad de los combustibles, lo cual se agrava por el incremento del parque automotor, el crecimiento urbano y la preferencia de la población por el transporte privado.

Así mismo indica que, el 66% de los contaminantes primarios (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, COVNM, NH<sub>3</sub>) son ocasionados por emisiones vehiculares y que, aún no se ha alcanzado a cumplir la norma nacional para el parámetro Material Particulado 2.5, ocasionado especialmente por las emisiones de vehículos a diesel.

En el Informe de Calidad del Aire 2011 (Secretaría de Ambiente, 2011), emitido por la Secretaria del Ambiente, se reporta el total de emisiones en el DMQ. En la figura 4 se puede observar que las emisiones de CO se producen principalmente por las fuentes móviles, mientras que para el caso de SO<sub>2</sub>, las fuentes fijas son las principales responsables. El aporte de fuentes fijas y móviles para emisiones de NO<sub>x</sub> y material particulado PM es relativamente similar.



**Figura 4.** Porcentaje acumulado de emisiones de fuentes fijas y fuentes móviles en el DMQ para el año 2011 en función de contaminantes CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y PM. (Secretaría de Ambiente, 2011)

### 1.2.3 ENTIDADES QUE CONTROLAN LAS EMISIONES VEHICULARES

#### 1.2.3.1 EN LA CIUDAD DE QUITO

En el Ecuador, Quito es la primera ciudad donde empiezan a funcionar los Centros de Revisión Vehicular mediante la aplicación de la debida Ordenanza Municipal bajo la regulación de la Corporación para el Mejoramiento del aire de Quito (Corpaire) en febrero del 2004, actualmente esta entidad está liquidada y sus funciones en relación al control de la Revisión Técnica Vehicular fueron asumidas por la Secretaría de Ambiente, entidad creada con la administración municipal actual. (Municipio de Quito - Secretaría de Movilidad, 2012)

La Revisión Técnica Vehicular (RTV), es un sistema obligatorio que adoptó la Corporación para el Mejoramiento del aire de Quito (Corpaire), que incluye la revisión del estado mecánico, de seguridad y de emisiones de todos los vehículos que circulan en el DMQ. Los vehículos particulares deben aprobar esta revisión una vez al año, y los vehículos de uso intensivo (buses, camiones, camionetas y taxis) dos veces al año. (Municipio de Quito - Secretaría de Movilidad, 2012)

Esta revisión se realiza en seis centros que fueron construidos y son operados por dos empresas privadas internacionales: Danton S.A. y el Consorcio ITLS.

Estos centros cuentan con 18 líneas de revisión, donde se verifica el estado general del vehículo y adicionalmente se realiza el control de emisiones, según corresponda al tipo de motor del vehículo y de acuerdo a su año de fabricación.

Para los vehículos que utilizan diesel, se controla la opacidad (la intensidad de la coloración negra del humo de escape), utilizando opacímetros y para los motores a gasolina, se emplea un analizador de gases que determina las concentraciones de monóxido de carbono e hidrocarburos.

Los resultados obtenidos deben cumplir con lo establecido en las normas vigentes emitidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN 2202,

INEN 2203, INEN 2204, INEN 2205, INEN 2207, INEN 2349, que establecen los valores máximos permitidos para las emisiones de contaminantes.

#### 1.2.3.1.1 CERTIFICACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES, REQUISITO PARA LA CIRCULACIÓN VEHICULAR (Municipio de Quito - Secretaría de Movilidad, 2012)

A los vehículos que se someten a la RTV se les entrega un certificado con el resultado: APROBADO, CONDICIONAL O RECHAZADO. Se necesita el certificado de APROBADO para que el vehículo circule en el DMQ y para que sea matriculado.

Se considera APROBADO cuando el vehículo cumple con todos los requisitos, o presenta hasta un número máximo permitido de defectos con calificación menor al límite de rechazo.

Se considera CONDICIONAL cuando tiene al menos un defecto con calificación mayor al límite de rechazo, o presenta un número mayor al permitido de defectos con calificación menor al límite de rechazo. El vehículo debe regresar reparado en un período de treinta días para una nueva revisión.

Se considera RECHAZADO cuando en la cuarta revisión, el vehículo no aprueba la RTV. En estas condiciones el vehículo no puede circular en el DMQ.

La figura 5 muestra un ejemplo de certificado, emitido luego de que un vehículo aprueba la Revisión Técnica Vehicular.

**2137346** REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Revisión Obligatoria

**DATOS IMPORTANTES A TENER EN CUENTA**

No. Certificado: 02137346 Marca: TOYOTA  
 No. Adhesivo: 00026833 Modelo: YARIS NITRO 5P  
 Fecha Revisión: 07-Feb-2012 Año: 2008

**APROBADO RESULTADO**

PDA1451  
 PLACA  
 31-Dic-2012  
 VALIDO HASTA

CONVOCATORIA  
 No Defectos TIPO 3: 00  
 No Defectos TIPO 2: 00  
 No Defectos TIPO 1: 00

Cooperativa: CENTRO MIXTO CARAPUNGO  
 No. EMMOP: CENTRO MIXTO CARAPUNGO  
 No Revisión: 0100407255310-01

ING. FABIAN RAMOS L.D. PROF. 04-17-1655  
 RESPONSABLE

FECHA FIRMA REVISOR  
 Kilometraje: 66,988.00 KM

CODIGO	DESCRIPCION DE PRUEBAS MECATRONICAS	UNIDAD	VALOR(X)	RANGO NORMAL	CALIFICACION	UBICACION
03 09 01	ALINEACION 1ER EJE CONVERGENCIA	m/Km	-2.00	-6.99<=X<=-6.99	OK	00
05 01 03	EFICACIA SUSPENSION EN RUEDA DERECHA DEL 1° EJE	%	77.00	60.00<=X<=100.00	OK	18
05 01 03	EFICACIA SUSPENSION EN RUEDA IZQUIERDA DEL 1° EJE	%	77.00	60.00<=X<=100.00	OK	19
05 01 04	DESEQUILIBRIO DE SUSPENSION EN 1° EJE	%	0.00	0.00<=X<=14.99	OK	
05 01 05	EFICACIA SUSPENSION EN RUEDA DERECHA DEL 2° EJE	%	76.00	50.00<=X<=100.00	OK	18
05 01 05	EFICACIA SUSPENSION EN RUEDA IZQUIERDA DEL 2° EJE	%	77.00	50.00<=X<=100.00	OK	19
05 01 06	DESEQUILIBRIO DE SUSPENSION EN 2° EJE	%	1.00	0.00<=X<=14.99	OK	
02 01 03	ALINEACION HORIZONTAL FARO CONDUCTOR	%	0.90	-2.00<=X<=999.00	OK	06
02 01 03	ALINEACION VERTICAL FARO CONDUCTOR	%	0.40	-999.00<=X<=2.50	OK	06
02 01 02	INTENSIDAD FARO CONDUCTOR	Lux	61.70	0.01<=X<=135.00	OK	09
10 03 01	NIVEL DE RUIDO EN EL ESCAPE	dB	71.01	0.01<=X<=74.99	OK	
10 02 01	HIIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC) RALENTI	ppm	64.00	0.00<=X<=159.99	OK	
10 02 01	O2 EN BAJAS	%	0.33	0.00<=X<=3.00	OK	
10 02 01	LAMBDA EN BAJAS	**	1.01	0.13<=X<=999.99	OK	
10 02 01	MONOXIDO DE CARBONO (CO) RALENTI	%	0.00	0.00<=X<=0.50	OK	
10 02 04	RPM EN RALENTI	rpm	860.00	0.01<=X<=1,200.00	OK	
10 02 05	HIIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC) 2500 RPM	ppm	64.00	0.00<=X<=159.99	OK	
10 02 05	O2 EN ALTAS RPM	%	0.38	0.00<=X<=3.00	OK	
10 02 05	LAMBDA EN ALTAS	**	1.01	0.13<=X<=999.99	OK	
10 02 05	MONOXIDO DE CARBONO (CO) 2500 RPM	%	0.00	0.00<=X<=0.50	OK	
04 07 02	DESEQUILIBRIO DE FRENADO EN 1° EJE	%	5.00	0.00<=X<=15.00	OK	00
04 07 03	DESEQUILIBRIO DE FRENADO EN 2° EJE	%	10.00	0.00<=X<=14.99	OK	01
04 07 01	EFICACIA DE FRENADO	%	79.00	60.00<=X<=120.00	OK	
04 04 01	EFICACIA FRENO DE ESTACIONAMIENTO	%	23.00	20.00<=X<=100.00	OK	

**ADHESIVO** →

Revisión Técnica Vehicular  
**APROBADO 2012**  
 N 000001

**Figura 5.** Certificado de la Revisión Técnica Vehicular. (Municipio de Quito - Secretaría de Movilidad, 2012)

Tipos de defectos que se consideran (Secretaría de Movilidad, 2013):

Defectos tipo I (MDO: Moderado)

Son aquellos que no involucran un riesgo inminente para la seguridad de los ocupantes del vehículo, para las demás personas y/o para el ambiente, pero que podrían, posteriormente, convertirse en defectos Tipo II o Tipo III, debido al deterioro natural o provocado.

#### Defectos tipo II (GRV: Grave)

Son aquellos que implican un riesgo potencial para la seguridad de los ocupantes del vehículo, para las demás personas y/o para el ambiente, si es que están sumados a otros defectos de la misma especie.

#### Defectos tipo III (PGR: Peligroso)

Son aquellos que representan un riesgo inminente para la seguridad de los ocupantes del vehículo, para las demás personas y/o para el ambiente, lo que a su vez genera la obligación de llevar nuevamente el vehículo al Centro de RTV para comprobar que el defecto ha sido corregido.

#### Acumulación de defectos

Se establece que la ocurrencia (sumatoria) de varios defectos Tipo II en una familia o en el conjunto total del vehículo puede aumentar el riesgo de falla mecánica en el mismo, por lo que se considera que la aparición de varios defectos calificados como Tipo II en una misma familia se asemeja a un defecto Tipo III.

### 1.2.3.2 EN LA CIUDAD DE CUENCA

En la ciudad de Cuenca, el 5 de octubre de 2005 se creó una corporación para mejorar la calidad del aire llamada CUENCAIRE, cuyo objetivo era monitorear el aire y el nivel de contaminación, promover e implementar acciones para mejorar la calidad del aire. (Municipio de Cuenca - Secretaría de Movilidad, 2012)

El 26 de agosto del 2005 se delega a CUENCAIRE la Revisión Técnica Vehicular, que sería un requisito previo para la matriculación vehicular en el cantón Cuenca.

El Consorcio Danton fue acreditado para llevar a cabo la Revisión Técnica Vehicular en la ciudad de Cuenca bajo la regulación de CUENCAIRE y desde el año 2008 entra en funcionamiento el primer centro de revisión vehicular mixto (vehículos livianos y pesados) tanto de transporte público como privado ubicado en el sector de Mayancela. (Municipio de Cuenca - Secretaría de Movilidad, 2012). En el mes de mayo de 2009 entró en operación el centro de revisión vehicular para vehículos livianos en el sector de Capulispamba.

La Revisión Técnica Vehicular es obligatoria para todos los vehículos que circulan en el cantón Cuenca, según la ordenanza que norma el establecimiento del sistema de revisión técnica vehicular de Cuenca para los vehículos particulares o de uso intensivo (buses, camiones, camionetas y taxis), debido a sus mayores recorridos.

El 9 de abril de 2010, mediante Ordenanza se crea la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca – EMOV EP, asumiendo la función de ejecutar la Revisión Técnica Vehicular y el monitoreo de la calidad del aire dentro del Cantón Cuenca, de conformidad con las políticas y ordenanzas expedidas por el Municipio de Cuenca y en coordinación con la Comisión de Gestión Ambiental (CGA). (Municipio de Cuenca - Secretaría de Movilidad, 2012)

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la variación en las emisiones gaseosas de contaminantes primarios y rendimiento vehicular con el mejoramiento de la calidad de la gasolina y diesel utilizado en el Ecuador.

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar la concentración de contaminantes primarios en las emisiones gaseosas de un vehículo que utiliza diferentes tipos de gasolina.
- ✓ Determinar la concentración de contaminantes primarios en las emisiones gaseosas de un vehículo que utiliza diferentes tipos de diesel.
- ✓ Determinar la potencia de un vehículo que utiliza diferentes tipos de gasolina.

### 1.3.3 METAS

- ✓ Obtener el valor de potencia, torque, así como la concentración de  $\text{NO}_x$ , HC, CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  y  $\text{SO}_2$  en las emisiones de un vehículo que utilizará como combustible cuatro tipos de gasolina.
- ✓ Obtener la concentración de  $\text{NO}_x$ , HC, CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y material particulado en las emisiones de un vehículo que utilizará como combustible tres tipos de diesel.
- ✓ Elaborar una propuesta de mejora en la calidad de la gasolina y diesel automotriz de acuerdo a los resultados obtenidos, en cuanto a emisiones, rendimiento vehicular y costos.
- ✓ Calcular el porcentaje de disminución de emisiones vehiculares de  $\text{SO}_2$  en el Ecuador, con el mejoramiento de la calidad de Gasolina Extra, Gasolina Super y Diesel automotriz propuesto en este estudio.
- ✓ Calcular el costo del mejoramiento de combustibles propuesto en el Ecuador.

### 1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

En este estudio se realizaron medidas de emisiones y rendimiento vehicular en la ciudad de Quito, usando diferentes tipos de gasolina y diesel en un vehículo liviano y pesado respectivamente, para conocer el beneficio ambiental y vehicular obtenido del mejoramiento en la calidad de combustibles.

## 1.5 PROYECTOS RELACIONADOS/COMPLEMENTARIOS

Los siguientes proyectos están relacionados directamente al tema tratado en este trabajo y son proyectos que el gobierno nacional ejecutará a través de EP Petroecuador:

- ✓ Producción y Comercialización de Diesel en el Ecuador con un contenido de azufre de hasta 150 ppm.
- ✓ Mejoramiento de la calidad de combustibles producidos en Refinería Esmeraldas y Shushufindi.

## CAPITULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 CALIDAD DEL AIRE

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más importantes, y normalmente es resultado de las actividades del hombre. Las causas que originan esta contaminación son diversas, pero el mayor índice es provocado por el tráfico vehicular y actividades industriales.

La combustión para generar calor, energía eléctrica o movimiento, constituye la fuente de emisión de contaminantes más significativa.

#### 2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN

La contaminación del aire tiene su origen en dos tipos de causas (Cerutti, 2001):

- Las causas naturales son producto de las erupciones volcánicas, emisiones de cenizas volcánicas, los incendios forestales no provocados y todas aquellas actividades de las que el hombre no es responsable.

- Las causas antropogénicas son el resultado de las diversas actividades del hombre como el uso de combustibles fósiles para producir energía, uso que incrementa significativamente con el crecimiento de los procesos industriales y el avance tecnológico, tráfico vehicular, aéreo y marítimo.

## 2.2.1 CONTAMINANTES GASEOSOS

Los contaminantes más comunes del aire son el material particulado ( $PM_{10}$ ), el dióxido de azufre ( $SO_2$ ), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y el ozono ( $O_3$ ). Este es el ozono de nivel de tierra o troposférico, no el ozono estratosférico, que proporciona una protección benéfica contra los rayos ultravioleta del sol. Estos contaminantes son producidos por diversas fuentes, sin embargo, la principal fuente artificial es la quema de combustible fósil (López, 2003)

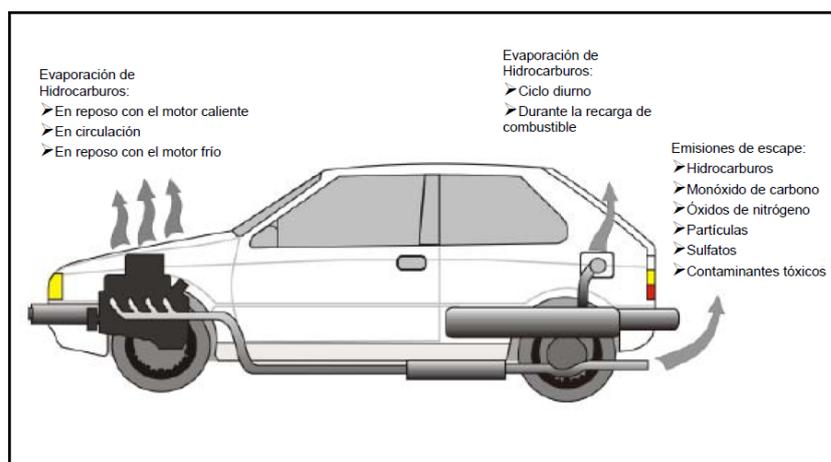
## 2.2.2 EMISIONES VEHICULARES

En Ecuador, el problema de la contaminación atmosférica, principalmente en vías urbanas y de alto tráfico, se debe a las emisiones vehiculares de gases y partículas, especialmente durante las horas pico (Secretaría de Ambiente, 2011).

Los aumentos sustanciales en las distancias entre destinos que recorre cada vehículo, así como el incremento del número de vehículos en circulación han generado un crecimiento de las emisiones (Secretaría de Ambiente, 2011).

En general, hay dos tipos de emisiones vehiculares debido al uso de combustibles fósiles, emisiones de tubo de escape y emisiones evaporativas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007).

Las emisiones producidas por un vehículo se distribuyen en las categorías que se indican en la figura 6.



**Figura 6.** Proceso de emisión de contaminantes en vehículos automotores. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007)

### **1.Emisiones evaporativas** (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007)

Estas se deben a la evaporación de combustible, ocurren cuando el vehículo está estacionado y cuando está en circulación; estas emisiones dependen de las características del vehículo, factores geográficos y meteorológicos, como la altura y la temperatura ambiente y, principalmente,

de la presión de vapor del combustible, como lo indica la Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares de México. Los procesos de emisiones evaporativas incluyen:

- Emisiones diurnas: Proviene del tanque de combustible debido a un aumento de temperatura del combustible y su presión de vapor a causa de los cambios de temperatura a través de las 24 horas del día.
- Emisiones del vehículo recién apagado con el motor caliente: Se generan cuando se apaga el motor, debido a la volatilización del combustible en el sistema de alimentación por su calor residual.
- Emisiones evaporativas en operación o circulación: Se presentan cuando el motor está en operación normal, por las fugas de combustible, como líquido o vapor.
- Emisiones evaporativas del vehículo en reposo con el motor frío: Ocurren cuando el motor no está en funcionamiento principalmente debido a fugas de combustible y a la fuga del vapor a través de las líneas de alimentación del combustible.
- Emisiones evaporativas durante el proceso de recarga de combustible: Proviene del tanque de combustible y son fugas de vapor que ocurren durante el proceso de llenado; se presentan mientras el vehículo está en las estaciones de servicio.

Los tipos de emisiones evaporativas consideradas anteriormente dependen básicamente de las condiciones de operación del vehículo, siendo las emisiones más significativas las de los vehículos que usan como combustible gasolina.

La ecuación 1 indica la relación básica para el cálculo de emisiones totales:

$$E_{total} = E_{caliente} + E_{partida} + E_{evaporativa} \quad \text{Ecuación 1}$$

$E_{total}$  = Total emisiones de un contaminante, dada la variable temporal y espacial.

$E_{caliente}$  = Emisiones durante la estabilidad térmica de funcionamiento del motor.

$E_{partida}$  = Emisiones durante la fase de transición en la cual el motor está alcanzando la temperatura óptima de funcionamiento.

$E_{evaporativas}$  = Emisiones generadas por la evaporación del combustible.

## **2. Emisiones por el tubo de escape** (Instituto Nacional de Ecología, 2007)

Las emisiones por el tubo de escape son aquellas que resultan del proceso de combustión interna del combustible y comprenden a una serie de contaminantes tales como COV, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM, gases tóxicos del aire (benceno, formaldehído, etc.) y las especies reductoras de visibilidad (amoníaco, sulfatos, PM<sub>2.5</sub>). Estas emisiones dependen de las características del vehículo, su tecnología y su sistema de control de emisiones, así mismo,

el estado del vehículo y factores como la velocidad de circulación, la frecuencia e intensidad de las aceleraciones y las características del combustible (como su contenido de azufre, aromáticos, olefinas) juegan un papel determinante en las emisiones por el escape, señala la Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares de México.

*Compuestos orgánicos volátiles (COV):* Corresponden a la fracción del combustible que no se combustionó. Participan en la formación de O<sub>3</sub>.

*Óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):* Se generan con la reacción del nitrógeno con el oxígeno del aire en condiciones de la alta temperatura y presión de los motores. Participan con los COV en la formación de O<sub>3</sub>, son precursores de material particulado secundario y de la lluvia ácida.

*Monóxido de carbono (CO):* Se produce por la combustión incompleta debido a la ineficiencia del proceso de combustión por falta de oxígeno.

*Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>):* Es el principal causante de la lluvia ácida debido a la transformación que sufre en la atmósfera en ácido sulfúrico.

*Partículas finas PM<sub>2.5</sub>:* Las partículas suspendidas menores de 2.5 micrómetros son material sólido o líquido, invisibles a simple vista, pero capaces de dispersar la luz y disminuir la visibilidad; permanecen en la atmósfera por mucho tiempo y pueden recorrer grandes distancias.

*Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):* Estas emisiones se producen por la quema del combustible y son expulsadas a través del tubo de escape. La cantidad emitida depende de la energía requerida (peso del vehículo y potencia) y

de la eficiencia del motor, es así que, a mayor potencia y mayor peso, mayor consumo de combustible y mayores emisiones de CO<sub>2</sub>.

Las emisiones por el tubo de escape se clasifican en aquellas emitidas mientras el motor aún está frío, denominadas como “emisiones por partidas en frío”, y, aquellas emitidas cuando el motor ha alcanzado su temperatura normal de operación, denominadas “emisiones en caliente”.

- Emisión en caliente (por tubo de escape con motor caliente) se da cuando hay estabilidad térmica en la operación del motor.
- Emisión de partida en frío (en proceso de calentamiento) se da cuando el motor está alcanzando la temperatura para su funcionamiento óptimo.

### 3. Emisiones del ciclo de vida (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007)

Estas son producidas por todas las actividades asociadas con la manufactura, el mantenimiento y el desecho de un vehículo.

### 4. Otras emisiones (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007)

Existen fuentes adicionales de emisiones de partículas (MP) para los vehículos terrestres, como el levantamiento de polvo del camino y el desgaste de llantas y frenos.

## 2.3 PRUEBAS DE EMISIÓN DE GASES

El primer ciclo de revisión de emisiones fue legislado en el estado de California en Estados Unidos en 1996. La prueba común usada hasta la década de 1980 fue la de movimiento ausente (usualmente en dos velocidades), para luego ser reemplazada por el dinamómetro. La última variante conocida es la del modo de simulación acelerada, ASM (Accelerated Simulated Mode). (Wikipedia, Enciclopedia libre, 2012)

## 2.4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES

La estimación de emisiones vehiculares se realiza a través de cálculos teóricos realizando un balance de masa de combustible ( $\text{CO}_2$  y  $\text{SO}_2$ ) o bien, a través de los factores de emisión obtenidos a partir de ensayos experimentales (para la mayoría de los contaminantes gaseosos y partículas).

### o **Factores de emisión**

(Institute for global environmental strategies IGES, 2006)

Los factores de emisión son una medida de la cantidad promedio de un contaminante específico que se descarga a la atmósfera por un proceso determinado, tipo de combustible, equipo o fuente.

El factor de emisión es normalmente expresado en unidades de masa dividido por unidades de actividad. Su determinación obedece al uso de

modelos que reflejan las características locales de la zona analizada, considerando los efectos de varios parámetros tales como la modalidad de conducción, tipo de motor, características del combustible, velocidades de operación del vehículo, tipo de mantenimiento, alteraciones de los sistemas de control de emisiones, la tecnología para el control de emisiones, la temperatura ambiente, altitud, kilometraje y la pendiente del terreno, de tal manera que en la medida en que incrementa el detalle, el factor de emisión resulta más específico.

Con el fin de estimar las emisiones generadas por los diferentes tipos de combustibles, la metodología IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) sugiere la utilización de factores de emisión apropiados para cada caso, ya que con la variación de la calidad de los combustibles, también varían los factores de emisión, y sugiere que los inventarios nacionales sean preparados utilizando factores de emisión locales siempre que sea posible.

Sin embargo, a falta de información local, alternativamente se pueden utilizar factores de emisión de la literatura internacional, siempre que los casos sean o se desarrollen en condiciones similares. Una de las fuentes más importantes constituye el *MOBILE6 Vehicle Emission Modeling Software*, software de modelado para predecir el factor de emisión en gramos por milla de emisiones de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), partículas (PM) y sustancias tóxicas de los automóviles, camiones y motocicletas en diversas condiciones. MOBILE6 ha sido reemplazado por MOVE como el modelo

oficial de la EPA para la estimación de las emisiones de los automóviles, camiones y motocicletas, según lo indica la página web de la ES-EPA, Modeling and Inventories, [www.epa.gov/oms/models.htm](http://www.epa.gov/oms/models.htm).

Otro documento de referencia es la guía Rapid Source Inventory Technique publicado por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 1993) donde se encuentran factores de emisión para diversas fuentes.

Estos factores de referencia internacionales también se encuentran en documentos de guía para inventario de gases de efecto invernadero indicados en Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel of Climate Change, IPCC, 2006.

La *European Environment Agency* proporciona tablas de factores de emisión para cada contaminante, media, técnica, actividad, etc., en las guías europeas para inventarios de emisión, los cuales pueden ser utilizados de acuerdo a la similitud de condiciones.

## 2.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Las alternativas para controlar o disminuir la contaminación del aire son numerosas, estas pueden ir desde la simple denuncia a las autoridades hasta la participación directa en diferentes ámbitos.

Las medidas para controlar o disminuir la contaminación del aire pueden estar dirigidas a reducir el valor del factor de emisión (mg/km), como son las siguientes:

- Afinar el motor y proporcionar un correcto mantenimiento a los automóviles.

- Manejar a velocidades moderadas.
- Usar convertidores catalíticos en los automóviles.
- Utilizar combustibles de mejor calidad.
- Uso de vehículos eficientes.

Otras medidas están orientadas a fomentar la movilidad sustentable como:

- Impulsar la disminución del uso de automóvil particular.
- Restricción vehicular, como el Pico y Placa.
- Mejora de los sistemas de transporte públicos.

### 2.5.1 MEJORA CALIDAD DE COMBUSTIBLES

En los motores normalmente la combustión es incompleta. En consecuencia, se emiten por el escape, productos tóxicos como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, el material particulado fino y otros contaminantes.

La mejora de la calidad de combustibles es una medida dirigida a reducir el valor del factor de emisión mediante la disminución del contenido de azufre de la gasolina y diesel, así como el incremento del octanaje e índice de cetano en estos combustibles, lo que conlleva a la reducción de las emisiones de SO<sub>2</sub> y de otros contaminantes.

## 2.6 REFINACIÓN DEL PETRÓLEO

El petróleo tal como se extrae de la tierra o el mar difícilmente puede ser utilizado como combustible, aunque antiguamente se usaba como tal, esto se debe a la dificultad que presenta para arder, es decir, requiere de altas temperaturas para combustionar (Cerutti, 2001).

Para obtener productos que puedan ser fácilmente utilizados como fuente de energía o materia prima, es necesario separar el petróleo en fracciones.

Refinación es el conjunto de procesos de separación, transformación y purificación que se aplican al petróleo crudo para separar sus componentes útiles y obtener características de acuerdo a lo requerido para los productos terminados (Cerutti, 2001).

La función de una refinería es transformar el petróleo en productos derivados que satisfagan la demanda en calidad y cantidad. Cabe destacar que la demanda es variable con el tiempo, en volumen y características de calidad de los derivados.

Los derivados son los productos obtenidos de los procesos de refinación. En una refinería se obtienen tres clases de derivados (Cerutti, 2001):

- ✓ Productos terminados, que pueden ser suministrados directamente al consumo.
- ✓ Productos semielaborados, que pueden servir de base a ciertos productos después de mejorar su calidad mediante aditivos.

✓ Subproductos o productos intermedios, como la nafta virgen, que sirve como la materia prima para la industria petroquímica u otros procesos.

## 2.6.1 PROCESO DE REFINAMIENTO

Cada proceso tiene sus características y equipos para producir cierto tipo de productos. Cada refinería cuenta con un seleccionado número de procesos para obtener determinado tipo de derivados según sus necesidades.

En el proceso de refinación se obtienen gasolinas, naftas, destilados, combustibles residuales, asfalto, lubricantes y ceras.

Una refinería puede tener entre otros los siguientes procesos (Wauquier, 2004):

### 2.6.1.1 DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA Y DESTILACIÓN AL VACÍO.

Los procesos de destilación atmosférica y destilación al vacío son clásicos en la refinación.

J.P. Wauquier, en su libro del Refino del Petróleo, 2004, menciona que la destilación atmosférica es el primer tratamiento que se da al crudo luego de su extracción, mediante este proceso se separan los componentes gracias a los diferentes punto de ebullición de los mismos, previo a este tratamiento al

crudo se lo debe someter a desalado para extraer las sales con la finalidad de reducir la corrosión y depósitos.

La destilación al vacío es una operación de destilación a una presión reducida que se usa para el tratamiento del residuo obtenido en la destilación atmosférica, obteniendo en general como productos gasóleos y residuos.

### 2.6.1.2 DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA CATALÍTICA FLUIDA

#### CRAQUEO TÉRMICO

En este proceso, mediante la acción del calor (400-650°C) se rompe o deshidrogenan la cadenas carbonatadas produciendo cadenas más cortas, olefinas, naftenos o aromáticos, las reacciones de craqueo térmico se producen a través de un mecanismo de radicales libres (Ortuño, 1994).

#### CRAQUEO CATALÍTICO

Como un mejoramiento al proceso de craqueo térmico se ha empleado catalizadores que permitan disminuir las temperaturas y presiones usadas en este proceso. La función del catalizador es obtener del craqueo de gasóleos, gasolinas de alto octanaje al producir una mayor ramificación de las cadenas (Ortuño, 1994).

### 2.6.1.3 REFORMACIÓN CATALÍTICA

Para elevar el poder antidetonante de la gasolina se utiliza un proceso similar al craqueo catalítico, pero en este caso no se busca incrementar la

cantidad de gasolina sino el octanaje de la misma, modificando la estructura química de las naftas, mediante el uso de un catalizador a condiciones de presión moderada y alta temperatura.

Simultáneamente en las reacciones se produce hidrógeno, que se utiliza en la misma refinería en otros procesos (HDS, hidrodesulfuración de diesel). Las reacciones son promovidas por catalizadores a base de platino acompañado de activadores metálicos (platino-renio o platino-estaño) y halógeno (Cerutti, 2001) (Ortuño, 1994).

## 2.6.2 PRODUCTOS DERIVADOS

Del petróleo se obtienen muchos productos, que van desde gases y líquidos volátiles como el gas combustible y la gasolina, hasta fluidos muy pesados como el asfalto y residuo para preparar fuel oil (Cerutti, 2001).

En general, los derivados básicos del petróleo son: gases, gasolina, jet fuel, kerosene, gasoil, diesel, solventes, bases lubricantes, parafina, combustible pesado (fuel oil) y asfalto, en la figura 7 se puede observar los diferentes operaciones y procesos que pueden emplearse en una refinería a fin de obtener los productos deseados (Cerutti, 2001).

OPERACIONES Y PROCESOS DE REFINACION			
MATERIAL	APLICACIÓN	TIPO OPERACION Y/O PROCESO	DENOMINACION
Sobre el petróleo	Tratamiento impurezas oleofóbicas	Decantación natural Lavado y decantación forzada	hidratación Desalación
Generalmente Sobre Productos	Tratamiento impurezas oleofilicas	Tratamientos químicos	
Relativos al sistema multicompon. hidrocarburos	Operaciones	Destilación a P = atms	"Topping"
		Destilación a P = reducida	Vacio
	Procesos	Ruptura Molecular	Craqueo térmico y catalítico
		Reformación	"Reforming" catalítico Isomerización
	Reconstrucción	Hidrogenación Polimerización Alquilación	

**Figura 7.** Proceso de refinación (Cerutti, 2001).

En la tabla 5 se presenta las fracciones de crudo obtenidas de la destilación que se agrupan según el número de carbonos presentes en los compuestos que forman (Cerutti, 2001).

**Tabla 5.** Número de átomos de carbono en cada fracción de crudo.

FRACCIONES EN EL CRUDO	NÚMERO DE CARBONOS
GAS	1 – 4
GASOLINA	5 – 10
KEROSENE	11 – 13
GASOIL	14 – 18
ACEITES LUBRICANTES	18 – 35
<b>RESIDUOS</b>	<b>&gt; 35</b>

## 2.7 MARCO LEGAL – AMBIENTAL EN EL ECUADOR

En el Ecuador, la política ambiental tuvo sus inicios en la década de los 70s, como iniciativa al tenor de los tratados internacionales (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano, Estocolmo 1972), a fin de mantener un ordenamiento jurídico para el reconocimiento de los derechos ambientales, regulaciones sobre la biodiversidad y recursos naturales.

En los 90s se fortaleció significativamente la política ambiental nacional con la creación de la Comisión Asesora Ambiental de la Presidencia de la República (1993) y del Ministerio de Ambiente (1996), además de la promulgación de la Constitución Política de la República del Ecuador (1998) en la que se dedica una sección completa al Medio Ambiente y se establece los preceptos para la protección del patrimonio natural, el control de la contaminación, el manejo sustentable de los recursos naturales, la preservación del patrimonio cultural y los derechos de las comunidades ancestrales y los derechos de la sociedad para participar en las decisiones que pudieran afectar el medio ambiente y la posterior creación de la Ley de Gestión Ambiental (1999).

Adicionalmente en el año 2000, se establece en la Ley Reformatoria al Código Penal, las penas de prisión aplicables a los delitos contra el Patrimonio Cultural y a los delitos contra el Medio Ambiente.

A todas estas acciones se suma la creación de reglamentos ambientales sectoriales, hidrocarburífero (1995), minero (1997), así como las políticas locales de las principales ciudades del Ecuador, Quito, Guayaquil y Cuenca, mediante la promulgación de ordenanzas ambientales especiales.

## 2.7.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, (Asamblea Constituyente, 2013)

### **“Capítulo segundo - Derechos del buen vivir Sección segunda - Ambiente sano**

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumakkawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

**Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.”

## 2.7.2 LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL

“Establece que la Autoridad Ambiental Nacional la ejerce el Ministerio del Ambiente, instancia rectora, coordinadora y reguladora del sistema nacional descentralizado de Gestión Ambiental; sin perjuicio de las atribuciones que en el ámbito de sus competencias y acorde a las Leyes que las regulan, ejerzan otras instituciones del Estado.

Según la Nueva **Constitución de la República del Ecuador** indica:

### **Capítulo segundo - Biodiversidad y recursos naturales Sección primera - Naturaleza y ambiente**

**Art 395.-** La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales y jurídicas en el territorio nacional.

3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución, y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.”

### 2.7.3 LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

#### “Capítulo V

#### DE LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Art. 11.- Queda prohibido expeler hacia la atmósfera o descargar en ella, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que, a juicio del Ministerio de Salud, puedan perjudicar la salud y vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares o constituir una molestia.

Art. 12.- Para los efectos de esta Ley, serán considerados como fuentes potenciales de contaminación del aire:

a) las artificiales, originadas por el desarrollo tecnológico y la acción del hombre, tales como fábricas, calderas, generadores de vapor, talleres, plantas termoeléctricas, refinerías de petróleo, plantas químicas, aeronaves, automotores y similares, la incineración, quema a cielo abierto de basuras y residuos, la explotación de materiales de construcción y otras actividades que produzcan o puedan producir contaminación; y,

b) las naturales, ocasionadas por fenómenos naturales, tales como erupciones, precipitaciones, sismos, sequías, deslizamientos de tierra y otros.

Art. 13.- Se sujetarán al estudio y control de los organismos determinados en esta Ley y sus reglamentos las emanaciones provenientes de fuentes artificiales, móviles o fijas, que produzcan contaminación atmosférica.”

## 2.7.4 TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE

### Libro VI

#### “4.1 Norma de calidad de aire ambiente

##### 4.1.1 De los contaminantes del aire ambiente

4.1.1.1 Para efectos de esta norma se establecen como contaminantes criterio del aire ambiente a los siguientes:

- Partículas Sedimentables.
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 (diez) micrones. Se abrevia  $PM_{10}$ .
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 (dos enteros cinco décimos) micrones. Se abrevia  $PM_{2,5}$ .
- Dióxido de Nitrógeno  $NO_2$ .
- Dióxido de Azufre  $SO_2$ .
- Monóxido de Carbono  $CO$ .
- Ozono  $O_3$ .

4.1.1.2 Para efectos de esta norma se establecen como contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o carcinogénicos a los siguientes:

- Benceno ( $C_6H_6$ )
- Cadmio (Cd)
- Mercurio inorgánico (vapores) (Hg)

4.1.1.3 La Autoridad Ambiental Nacional en coordinación con las Autoridades Ambientales de Aplicación Responsable acreditadas al Sistema Único de Manejo Ambiental, desarrollará e implementará a nivel nacional los programas de monitoreo para el cumplimiento de la presente norma.

4.1.1.4 La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental verificará, mediante sus respectivos programas de monitoreo, que las concentraciones a nivel del suelo en el aire ambiente de los contaminantes criterio no excedan los valores estipulados en esta norma. Dicha Entidad queda facultada para establecer las acciones necesarias para, de ser el caso de que se excedan las concentraciones de contaminantes criterio y no convencionales del aire, hacer cumplir con la presente norma de calidad del aire. Caso contrario, las acciones estarán dirigidas a prevenir el deterioro a futuro de la calidad del aire.

4.1.1.5 La responsabilidad del monitoreo de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente recaerá en la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental. Los equipos, métodos y procedimientos a utilizarse, tendrán

como referencia a aquellos descritos en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (Code of Federal Regulations, Anexos 40 CFR 50), por las Directivas de la Comunidad Europea y Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

4.1.1.6 La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental y los gestores acreditados para prestar sus servicios deberán demostrar, ante la Autoridad Ambiental Nacional, que sus equipos, métodos y procedimientos cumplan con los requerimientos descritos en esta norma. De existir otros tipos de métodos, equipos y procedimientos, se deberá justificar técnicamente para establecer la validez en uso oficial de los resultados.

4.1.1.7 La información que se recabe, como resultado de los programas públicos de medición de concentración de contaminantes del aire, serán de carácter público.

4.1.1.8 La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental establecerá sus procedimientos internos de control de calidad y aseguramiento de calidad del sistema de monitoreo de calidad del aire ambiente en la jurisdicción bajo su autoridad. Así mismo, la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental deberá definir la frecuencia y el alcance de los trabajos, tanto de auditoría interna como externa, para su respectivo sistema de monitoreo de calidad del aire ambiente.

4.1.1.9 La Autoridad Ambiental Nacional promoverá el desarrollo y establecimiento de un sistema nacional de acreditación para redes de monitoreo de aire ambiente en coordinación con el Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE).

#### **4.1.2 Normas generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente.**

4.1.2.1 Para los contaminantes criterio del aire, definidos en 4.1.1.1, se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas. La Autoridad Ambiental Nacional establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad de aire ambiente. La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental utilizará los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial.

La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental podrá establecer normas de calidad de aire ambiente de mayor exigencia que los valores descritos en esta norma nacional, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe dicha Autoridad indicaren esta necesidad.

**Partículas sedimentables.-** La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ( $1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$ ).

**Material particulado menor a 10 micrones (PM<sub>10</sub>).**- El promedio aritmético de la concentración de PM<sub>10</sub> de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ( $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ).

El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ( $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ).

Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM<sub>10</sub> cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a ( $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ).

**Material particulado menor a 2.5 micrones (PM<sub>2.5</sub>).**- El promedio aritmético de la concentración de PM<sub>2.5</sub> de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico ( $15 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ).

El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ( $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ).

Se considera sobrepasada la norma de calidad para material particulado PM<sub>2.5</sub> cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a ( $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ).

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**- La concentración de SO<sub>2</sub> en 24 horas no deberá exceder ciento veinticinco microgramos por metro cúbico ( $125 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ), la concentración de este contaminante para un período de diez minutos, no debe ser mayor a quinientos microgramos por metro cúbico ( $500 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ).

**Monóxido de carbono (CO).**- La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico ( $10\,000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) no más de una vez al año. La concentración máxima en (1) una hora de monóxido de carbono no deberá exceder treinta mil microgramos por metro cúbico ( $30\,000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) no más de una vez al año.

**Ozono.**- La máxima concentración de ozono, obtenida mediante muestra continua en un periodo de (8) ocho horas, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ( $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) más de una vez en un año.

**Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).**- El promedio aritmético de la concentración de dióxido de nitrógeno, determinado en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cuarenta microgramos por metro cúbico ( $40 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ).

La concentración máxima en (1) una hora no deberá exceder doscientos microgramos por metro cúbico ( $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ).

4.1.2.2 Los valores de concentración de contaminantes criterio del aire, establecidos en esta norma, así como los que sean determinados en los

programas públicos de medición, están sujetos a las condiciones de referencia de 25°C y 760 mm Hg.

4.1.2.3 Las mediciones observadas de concentraciones de contaminantes criterio del aire deberán corregirse de acuerdo a las condiciones de la localidad en que se efectúen dichas mediciones, para lo cual se utilizará la ecuación 2:

$$C_c = C_o * \{760 \text{ mmHg} / P_{bl} \text{ mm Hg}\} * \{(273 + t^{\circ}\text{C})^{\circ}\text{K} / 298^{\circ}\text{K}\} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

C<sub>c</sub>: concentración corregida

C<sub>o</sub>: concentración observada

P<sub>bl</sub>: presión atmosférica local, en milímetros de mercurio.

t°C: temperatura local, en grados centígrados.”

(Ministerio del Ambiente, Reforma a la Norma de Calidad del Aire Ambiente, Acuerdo 050, 2011, p. 6, 7, 8)

## CAPÍTULO III

### 3 PARTE EXPERIMENTAL

#### 3.1 METODOLOGÍA

La investigación realizada en esta tesis fue de tipo experimental-longitudinal, ya que se manipuló las variables independientes de: número de octano y contenido de azufre en la gasolina, así como contenido de azufre en el diesel, ejerciendo el máximo control para comprobar los efectos de esta intervención específica en las emisiones gaseosas y rendimiento vehicular en un tiempo prolongado, obteniendo datos durante el transcurso del evento bajo estudio.

### 3.2 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

El incremento en el octanaje de las gasolinas que se consumen en Quito, disminuye las emisiones de contaminantes primarios provenientes del tráfico vehicular.

La disminución del contenido de azufre del diesel automotriz de 3500 ppm a 100 ppm, da como resultado un significativo porcentaje de reducción en las emisiones de contaminantes primarios provenientes del tráfico vehicular.

### 3.3 ÁREA DE INFLUENCIA

El estudio se realizó en la ciudad de Quito, sin embargo, los resultados serán aplicables a nivel nacional, siendo las zonas de mayor tráfico vehicular, donde se evidenciará la mayor reducción de emisiones.

Del Reporte de Cumplimiento de la Demanda Nacional, emitido por la Gerencia de Comercialización de la EP Petroecuador, se obtienen los datos de despacho de combustibles a nivel nacional, con los cuales se calcula los porcentajes detallados a continuación (Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012):

- Las provincias en las que se evidencia un mayor despacho de Diesel 2 son: Orellana con el 39% del despacho total nacional, Guayas con el 30% y Santa Elena con el 8%.

- Las provincias en las que se evidencia un mayor despacho de Diesel Premium son: Guayas con el 19% del despacho total nacional, Pichincha con el 18% y el Oro con el 7%.

- Las provincias en las que se evidencia un mayor despacho de Gasolina Extra son: Guayas con el 23% del despacho total nacional, Pichincha con el 21%, Manabí con el 7% y Azuay con el 7%.

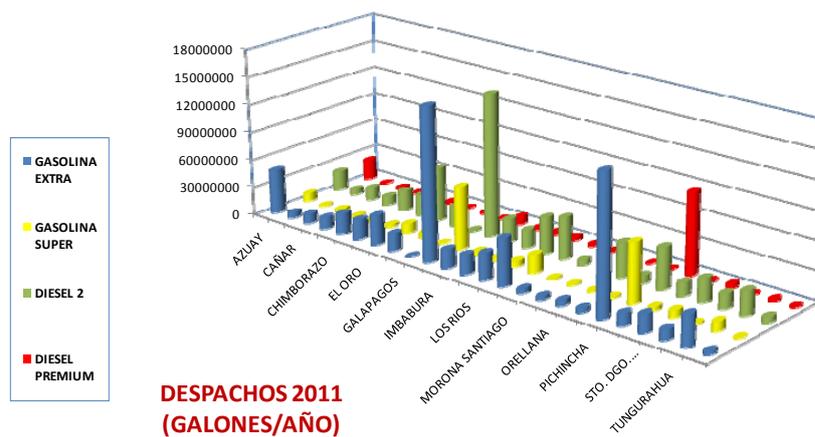
- Las provincias en las que se evidencia un mayor despacho de Gasolina Super son: Guayas con el 31% del despacho total nacional, Pichincha con el 28% y Manabí con el 9%.

La tabla 6 y figura 8 muestran el despacho anual de combustibles y el porcentaje de despacho por provincia durante el año 2011.

**Tabla 6.** Despacho Anual de Combustibles por Provincia 2011.  
(Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012)

PROVINCIA	AÑO 2011							
	PRODUCTO							
	GASOLINA EXTRA		GASOLINA SUPER		DIESEL 2		DIESEL PREMIUM	
	Galones	%	Galones	%	Galones	%	Galones	%
AZUAY	47292466	7	8515306	4	20810260	3	21863606	15
BOLIVAR	6034854	1	763090	0	6069355	1	369128	0
CAÑAR	9988947	1	2389768	1	13495298	2	979865	1
CARCHI	12413640	2	665910	0	9348000	1	581050	0
CHIMBORAZO	22116193	3	3829658	2	21073958	3	938000	1
COTOPAXI	21594741	3	2800120	1	22062213	3	1870402	1
EL ORO	32044386	5	9601827	4	56916533	9	401451	0
ESMERALDAS	18886759	3	5956658	3	21396650	3	984562	1
GALAPAGOS	648546	0	0	0	864108	0	158204	0
GUAYAS	162633155	23	66768188	30	152568364	24	8341661	6
IMBABURA	20013440	3	4255260	2	24775076	4	2001600	1
LOJA	20804574	3	3542843	2	19096987	3	3503254	2
LOS RIOS	28723151	4	5801366	3	38662324	6	3862843	3
MANABI	50118293	7	19315805	9	44485994	7	1801042	1
MORONA SANTIAGO	4615089	1	911777	0	5439942	1	739721	1
NAPO	3743500	1	849500	0	8269446	1	583000	0

ORELLANA	6226058	1	641000	0	36202109	6	0	0
PASTAZA	4244000	1	987244	0	8199527	1	309000	0
PICHINCHA	146230941	21	62809788	28	43799216	7	86717485	60
SANTA ELENA	12920335	2	3412090	2	14233157	2	1089508	1
STO. DGO. TSACHILAS	19045250	3	7131659	3	24945056	4	4034088	3
SUCUMBIOS	10531865	2	872000	0	15879322	2	30000	0
TUNGURAHUA	32225000	5	9780068	4	25405000	4	1822121	1
ZAMORA CHINCHIPE	3260594	0	406581	0	5490268	1	848062	1
<b>Total General</b>	<b>696355777</b>	<b>100</b>	<b>222007506</b>	<b>100</b>	<b>639488163</b>	<b>100</b>	<b>143829653</b>	<b>100</b>

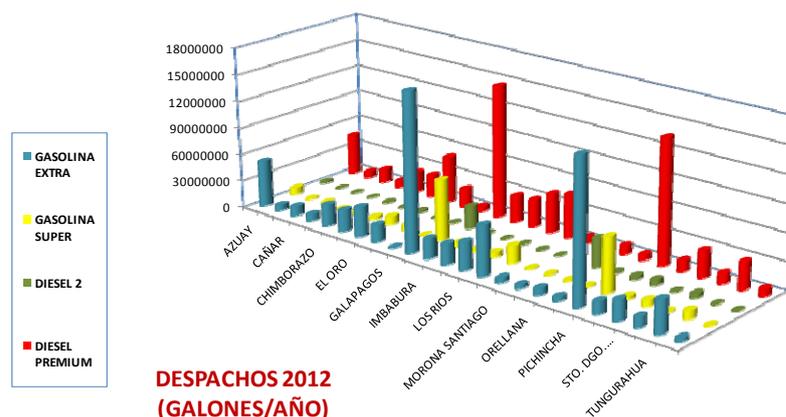


**Figura 8.** Despacho Anual de Combustibles por Provincia 2011.  
(Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012)

La tabla 7 y figura 9 muestran el despacho anual de combustibles y el porcentaje de despacho por provincia durante el año 2012.

**Tabla 7.** Despacho Anual de Combustibles por Provincia 2012.  
(Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012)

AÑO 2012								
PROVINCIA	PRODUCTO							
	GASOLINA EXTRA		GASOLINA SUPER		DIESEL 2		DIESEL PREMIUM	
	Galones	%	Galones	%	Galones	%	Galones	%
AZUAY	51035358	7	7672253	4	2013392	2	45247736	6
BOLIVAR	6568539	1	695140	0	6929	0	6881124	1
CAÑAR	10725274	1	2220066	1	258889	0	14868817	2
CARCHI	7549950	1	292000	0	21000	0	7024000	1
CHIMBORAZO	24067237	3	3615507	2	666918	1	22915177	3
COTOPAXI	23679110	3	2665020	1	156500	0	25066016	3
EL ORO	33260117	4	9051134	4	2048683	3	51564019	7
ESMERALDAS	19278961	3	5464900	3	224445	0	20265468	3
GALAPAGOS	487754	0	0	0	335192	0	5987289	1
GUAYAS	174720311	23	67004888	31	25043478	31	147298014	19
IMBABURA	22200850	3	3881700	2	205039	0	29222750	4
LOJA	22556032	3	3085796	1	3000	0	30540840	4
LOS RIOS	30886384	4	5572394	3	379112	0	42982276	6
MANABI	55088417	7	18880858	9	647581	1	48329663	6
MORONA SANTIAGO	5375648	1	849954	0	25929	0	6799218	1
NAPO	3964500	1	809500	0	1601163	2	8634500	1
ORELLANA	6986660	1	792000	0	31408035	39	9434340	1
PASTAZA	4832500	1	989500	0	1493340	2	6026000	1
PICHINCHA	155885693	21	59524044	28	3418653	4	137025116	18
SANTA ELENA	13466627	2	3526387	2	6061459	8	12249191	2
STO. DGO. TSACHILAS	21931132	3	6245855	3	0	0	29438337	4
SUCUMBIOS	11235434	2	852000	0	4746585	6	10923170	1
TUNGURAHUA	35755500	5	9084500	4	0	0	29636500	4
ZAMORA CHINCHIPE	3577540	0	366080	0	4000	0	7648591	1
<b>Total General</b>	<b>745115528</b>	<b>100</b>	<b>213141476</b>	<b>100</b>	<b>80769322</b>	<b>100</b>	<b>756008152</b>	<b>100</b>



**Figura 9.** Despacho Anual de Combustibles por Provincia 2012.  
(Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012)

Realizando una comparación de los despachos del año 2011 y 2012, se destaca el cambio radical en el porcentaje de despacho de Diesel 2 en la provincia de Orellana, sin embargo, el volumen de despacho a esta provincia del año 2011 al 2012 disminuye y, el porcentaje aumenta del 6 al 38%, esto se debe a que la demanda de Diesel en esta provincia corresponde en su mayoría a Diesel petrolero, esto es, un tipo de diesel que se sigue comercializando como Diesel 2 y no cambió a Diesel Premium como ocurrió para gran parte del sector automotriz del país.

### 3.4 INFORMACIÓN REQUERIDA

#### 3.4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS REFINERÍAS DEL ECUADOR

La figura 10 presenta la ubicación geográfica de los tres centros de refinación del país (Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011).



**Figura 10.** Ubicación de las refinéras en el Ecuador.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

### Refinería Esmeraldas

(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

Situada en la provincia de Esmeraldas, en el sector Noroccidental del país, a 300 m del Río Teaone, a 3 km del Río Esmeraldas, a 3.8 km del Océano Pacífico y a 7 km de la ciudad de Esmeraldas en dirección suroeste, junto a la vía que conduce al cantón Atacames, figura 11.

Coordenadas geográficas: 0°56'02.25" N 79°41'30.51" O



**Figura 11.** Fotografía Refinería Esmeraldas.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

Esta refinería fue diseñada y construida entre 1975 y 1977, para procesar 55 000 barriles por día (BDP). Su primera ampliación, a 90 000 BDP se produjo en 1987. En 1999 concluyó su ampliación a 110 000 BDP, realizada por compañía Técnicas Reunidas, adaptándose para procesar crudos más pesados de entre 23°API – 27.2°API y de menor calidad e incorporando nuevas unidades para mejorar la calidad de los combustibles y minimizar el impacto ambiental.

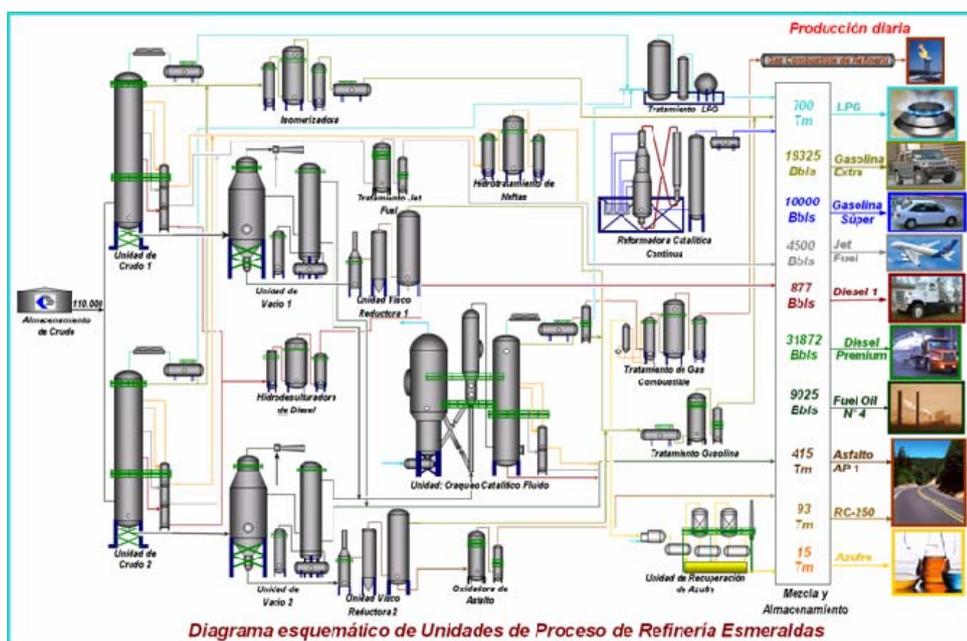
En la tabla 8 podemos encontrar una descripción de las unidades de proceso de Refinería Esmeraldas, sus capacidades, carga y productos obtenidos.

**Tabla 8.** Descripción de las Unidades de proceso de Refinería Esmeraldas.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD (barriles/día)	CARGA	PRODUCTOS
CRUDO 1	Destilación atmosférica	55000	Crudo Oriente	Gas combustible, LPG semielaborado, nafta liviana, nafta pesada, jet fuel semielaborado, diesel semielaborado, crudo reducido.
CRUDO 2		55000		
VACÍO 1	Destilación al vacío	29400	Crudo Reducido	Gasóleos, asfaltos, fondos de vacío.
VACÍO 2		15900		
SEVIA 1	Viscorreductoras	15750	Fondos de vacío	Gas combustible, nafta de sevia, residuos.
SEVIA 2		15750		
FCC	Craqueo Catalítico Fluido	18000	Gasóleo Nafta de Sevia Crudo Peninsular	Gas combustible, LPG semielaborado, nafta de FCC, aceites cíclicos, aceite clarificado.
NHT	Tratamiento de nafta liviana	3600	Nafta liviana	Gas combustible, nafta hidrotratada liviana.
ISOMERIZADORA	Isomerización	2882	Nafta hidrotratada liviana	Nafta isomerizada.
HDT	Tratamiento de nafta pesada	13000	Nafta pesada	Gas Combustible, nafta hidrotratada pesada.
CCR	Reformado Catalítico Continuo	10000	Nafta hidrotratada pesada	Gas combustible, LPG semielaborado, nafta reformada.
HDS	Hidrodesulfuradora de diesel	24500	Diesel semielaborado	Gas combustible, diesel premium.
MEROX JET FUEL	Oxidación de Mercaptanos del Jet Fuel	15000	Jet Fuel Semielaborado	Jet Fuel
MEROX GASOLINA	Oxidación de Mercaptanos de Naftas	11000	Nafta de FCC	Nafta Tratada
MEROX LPG (N)	Oxidación de Mercaptanos del LPG	3314	LPG semielaborado	LPG
MEROX LPG (V)		2210		
UNIDAD S (toneladas/día)	Producción de azufre	13.2	Sulfuro de hidrógeno	Azufre
UNIDAD S1 (toneladas/día)		50		
MEZCLA DE GASOLINAS	Tanques de mezcla	n/a	Naftas: Liviana, Pesada, Tratada, Isomerizada, Reformada, Importada	Gasolina Super, Gasolina Extra

## Productos de la Refinería Esmeraldas:

Produce gas licuado de petróleo, gasolinas, diesel, jet fuel, fuel oil No. 4, fuel oil No. 6, fuel oil de exportación, asfaltos AC-20 y RC-250, además de butano, propano y azufre sólido.



**Figura 12.** Esquema de procesos de Refinería Esmeraldas. (Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

En la figura 12, podemos observar la producción promedio de Refinería Esmeraldas, volúmenes que pueden ir variando dependiendo del requerimiento de la demanda y las condiciones de operación de las diferentes plantas para cubrir los requerimientos.

## **Refinería La Libertad**

(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

Este complejo industrial está ubicado en la península de Santa Elena, provincia del mismo nombre, en la Calle 27 E Cdla. Las Acacias, figura 13.

Coordenadas geográficas: 2°13'32.24" S 80°53'56.16" O



**Figura 13.** Fotografía Refinería La Libertad.

(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

En 1929 se decidió la construcción de la primera refinería nacional, se ubicaría en la Península de Santa Elena; para 1940 por iniciativa de la compañía Anglo Ecuatorian Oil Fields inició la construcción de la primera refinería para producir, en suelo ecuatoriano, los combustibles que el mercado interno necesitaba y dejar de importar los derivados, especialmente desde Perú, y se instaló dos plantas inicialmente con una producción de 7000 barriles diarios. En el año de 1967 la compañía Anglo declara que los yacimientos de la península de Santa Elena están casi agotados, por lo tanto su operación no es rentable y que desde esa fecha se dedicará a la refinación.

Con el crecimiento de la población en el país, la demanda aumentó, razón por la cual en 1968 se incorporó a la refinería la planta Parsons con capacidad de 26 000 barriles diarios.

En noviembre de 1989 se revirtió al Estado Ecuatoriano la infraestructura de la Refinería Anglo Ecuatorian Oil Fields Ltda. y en agosto de 1990, las instalaciones de la refinería Repetrol (ex Gulf), al concluir los contratos de operación de estas compañías.

Las plantas instaladas se integraron bajo una misma estructura administrativa y operativa que se denominó Refinería La Libertad, cuya capacidad de procesamiento es de 45 000 barriles diarios.

Actualmente, esta refinería está equipada con tres unidades de destilación primaria:

- Planta Parsons con capacidad de 26 000 BPD
- Planta Universal con capacidad de 9500 BPD
- Planta Cautivo con capacidad de 9500 BPD

En la tabla 9 podemos encontrar una descripción detallada de las unidades de proceso de Refinería La Libertad, sus capacidades, carga y productos obtenidos.

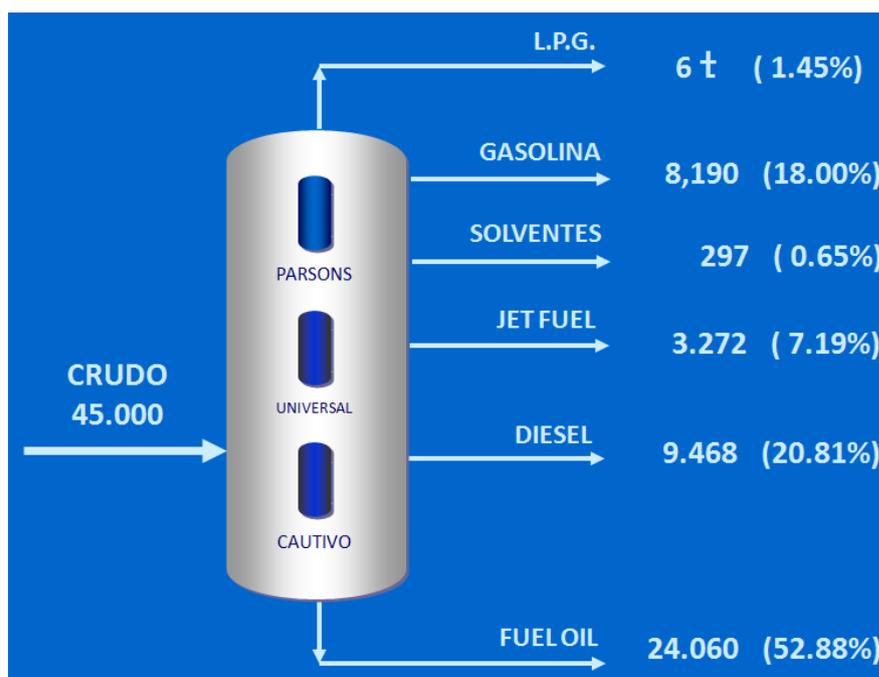
**Tabla 9.** Descripción Unidades de Procesos de Refinería La Libertad.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD (barriles/día)	CARGA	PRODUCTOS
CAUTIVO	Destilación atmosférica	9500	Crudo Peninsular, Crudo Oriente, Crudo Canada Grande	Rubber Solvent, Mineral Turpentine, Gasolina Base, Diesel 2, Fuel Oil.
PARSONS	Destilación atmosférica	26000	Crudo Peninsular, Crudo Oriente	Gasolina Base, Jet Fuel, Diesel 1, Spray Oil, Absorber Oil, Diesel 2, Fuel Oil.
UNIVERSAL	Destilación atmosférica	9500	Crudo Peninsular, Crudo Oriente	Gasolina Base, Jet Fuel, Diesel 1, Diesel 2, Fuel Oil.
ESTABILIZADORA		15900	Gasolina Base, Gasolina Natural	Gasolina Estabilizada
MEZCLA DE GASOLINAS	Tanques de mezcla	n/a	Naftas: Liviana, Pesada, Tratada, Isomerizada, Reformada, Importada	Gasolina Super, Gasolina Extra

Productos de la Refinería La Libertad:

Produce gas licuado de petróleo, gasolina base, diesel 2, diesel 1, turbo fuel base, rubber solvent (solvente de caucho), mineral turpentine (solvente de pinturas), spray oil, absorber oil, y fuel oil 4.

En la figura 14 podemos observar la producción promedio día de Refinería La Libertad, así como los rendimientos de los diferentes cortes de las torres de destilación, volúmenes que pueden ir variando dependiendo del requerimiento de la demanda y las condiciones a las que se opere las diferentes plantas para cubrir los requerimientos.



**Figura 14.** Diagrama Unidades de Destilación de Refinería La Libertad.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

### Refinería Shushufindi

(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

Situada en el cantón Shushufindi, en la provincia de Sucumbios en la región oriental del país, figura 15.

Coordenadas geográficas: 0°12'04.39" S 76°39'22.27" W



**Figura 15.** Fotografía de Refinería Shushufindi.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

Este centro industrial está conformado por dos torres de destilación atmosférica denominadas Refinería Amazonas 1 y 2, y la Planta de Gas.

- **Refinerías Amazonas**

La Refinería Shushufindi cuenta con dos unidades de destilación atmosférica de 10.000 BPD de capacidad cada una, la Refinería Amazonas 1 inició su operación en 1987 y la Refinería Amazonas 2 en 1995.

- **Planta de Gas**

La Planta de Gas inició sus operaciones en 1981, fue instalada para procesar el gas asociado que se quemaba en las teas de los campos de producción de petróleo del Campo Shushufindi - Aguarico, Limoncocha y Libertador de Petroproducción.

Su máxima carga es de 25 millones de pies cúbicos estándar de gas asociado, tiene capacidad para producir hasta 500 toneladas/día de GLP y 2.800 BPD de gasolina.

En la tabla 10 podemos encontrar una descripción detallada de las unidades de proceso de Refinería Shushufindi, sus capacidades, carga y productos obtenidos.

**Tabla 10.** Descripción Unidades de Proceso de Refinería Shushufindi.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD (barriles/día)	CARGA	PRODUCTOS
AMAZONAS 1	Destilación atmosférica	10000	Crudo Oriente	Gas combustible, LPG, Gasolina Base, Jet Fuel, Diesel 1, Diesel 2, Crudo Reducido
AMAZONAS 2	Destilación atmosférica	10000	Crudo Oriente	Gas combustible, LPG, Gasolina Base, Jet Fuel, Diesel 1, Diesel 2, Crudo Reducido
PLANTA DE GAS (MMPCD) GAS (GPM) LICUABLES	Procesamiento de gas asociado y licuables	25	Gas Natural	Propano, Gas Combustible, LPG, Gasolina Natural
		150	Licuables	
MEZCLA DE GASOLINAS	Tanques de mezcla	n/a	Gasolinas Base, Natural, Importada	Gasolina Super, Gasolina Extra

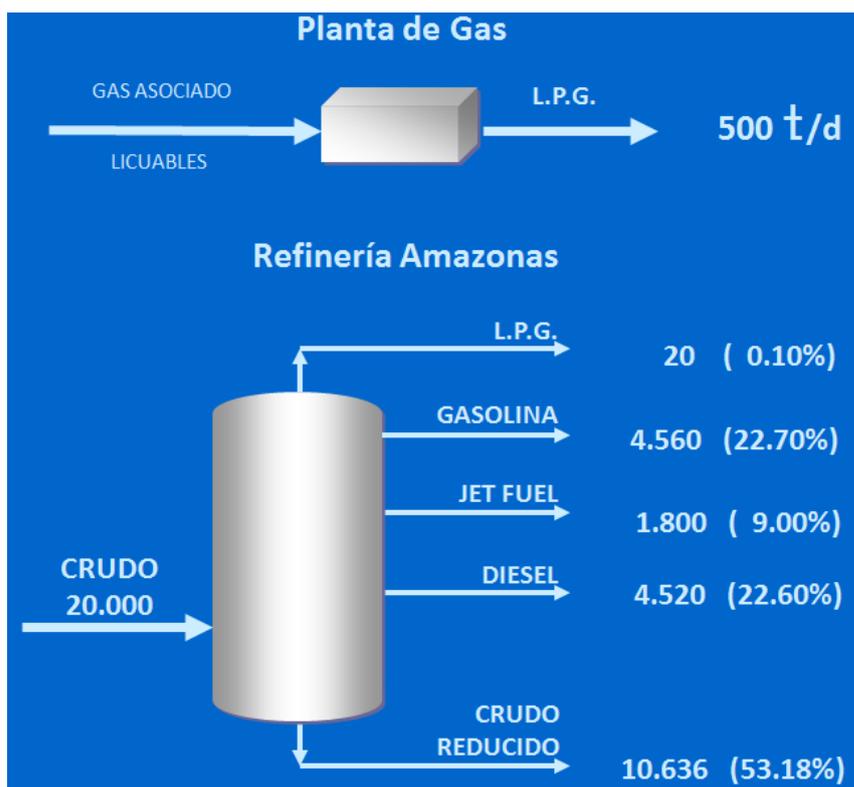
Productos de la Refinería Amazonas:

Produce gasolina extra, diesel 1, jet fuel, diesel 2 y residuo.

Productos de la Planta de Gas:

Produce gasolina natural, gas licuado de petróleo.

En la figura 16 podemos observar la producción promedio día de Refinería Shushufindi, así como los rendimientos de los diferentes cortes de las torres de destilación y Planta de Gas, volúmenes que pueden ir variando dependiendo del requerimiento de la demanda y las condiciones a las que se opere las diferentes plantas para cubrir los requerimientos.



**Figura 16.** Unidades de Destilación y Planta de Gas de Refinería Shushufindi.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

### 3.4.2 OFERTA DE DERIVADOS DE REFINERÍAS DEL ECUADOR

La oferta de derivados de las tres refinerías no incluye el volumen producido de combustibles que se usan para consumo interno de las diferentes unidades de refinería (Planificación de EP Petroecuador, 2011 - 2012).

Las tablas 11 y 12 muestran la producción propia de derivados de la Refinería Esmeraldas para los años 2011 y 2012 (Planificación de EP Petroecuador, 2011 - 2012).

**Tabla 11. Producción de derivados de Refinería Esmeraldas año 2011.**

 <b>PRODUCCIÓN DE DERIVADOS - REFINERÍA ESMERALDAS (a)</b> <b>Año 2011</b> Cifras en barriles														
Mes	GASOLINAS		NAFTA EXCEDENTE (c)	DIESEL 2	DIESEL PREMIUM (e)	FUEL OIL # 4	FUEL OIL PESADO # 6	FUEL OIL # 6 DE EXPORTACIÓN (d)	JET A-1	GLP	ASFALTOS (AC20- RC250)	NAFTA PESCA ARTESANAL	TOTAL (Excl. Azufre)	AZUFRE KILOS
	SÚPER PROPIA + NAO A SUPER (b)	EXTRA												
ENERO	83.029	627.722	28.475	613.278	237.760	185.036	140.429	899.074	153.961	127.442	166.216	30.626	<b>3.293.049</b>	250.070
FEBRERO	291.380	438.147	103.209	487.211	152.596	232.586	149.957	924.133	151.601	131.255	141.149	31.424	<b>3.234.649</b>	161.340
MARZO	403.543	432.964	108.116	505.833	306.852	0	310.920	922.717	175.571	137.361	155.044	26.796	<b>3.485.716</b>	357.090
ABRIL	375.353	366.283	142.289	606.823	0	307.728	190.847	905.797	121.029	157.719	121.261	31.166	<b>3.326.293</b>	121.170
MAYO	571.013	429.688	117.184	788.164	0	374.697	257.425	824.365	127.704	160.459	154.185	26.795	<b>3.831.679</b>	432.940
JUNIO	426.761	732.198	11.167	751.596	0	136.676	508.076	678.601	126.405	106.365	183.073	30.287	<b>3.691.206</b>	198.870
JULIO	419.985	664.440	0	782.428	0	0	77.695	1.289.876	128.526	165.028	183.669	33.501	<b>3.745.148</b>	420.210
AGOSTO	462.040	484.311	190.000	663.477	0	205.322	136.844	1.037.468	182.538	168.293	209.289	25.988	<b>3.765.570</b>	443.070
SEPTIEMBRE	430.132	485.780	307.408	648.051	51.220	0	601.105	840.845	193.086	162.049	224.047	35.428	<b>3.979.151</b>	334.290
OCTUBRE	483.679	603.339	79.393	682.025	109.792	130.378	127.495	986.213	142.879	161.754	219.483	25.921	<b>3.752.351</b>	465.530
NOVIEMBRE	386.169	778.526	0	308.683	374.512	291.947	116.510	558.707	152.276	130.805	252.549	23.116	<b>3.373.800</b>	344.360
DICIEMBRE	273.743	604.792	0	186.563	372.977	0	360.082	703.266	154.994	32.663	238.796	35.269	<b>2.963.144</b>	137.530
<b>TOTAL</b>	<b>4.606.827</b>	<b>6.648.189</b>	<b>1.087.240</b>	<b>7.024.132</b>	<b>1.605.710</b>	<b>1.864.370</b>	<b>2.977.384</b>	<b>10.571.062</b>	<b>1.810.571</b>	<b>1.641.191</b>	<b>2.248.762</b>	<b>356.318</b>	<b>42.441.756</b>	<b>3.666.470</b>
Ene - Dic /2010	2.268.637	4.074.000	871.252	4.041.628	2.861.996	1.102.209	1.899.634	9.443.398	1.876.683	1.159.565	2.136.248	300.024	32.035.274	2.746.460
Var.% 11/10	103,1	63,2	24,8	73,8	-43,9		56,7	11,9	-3,5	41,5	5,3	18,8	32,5	33,5
<b>Notas:</b> a) No se consideran consumos internos b) A partir del año 2010 se registra el volumen de gasolina super producida más nafta de alto octano importada utilizada como gasolina super c) Consta el remanente de la producción de nafta, que en el período ene-abr se destinó al sector eléctrico y a partir de mayo para mezcla de gasolina extra. d) Incluye un volumen de 2'330.400 bis Cutter Stock importado empleado como diluyente y 8'240.662 bis de Residuo para la mezcla de Fuel Oil # 6 e) No incluye importación de este derivado														
<b>Fuente:</b> Reportes Gerencia de Refinación, EP PETROECUADOR <b>Elaboración:</b> Coordinación General de Planificación Estratégica y Control de Programas, EP PETROECUADOR														

**Tabla 12. Producción de derivados de Refinería Esmeraldas año 2012.**

 <b>PRODUCCIÓN DE DERIVADOS - REFINERÍA ESMERALDAS (a)</b> <b>Año 2012</b> Cifras en barriles															
Mes	GASOLINAS			NAFTA EXCEDENTE	DIESEL 2	DIESEL PREMIUM (e)	FUEL OIL #4 (c)	FUEL OIL PESADO #6 (TERMO-ESMERALDAS)	FUEL OIL #6 DE EXPORTACIÓN (d)	JET A-1	GLP	ASFALTOS (AP3, RC250)	NAFTA BASE PARA PESCA ARTESANAL	TOTAL (Excl. Azufre)	AZUFRE KILOS
	SÚPER PROPIA + NAO A SÚPER (b)	EXTRA	TOTAL												
ENERO	479 727	577 826	1 057 553	0	3 424	578 308	0	341 027	748 911	148 248	154 671	124 768	25 588	3 182 499	396 170
FEBRERO	345 290	417 878	763 168	0	61 445	530 649	285	260 138	853 489	232 954	153 210	153 713	32 109	3 041 159	392 120
MARZO	642 990	148 653	791 643	205 988	109 636	459 120	1 859	313 845	804 794	166 154	151 892	147 683	40 184	3 192 799	254 860
ABRIL	675 000	222 543	897 543	112 768	177 985	490 020	0	0	1 210 978	167 342	118 701	156 450	28 765	3 360 553	189 730
MAYO	780 501	187 742	968 243	244 534	98 393	664 017	0	309 200	891 102	130 439	166 266	184 118	29 185	3 685 497	223 980
JUNIO	458 492	167 427	625 919	121 181	100 166	470 723	0	134 242	956 089	149 312	131 568	206 261	33 520	2 928 981	309 640
JULIO	333 299	440 139	773 438	256 867	207 847	293 511	104 767	336 478	524 885	159 197	138 526	191 396	27 833	3 014 745	91 200
AGOSTO	480 361	373 739	854 100	88 625	69 703	641 265	0	288 508	644 049	167 145	129 811	228 874	30 525	3 142 604	208 660
SEPTIEMBRE	618 899	350 884	969 783	170 358	34 630	649 444	0	390 931	558 014	115 399	146 376	283 110	34 320	3 352 365	60 500
OCTUBRE	718 409	353 414	1 071 823	137 080	197 695	411 079	170 195	380 311	462 326	147 872	130 939	267 945	27 598	3 404 864	55 910
NOVIEMBRE	686 193	191 501	877 695	0	64 849	568 880	140 399	429 054	414 237	185 081	151 830	245 866	29 309	3 107 199	243 210
DICIEMBRE	596 461	204 647	801 109	294 312	61 309	669 765	67 081	807 837	169 357	140 244	158 837	209 777	29 270	3 408 897	361 900
<b>TOTAL</b>	<b>6 815 622</b>	<b>3 636 394</b>	<b>10 452 016</b>	<b>1 631 713</b>	<b>1 187 082</b>	<b>6 426 781</b>	<b>484 585</b>	<b>3 991 572</b>	<b>8 238 231</b>	<b>1 909 388</b>	<b>1 732 628</b>	<b>2 399 961</b>	<b>368 207</b>	<b>38 822 163</b>	<b>2 787 880</b>
Ene - Dic /2011	5 455 976	6 648 189	12 104 164	1 087 240	7 024 132	1 605 710	1 864 370	2 977 384	10 571 062	1 810 571	1 641 191	2 248 762	356 318	43 290 904	3 666 470
Var:% 12/11	24.9	-45.3	-13.6	50.1	-83.1	300.2	-74.0	34.1	-22.1	5.5	5.6	6.7	3.3	-10.3	-24.0
<b>Notas:</b> a) No se consideran consumos internos b) A partir del año 2012 REE produce gasolina de 92 octanos, de la cual una parte se despacha como gasolina super y otra parte se envía como materia prima al Terminal Beaterio c) En los meses de enero, abril, mayo y junio existe un negativo de -10366 d) Incluye un volumen de 1737.725 bts Cutter Stock importado empleado como diluyente y 6'501.200 bts de Residuo para la mezcla de Fuel Oil #6, además incluye Fuel oil Base. e) No incluye importación de este derivado  <b>Fuente:</b> Reportes Gerencia de Refinación, EP PETROECUADOR <b>Elaboración:</b> Coordinación General de Planificación Estratégica y Control de Programas, EP PETROECUADOR															

La oferta de derivados de Refinería Esmeraldas incluye las Gasolinas Extra y Super preparadas mediante mezcla de naftas propias y nafta de alto octano importada, el Fuel Oil #6 tanto nacional como de exportación incluye diluyente importado (Cutter Stock), (Planificación de EP Petroecuador, 2011 - 2012). Las tablas 13 y 14 muestran la producción de derivados de la Refinería La Libertad para los años 2011 y 2012 (Planificación de EP Petroecuador, 2011 - 2012).

**Tabla 13.** Producción de derivados de Refinería La Libertad año 2011.

 <b>PRODUCCIÓN DE DERIVADOS - REFINERÍA LA LIBERTAD</b> (a) <b>Año 2011</b> Cifras en barriles											
Mes	GASOLINA EXTRA	DIESEL 1	DIESEL 2	FUEL OIL #4	JET A-1	G L P	SPRAY OIL	SOLVENTES (RUB, MT)	ABSORVER OIL	NAFTA BASE PARA TERMINALES	TOTAL (b)
ENERO	172.230	18.529	208.425	718.575	68.425	1.675	30.679	9.811	0	159.792	<b>1.228.349</b>
FEBRERO	159.536	18.065	179.813	615.093	68.197	1.518	25.360	11.938	271	129.424	<b>1.079.790</b>
MARZO	163.160	18.586	224.747	713.457	75.006	1.860	37.805	10.447	0	178.164	<b>1.245.068</b>
ABRIL	154.326	16.221	223.827	657.015	71.839	2.112	17.302	10.321	0	148.674	<b>1.152.963</b>
MAYO	120.793	10.556	156.120	487.387	51.308	1.508	10.863	10.190	0	99.674	<b>848.724</b>
JUNIO	112.976	21.171	202.852	669.775	66.342	1.688	20.515	10.029	0	185.410	<b>1.105.347</b>
JULIO	110.161	16.762	221.334	737.966	59.327	2.035	20.792	11.757	517	192.734	<b>1.180.652</b>
AGOSTO	150.163	17.445	210.391	675.304	59.488	2.190	14.218	10.248	0	147.367	<b>1.139.446</b>
SEPTIEMBRE	141.452	17.855	204.137	690.270	67.113	1.973	16.952	11.013	0	170.389	<b>1.150.764</b>
OCTUBRE	147.449	19.684	198.501	692.083	77.032	1.318	15.228	10.585	0	152.389	<b>1.161.880</b>
NOVIEMBRE	150.491	13.200	176.952	565.855	29.363	1.523	11.675	10.605	0	114.115	<b>959.663</b>
DICIEMBRE	154.809	17.430	230.398	763.037	57.439	1.858	20.579	10.162	417	183.623	<b>1.256.129</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.737.544</b>	<b>205.503</b>	<b>2.437.497</b>	<b>7.985.816</b>	<b>750.878</b>	<b>21.257</b>	<b>241.967</b>	<b>127.106</b>	<b>1.206</b>	<b>1.861.756</b>	<b>13.508.775</b>
Ene-Dic/2010	1.787.415	203.127	2.339.688	7.804.330	652.639	20.917	229.007	117.677	1.191	1.712.850	<b>13.155.991</b>
Var. % 11/10	-2,8	1,2	4,2	2,3	15,1	1,6	5,7	8,0	1,2	8,7	2,7
<b>Notas:</b> a) Se refiere a producción en planta de derivados terminados y productos intermedios importados para mezcla en refinería. No se consideran consumos internos. b) La producción total de Refinería La Libertad no incluye la producción de 1'861.753 bls de Nafta base que se envía al Terminal Pascuales y Libertad, para mezcla de Gasolina Extra y Gasolina para pesca artesanal. <b>Fuente:</b> Reportes Gerencia de Refinación, EP PETROECUADOR <b>Elaboración:</b> Coordinación General de Planificación Estratégica y Control de Programas, EP PETROECUADOR											

**Tabla 14. Producción de derivados de Refinería La Libertad año 2012.**

 <b>PRODUCCIÓN DE DERIVADOS - REFINERÍA LA LIBERTAD</b> (a) <b>Año 2012</b> Cifras en barriles												
Mes	GASOLINA EXTRA	GASOLINA SUPER	DIESEL 1	DIESEL 2	FUEL OIL #4	JET A-1	G L P	SPRAY OIL	SOLVENTES (RUB, S1, M.T)	ABSORVER OIL	NAFTA BASE A TERMINALES	TOTAL (b)
ENERO	191 989	0	18 867	198 087	709 466	70 016	1 285	32 152	10 209	0	157 595	1 232 070
FEBRERO	135 305	0	18 420	193 707	698 501	75 479	2 337	29 121	20 492	0	179 125	1 173 362
MARZO	128 864	4 749	23 494	201 848	739 486	67 107	1 708	32 344	19 324	115	197 961	1 219 039
ABRIL	140 249	0	18 057	189 538	757 629	75 332	2 037	29 546	12 362	0	193 421	1 224 751
MAYO	171 602	5 185	19 715	156 756	697 702	75 135	1 542	15 751	9 825	0	165 226	1 153 212
JUNIO	147 227	5 598	20 861	195 583	743 628	50 517	2 226	28 355	11 485	0	198 556	1 205 479
JULIO	137 606	5 353	4 154	173 662	663 026	71 504	1 624	19 078	10 865	516	180 930	1 087 387
AGOSTO	146 112	10 837	11 537	226 773	759 263	61 432	1 622	22 940	13 713	0	218 875	1 254 229
SEPTIEMBRE	164 934	5 386	11 079	227 262	729 241	69 063	2 056	11 522	11 568	0	206 411	1 232 111
OCTUBRE	114 007	5 796	19 145	220 623	692 491	49 248	1 400	7 749	12 996	0	199 903	1 123 454
NOVIEMBRE	162 993	9 497	9 499	214 684	687 217	60 735	1 840	13 514	10 356	0	197 469	1 170 334
DICIEMBRE	145 125	5 489	8 921	202 606	685 710	67 407	2 455	19 074	10 193	511	205 256	1 147 490
<b>TOTAL</b>	<b>1 786 009</b>	<b>57 890</b>	<b>183 749</b>	<b>2 401 128</b>	<b>8 563 357</b>	<b>792 975</b>	<b>22 131</b>	<b>261 147</b>	<b>153 388</b>	<b>1 142</b>	<b>2 300 729</b>	<b>14 222 917</b>
Ene - Dic/2011	1 737 544		205 503	2 437 497	7 985 816	750 878	21 257	241 967	127 106	1 206	1 861 756	13 508 775
Var. % 12/11	2.8		-10.6	-1.5	7.2	5.6	4.1	7.9	20.7	-5.3	23.6	5.3

**Notas:**

a) Se refiere a producción en planta de derivados terminados y productos intermedios importados para mezcla en refinería. No se consideran consumos internos

b) La producción total de Refinería La Libertad no incluye la producción de 2'300.729 bis de Nafta base que se envía al Terminal Pascuales y Libertad, para mezcla de Gasolina Extra y Gasolina para pesca artesanal.

**Fuente:** Reportes Gerencia de Refinación, EP PETROECUADOR

**Elaboración:** Coordinación General de Planificación Estratégica y Control de Programas, EP PETROECUADOR

La oferta de derivados de Refinería La Libertad incluye Gasolina Extra preparada mediante mezcla de naftas propias y nafta de alto octano importada, (Planificación de EP Petroecuador, 2011 - 2012).

Las tablas 15 y 16 muestran la producción propia de derivados de la Refinería Shushufindi para los años 2011 y 2012, (Planificación de EP Petroecuador, 2011 - 2012).

**Tabla 15.** Producción de derivados de Refinería Shushufindi año 2011.

 <b>PRODUCCIÓN DE DERIVADOS</b> <b>Año 2011</b> <b>REFINERÍA SHUSHUFINDI (a)</b> Cifras en barriles									
Mes	GASOLINA EXTRA (b)	DIESEL 1	DIESEL 2	JET A-1	G L P	RESIDUO (CRUDO REDUCIDO) (d)	NAFTA BASE A TERMINALE \$	GASOLINA NATURAL A TERMINALE \$	TOTAL (e)
ENERO	29.662	2.006	121.233	10.072	60.852	238.512	71.442	30.780	462.338
FEBRERO	25.890	-	81.189	-	66.154	145.147	36.980	29.032	318.380
MARZO	33.813	-	118.031	5.022	70.357	224.670	60.009	29.150	451.893
ABRIL	29.503	4.647	138.118	16.873	74.385	304.838	95.858	31.644	568.363
MAYO	33.180	4.780	139.159	23.966	76.905	318.195	93.083	31.116	596.185
JUNIO	26.614	1.766	145.662	20.588	71.054	309.042	88.083	30.964	574.726
JULIO	30.103	1.495	156.874	15.238	71.397	324.082	93.574	31.916	599.189
AGOSTO	32.865	-	149.008	25.442	68.105	317.199	93.235	29.809	592.619
SEPTIEMBRE	27.050	1.887	149.620	20.492	75.415	304.296	97.324	32.001	578.760
OCTUBRE	39.553	-	146.245	20.482	73.197	311.783	84.082	32.543	591.261
NOVIEMBRE	22.982	-	146.456	15.292	74.547	301.312	93.531	31.599	560.588
DICIEMBRE	40.280	1.977	149.487	25.427	85.560	315.149	90.038	35.597	617.879
<b>TOTAL</b>	<b>371.494</b>	<b>18.557</b>	<b>1.641.083</b>	<b>198.894</b>	<b>867.929</b>	<b>3.414.225</b>	<b>997.238</b>	<b>376.152</b>	<b>6.512.182</b>
Ene - Dic /10	327.227	37.300	1.580.788	166.950	810.959	3.358.263	1.004.292	402.313	6.281.487
Var. % 11/10	13,5	-50,2	3,8	19,1	7,0	1,7	-0,7	-6,5	3,7

**Notas:**

- Se refiere a producción en planta de derivados terminados, considera transferencias para mezclas. No se consideran consumos internos.
- Incluye 194.140 bls. de Nafta de Alto Octano importado, que se utiliza para preparar este derivado
- Producción de Residuo, que mediante envío a llenaderas se abastece al sector eléctrico e industrial, y la diferencia se reinyecta al SOTE como Crudo Reducido, para exportación.
- No incluye 376.152 Bls. de Gasolina Natural que se mezcla con nafta base producida en Refinería Amazonas, la misma que se destina a la producción de gasolina extra.
- No incluye 997.238 bls de Nafta base que se envía al Terminal de El Beaterio para mezclas

**Fuente:** Reportes Gerencia de Refinación, EP PETROECUADOR

**Elaboración:** Coordinación General de Planificación Estratégica y Control de Programas, EP PETROECUADOR

**Tabla 16.** Producción de derivados de Refinería Shushufindi año 2012.

 <b>PRODUCCIÓN DE DERIVADOS</b> <b>Año 2012</b> <b>COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSHUFINDI (a)</b> Cifras en barriles									
Mes	GASOLINA EXTRA (c)	DIESEL 1	DIESEL 2	JET A-1	G L P	RESIDUO (CRUDO REDUCIDO) (d)	NAFTA BASE A TERMINALES	GASOLINA NATURAL A TERMINALES	TOTAL (e)
ENERO	30 275	24	150 292	20 407	85 058	302 451	94 742	34 493	<b>588 507</b>
FEBRERO	24 549	1 827	152 092	11 912	56 188	288 160	98 243	22 038	<b>534 729</b>
MARZO	35 603	2 823	158 028	22 127	59 633	315 333	103 271	28 431	<b>593 547</b>
ABRIL	26 443	-	171 711	6 420	74 651	292 598	115 477	32 005	<b>571 822</b>
MAYO	36 799	1 785	177 836	-	81 968	297 018	122 327	33 663	<b>595 405</b>
JUNIO	39 431	-	171 460	-	86 920	298 189	99 515	37 026	<b>595 999</b>
JULIO	26 288	-	181 693	-	84 271	310 605	108 720	32 966	<b>602 857</b>
AGOSTO	36 984	2 238	151 000	-	70 020	282 567	89 917	30 242	<b>542 809</b>
SEPTIEMBRE	34 287	-	170 541	-	88 408	298 276	101 885	35 651	<b>591 512</b>
OCTUBRE	34 851	-	175 629	-	76 231	309 298	104 668	33 424	<b>596 009</b>
NOVIEMBRE	32 046	2 012	170 582	-	76 981	302 423	107 921	32 432	<b>584 044</b>
DICIEMBRE	40 196	-	174 852	-	78 863	316 044	108 950	29 785	<b>609 956</b>
<b>TOTAL</b>	<b>397 753</b>	<b>10 709</b>	<b>2 005 715</b>	<b>60 865</b>	<b>919 193</b>	<b>3 612 962</b>	<b>1 255 636</b>	<b>382 158</b>	<b>7 007 197</b>
Ene - Dic /2011	371 494	18 557	1 641 083	198 894	867 929	3 414 225	997 238	376 152	6 512 182
Var. % 12/11	7.1	-42.3	22.2	-69.4	5.9	5.8	25.9	1.6	7.6

**Notas:**

- Se refiere a producción en planta de derivados terminados, considera transferencias para mezclas. No se consideran consumos internos
- Producción que se destina al consumo de PETROPRODUCCIÓN
- Incluye 282.791 bls. de Nafta de Alto Octano importado, que se utiliza para preparar este derivado
- Producción de Residuo, que mediante envío a llenaderas se abastece al sector eléctrico e industrial, y la diferencia se reinyecta al SOTE como Crudo Reducido, para exportación
- No incluye 382.158 Bls. de Gasolina Natural que se mezcla con nafta base producida en Refinería Amazonas, la misma que se destina a la producción de gasolina extra; así mismo no incluye 1'255.636 bls de Nafta base que se envía al Terminal de El Beaterio

**Fuentes:** Reportes Gerencia de Refinación, EP PETROECUADOR  
**Elaboración:** Coordinación General de Planificación Estratégica y Control de Programas, EP PETROECUADOR

La oferta de derivados de Refinería Shushufindi incluye Gasolina Extra preparada mediante mezcla de naftas propias y nafta de alto octano importada, (Planificación de EP Petroecuador, 2011 - 2012).

### 3.4.3 DESPACHO DE COMBUSTIBLES EN EL ECUADOR

#### 3.4.3.1 DESPACHO DE GASOLINA EXTRA Y GASOLINA SUPER

A continuación se detalla el despacho de Gasolina Super, Gasolina Extra y Gasolina Extra con etanol por provincia durante los años 2011 y 2012, y se

contabiliza el despacho total nacional de gasolinas, (Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012).

En las tablas 17 y 18 se detalla el despacho anual de gasolinas por provincia, y se puede observar que las provincias de Pichincha y Guayas lideran el despacho de gasolinas en el país (Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012).

**Tabla 17.** Despacho real de gasolinas por provincia durante el 2011.

AÑO 2011						
PROVINCIA	PRODUCTOS					Total General Galones
	EXTRA CON ETANOL	GASOLINA EXTRA	GASOLINA SUPER			
	Galones	Galones	%	Galones	%	
AZUAY	0	47292466	7	7672253	4	54964719
BOLIVAR	0	6034854	1	695140	0	6729994
CAÑAR	0	9988947	1	2220066	1	12209013
CARCHI	0	12413640	1	292000	0	12705640
CHIMBORAZO	0	22116193	3	3615507	2	25731700
COTOPAXI	0	21594741	3	2665020	1	24259761
EL ORO	0	32044386	4	9051134	4	41095520
ESMERALDAS	0	18886759	3	5464900	3	24351659
GALAPAGOS	0	648546	0	0	0	648546
GUAYAS	33745489	128887666	23	67004888	31	229638043
IMBABURA	0	20013440	3	3881700	2	23895140
LOJA	0	20804574	3	3085796	1	23890370
LOS RIOS	0	28723151	4	5572394	3	34295545
MANABI	0	50118293	7	18880858	9	68999151
MORONA SANTIAGO	0	4615089	1	849954	0	5465043
NAPO	0	3743500	1	809500	0	4553000
ORELLANA	0	6226058	1	792000	0	7018058
PASTAZA	0	4244000	1	989500	0	5233500
PICHINCHA	0	146230941	21	59524044	28	205754985
SANTA ELENA	0	12920335	2	3526387	2	16446722
STO. DGO. TSACHILAS	0	19045250	3	6245855	3	25291105
SUCUMBIOS	0	10531865	2	852000	0	11383865
TUNGURAHUA	0	32225000	5	9084500	4	41309500
ZAMORA CHINCHIPE	0	3260594	0	366080	0	3626674
<b>Total General</b>	<b>33745489</b>	<b>662610288</b>	<b>100</b>	<b>213141476</b>	<b>100</b>	<b>909497253</b>

**Tabla 18.** Despacho real de gasolinas por provincia durante el 2012.

AÑO 2012						
PROVINCIA	PRODUCTOS					Total General Galones
	EXTRA CON ETANOL	GASOLINA EXTRA		GASOLINA SUPER		
	Galones	Galones	%	Galones	%	
AZUAY	0	51035358	7	7672253	4	58707611
BOLIVAR	0	6568539	1	695140	0	7263679
CAÑAR	0	10725274	1	2220066	1	12945340
CARCHI	0	7549950	1	292000	0	7841950
CHIMBORAZO	0	24067237	3	3615507	2	27682744
COTOPAXI	0	23679110	3	2665020	1	26344130
EL ORO	5815	33254302	4	9051134	4	42311251
ESMERALDAS	0	19278961	3	5464900	3	24743861
GALAPAGOS	0	487754	0	0	0	487754
GUAYAS	41325242	133395069	23	67004888	31	241725199
IMBABURA	0	22200850	3	3881700	2	26082550
LOJA	0	22556032	3	3085796	1	25641828
LOS RIOS	0	30886384	4	5572394	3	36458778
MANABI	0	55088417	7	18880858	9	73969275
MORONA SANTIAGO	0	5375648	1	849954	0	6225602
NAPO	0	3964500	1	809500	0	4774000
ORELLANA	0	6986660	1	792000	0	7778660
PASTAZA	0	4832500	1	989500	0	5822000
PICHINCHA	0	155885693	21	59524044	28	215409737
SANTA ELENA	0	13466627	2	3526387	2	16993014
STO. DGO. TSACHILAS	0	21931132	3	6245855	3	28176987
SUCUMBIOS	0	11235434	2	852000	0	12087434
TUNGURAHUA	0	35755500	5	9084500	4	44840000
ZAMORA CHINCHIPE	0	3577540	0	366080	0	3943620
<b>Total General</b>	<b>41331057</b>	<b>703784471</b>	<b>100</b>	<b>213141476</b>	<b>100</b>	<b>958257004</b>

### 3.4.3.2 DESPACHO DE DIESEL

A continuación se detalla el despacho de Diesel 2 Automotriz y Diesel Premium por provincia durante los años 2011 y 2012, y se contabiliza el despacho total nacional de diesel automotriz, (Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012).

En la tabla 19 se puede observar que la provincia de Guayas lidera el despacho de Diesel 2 automotriz en el país, mientras que durante el año 2011, el despacho de Diesel Premium se presenta principalmente los cantones Quito y Cuenca. Por esta razón las provincias de Pichincha y Azuay lideran el despacho de este combustible (Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012).

**Tabla 19.** Despacho real de diesel por provincia durante el 2011.

AÑO 2011					
PROVINCIA	DIESEL 2		PRODUCTO DIESEL PREMIUM		Total General
	Galones	%	Galones	%	Galones
AZUAY	20810260	3	21863606	15	42673866
BOLIVAR	6069355	1	369128	0	6438483
CAÑAR	13495298	2	979865	1	14475163
CARCHI	9348000	1	581050	0	9929050
CHIMBORAZO	21073958	3	938000	1	22011958
COTOPAXI	22062213	3	1870402	1	23932615
EL ORO	56916533	9	401451	0	57317984
ESMERALDAS	21396650	3	984562	1	22381212
GALAPAGOS	864108	0	158204	0	1022312
GUAYAS	152568364	24	8341661	6	160910025
IMBABURA	24775076	4	2001600	1	26776676
LOJA	19096987	3	3503254	2	22600241
LOS RIOS	38662324	6	3862843	3	42525167
MANABI	44485994	7	1801042	1	46287036
MORONA SANTIAGO	5439942	1	739721	1	6179663
NAPO	8269446	1	583000	0	8852446
ORELLANA	36202109	6	0	0	36202109
PASTAZA	8199527	1	309000	0	8508527
PICHINCHA	43799216	7	86717485	60	130516701
SANTA ELENA	14233157	2	1089508	1	15322665
STO. DGO. TSACHILAS	24945056	4	4034088	3	28979144
SUCUMBIOS	15879322	2	30000	0	15909322
TUNGURAHUA	25405000	4	1822121	1	27227121
ZAMORA CHINCHIPE	5490268	1	848062	1	6338330
<b>Total General</b>	<b>639488163</b>	<b>100</b>	<b>143829653</b>	<b>100</b>	<b>783317816</b>

En el año 2012, se extiende la oferta de Diesel Premium para el sector automotriz de todo el país, por tal motivo, cambia radicalmente el despacho de los dos tipos de diesel, liderando el despacho de Diesel 2 Industrial las provincias de Orellana y Guayas, para el caso del Diesel Premium, las provincias de Pichincha y Guayas, como se puede observar en la tabla 20, (Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012).

**Tabla 20.** Despacho real de diesel por provincia durante el 2012.

AÑO 2012					
PROVINCIA	DIESEL 2		PRODUCTO DIESEL PREMIUM		Total General
	Galones	%	Galones	%	Galones
AZUAY	2013392	2	45247736	6	47261128
BOLIVAR	6929	0	6881124	1	6888053
CAÑAR	258889	0	14868817	2	15127706
CARCHI	21000	0	7024000	1	7045000
CHIMBORAZO	666918	1	22915177	3	23582095
COTOPAXI	156500	0	25066016	3	25222516
EL ORO	2048683	3	51564019	7	53612702
ESMERALDAS	224445	0	20265468	3	20489913
GALAPAGOS	335192	0	5987289	1	6322481
GUAYAS	25043478	31	147298014	19	172341492
IMBABURA	205039	0	29222750	4	29427789
LOJA	3000	0	30540840	4	30543840
LOS RIOS	379112	0	42982276	6	43361388
MANABI	647581	1	48329663	6	48977244
MORONA SANTIAGO	25929	0	6799218	1	6825147
NAPO	1601163	2	8634500	1	10235663
ORELLANA	31408035	39	9434340	1	40842375
PASTAZA	1493340	2	6026000	1	7519340
PICHINCHA	3418653	4	137025116	18	140443769
SANTA ELENA	6061459	8	12249191	2	18310650
STO. DGO. TSACHILAS	0	0	29438337	4	29438337
SUCUMBIOS	4746585	6	10923170	1	15669755
TUNGURAHUA	0	0	29636500	4	29636500
ZAMORA CHINCHIPE	4000	0	7648591	1	7652591
<b>Total General</b>	<b>80769322</b>	<b>100</b>	<b>756008152</b>	<b>100</b>	<b>836777474</b>

Las tablas 21 y 22 resumen los despachos anuales y diarios promedio de los años 2011 y 2012, para las gasolinas y diesel (Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador, 2011-2012).

**Tabla 21.** Despacho anual y diario de gasolinas y diesel 2011.

PRODUCTO	DESPACHO (galones)	
	AÑO 2011	DÍA
GASOLINA SUPER	222 007 506	608 240
GASOLINA EXTRA	696 355 777	1 907 824
<b>TOTAL</b>		
<b>GASOLINAS</b>	<b>918 363 283</b>	<b>2 516 064</b>
<b>DIESEL 2</b>	639 488 163	1 752 022
<b>DIESEL PREMIUM</b>	143 829 653	394 054
<b>TOTAL DIESEL</b>	<b>783 317 816</b>	<b>2 146 076</b>

**Tabla 22.** Despacho anual y diario de gasolinas y diesel 2012.

PRODUCTO	DESPACHO (galones)	
	AÑO 2012	DÍA
GASOLINA SUPER	213 141 476	583 949
GASOLINA EXTRA	745 115 528	2 041 412
<b>TOTAL</b>		
<b>GASOLINAS</b>	<b>958 257 004</b>	<b>2 625 362</b>
<b>DIESEL 2</b>	80 769 322	221 286
<b>DIESEL PREMIUM</b>	756 008 152	2 071 255
<b>TOTAL DIESEL</b>	<b>836 777 474</b>	<b>2 292 541</b>

#### 3.4.4 MEZCLA DE PRODUCTOS (Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP) , 2012)

Después de haber destilado el crudo y que las fracciones se hayan procesado en sus diferentes unidades, todavía no se encuentran en su forma final. La mayoría de productos de consumo se obtienen mediante la mezcla de dos o más componentes.

El mezclado de productos tiene tres aspectos generales: la calidad del producto terminado, la economía para obtener dicha calidad y el sistema físico involucrado en el mezclado.

Para definir la calidad se han establecido especificaciones (o niveles límites de calidad) para cada producto (norma NTE INEN 935:2012. Octava Revisión). Cada especificación se establece en función del resultado de un procedimiento analítico estándar de laboratorio.

Dada la inexactitud de predecir la calidad de las mezclas y por la variabilidad de los resultados del análisis de laboratorio, las refinerías conducen sus operaciones para cumplir con calidades objetivo que son más estrictas y proveen un margen de seguridad.

La tolerancia debe corresponder a un balance económico entre el costo de mejorar la calidad y el costo de verificar mediante análisis y en ciertos casos mezclar nuevamente los productos fuera de especificaciones para llevarlos dentro de norma.

Una de las principales fuentes de ahorro son los proyectos que minimizan los incrementos de calidad a través de mezclados computarizados en línea.

Por lo indicado, deben establecerse las especificaciones críticas o limitantes, las cuales deben ser estimadas antes de realizar mezclado, para ello se realizan cálculos a fin de determinar las proporciones de cada componente de la mezcla que nos llevarán a alcanzar el objetivo.

Algunas de las especificaciones de los hidrocarburos se mezclan linealmente por volumen y otras por medio de fracciones en peso, como la densidad, el contenido de azufre, etc.

En este caso, se puede utilizar las ecuaciones 3 y 4 a fin de determinar la cantidad de componentes que participan en la mezcla:

$$V_m = V_a + V_b \quad \textbf{Ecuación 3}$$

$$V_m * P_m = V_a * P_a + V_b * P_b \quad \textbf{Ecuación 4}$$

Siendo:

$V_m$  = Volumen de la mezcla

$V_a$  = Volumen del componente a

$V_b$  = Volumen del componente b

$P_m$  = Propiedad de la mezcla final

$P_a$  = Propiedad del componente a

$P_b$  = Propiedad del componente b

Las propiedades de la mezcla final y de sus componentes son datos conocidos, así como el volumen de mezcla que se quiere obtener, quedando como incógnitas los volúmenes de sus componentes.

Las relaciones para mezcla de dos componentes pueden generalizarse para mezclas multi-componente.

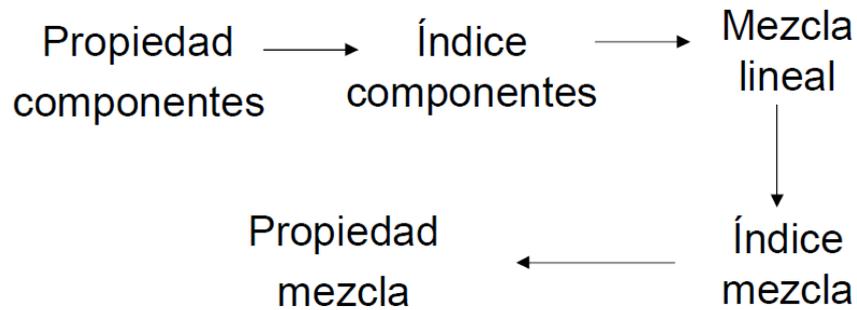
Los productos y/o componentes pueden mezclarse para cumplir simultáneamente con varios objetivos de calidad.

En la medida que aumenten las variables (incógnitas), las soluciones requieren de modelos matemáticos sofisticados, pero la esencia de la mezcla es la misma que las mezclas binarias, a fin de cumplir una calidad objetivo.

Sin embargo, hay propiedades que no se combinan en forma lineal, como el número de octano, viscosidad, punto de inflamación, punto de escurrimiento y otras, por esta razón, las propiedades se deben convertir en una propiedad ajustada o empírica llamada "número o índice de mezcla", este índice es el que se mezcla linealmente.

Una vez obtenidos los índices de mezcla, tanto de los componentes como el de la mezcla final, se utilizan las ecuaciones 3 y 4 para calcular los volúmenes de los componentes tal como se lo realiza en una mezcla lineal.

La figura 17 muestra el procedimiento a seguir en el caso de mezclas no lineales.



**Figura 17.** Mezclas no lineales.  
(Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP) ,  
2012)

En la bibliografía se puede encontrar los índices de mezcla existentes para las especificaciones que no mezclan linealmente, en la figura 18 se presenta algunos ejemplos.

- Viscosidad  
 $IV=41.10743-49.08258\log(\log(cst+0.8))$
- Punto de escurrimiento  
 $\ln(IPE)=-73.0883+12.8852\ln(PE+460)$
- Punto de inflamación  
 $\log(IPI)=42.1093-14.286\log(PI+460)$

**Figura 18.** Ejemplo de Índices de mezcla.  
(Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland  
(ANCAP) , 2012)

### 3.4.4.1 NAFTAS PRODUCIDAS (PROPIAS) E IMPORTADAS

En *Refinería Esmeraldas* se producen seis tipos de naftas (Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011):

- ✓ Nafta Liviana (Unidades de destilación atmosférica y al vacío)
- ✓ Nafta Pesada (Unidades destilación atmosférica, vacío y viscorreductora)
- ✓ Nafta Isomerizada (Isomerizadora)
- ✓ Nafta Hidrotratada (Hidrotratadora de Naftas HDT)
- ✓ Nafta Reformada (Reformadora de Craqueo Catalítico CCR)
- ✓ Nafta Tratada (Unidad de Craqueo Catalítico Fluido FCC)

La unidad Isomerizadora opera en batch debido a que no tiene carga para su operación continua.

En la unidad Hidrotratadora de naftas (HDT) ingresa la nafta pesada con un contenido de azufre de 350 ppm y se obtiene nafta hidrotratada con un contenido de azufre de 0.5 ppm aproximadamente, siendo esta la carga de la unidad Reformadora de Craqueo Catalítico, por ello, la nafta hidrotratada no ingresa al pool de gasolinas.

En *Refinería La Libertad* se produce únicamente Gasolina Base (Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011).

Gasolina Base (Producen las Unidades de destilación atmosférica)

En *Refinería Shushufindi* se producen dos tipos de gasolinas de las diferentes plantas, como (Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011):

- ✓ Gasolina Base (Unidades de destilación atmosférica)
- ✓ Gasolina Natural (Planta de Gas)

Adicionalmente, se importa Nafta de Alto Octano para preparar las diferentes gasolinas que se comercializan en el país y alcanzar las especificaciones de la norma INEN. Esta nafta llega al Terminal Marítimo de Esmeraldas (TME) y/o al Muelle de la Libertad, se descarga hacia la Refinería de Esmeraldas y Refinería La Libertad, así como a la Cabecera de Esmeraldas y el Terminal de Pascuales. Vía poliducto es enviada al Terminal Beaterio en Quito para realizar las mezclas y abastecer a la zona.

#### 3.4.4.2 GASOLINAS. CALIDADES Y SU INFLUENCIA EN LA MEZCLA

Durante el año 2012 se han realizado ensayos de todos los parámetros a las diferentes naftas producidas en cada una de las refinerías del país. En la tabla 23, 24, 25 y 26 se visualiza el valor promedio de los principales parámetros de la norma NTE INEN 935:2012. Octava Revisión.

**Tabla 23.** Especificaciones de naftas en Refinería Esmeraldas.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

PRUEBA O ANÁLISIS	MÉTODO	NAFTAS				
		ISOMERIZADA	PESADA	LIVIANA	REFORMADA	TRATADA
NUMERO DE OCTANO RESEARCH (RON)	NTE INEN 2102	80.00	54.00	72.00	75.00	92.00
DESTILACIÓN AL 10% (°C)	NTE INEN 926	30.00	98.00	39.00	95.00	55.00
PRESIÓN DE VAPOR (kPa)	NTE INEN 928 <sup>C</sup> ASTM D 4953 ASTM D 5191 <sup>D</sup>	100.00	11.00	100.00	16.00	54.00
CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	NTE INEN 929 ASTM D4 294 <sup>D</sup>	0.00	350.00	80.00	13.00	1100.00
CONTENIDO DE AROMÁTICOS (% VOL)	NTE INEN 2252 <sup>D</sup> ASTM D 6730	0.00	6.98	0.77	32.00	35.00
CONTENIDO DE BENCENO (% VOL)	ASTM D 3606 <sup>C</sup> ASTM D 5580 <sup>D</sup> ASTM D 6277 ASTM D 6730	0.01	0.23	0.22	1.50	1.50
CONTENIDO DE OLEFINAS (% VOL)	NTE INEN 2252 <sup>D</sup> ASTM D 6730	3.60	3.10	2.53	15.00	44.00

**Tabla 24.** Especificaciones de naftas en Refinería La Libertad,  
(Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013).

PRUEBA O ANÁLISIS	MÉTODO	GASOLINA BASE
NUMERO DE OCTANO RESEARCH (RON)	NTE INEN 2102	62.50
DESTILACIÓN AL 10% (°C)	NTE INEN 926	65.00
PRESIÓN DE VAPOR (kPa)	NTE INEN 928 <sup>C</sup> ASTM D 4953 ASTM D 5191 <sup>D</sup>	66.00
CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	NTE INEN 929 ASTM D4 294 <sup>D</sup>	10.00
CONTENIDO DE AROMÁTICOS (% VOL)	NTE INEN 2252 <sup>D</sup> ASTM D 6730	5.40
CONTENIDO DE BENCENO (% VOL)	ASTM D 3606 <sup>C</sup> ASTM D 5580 <sup>D</sup> ASTM D 6277 ASTM D 6730	0.54
CONTENIDO DE OLEFINAS (% VOL)	NTE INEN 2252 <sup>D</sup> ASTM D 6730	3.00

**Tabla 25.** Especificaciones de las naftas producidas en Refinería Shushufindi. (Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

PRUEBA O ANÁLISIS	MÉTODO	GASOLINA BASE	GASOLINA NATURAL
NUMERO DE OCTANO RESEARCH (RON)	NTE INEN 2102	62.00	68.00
DESTILACIÓN AL 10% (°C)	NTE INEN 926	63.00	39.00
PRESIÓN DE VAPOR (kPa)	NTE INEN 928 <sup>C</sup> ASTM D 4953 ASTM D 5191 <sup>D</sup>	43.00	82.74
CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	NTE INEN 929 ASTM D4 294 <sup>D</sup>	5.00	5.00
CONTENIDO DE AROMÁTICOS (% VOL)	NTE INEN 2252 <sup>D</sup> ASTM D 6730 ASTM D 3606 <sup>C</sup>	5.00	0.77
CONTENIDO DE BENCENO (% VOL)	ASTM D 5580 <sup>D</sup> ASTM D 6277 ASTM D 6730	0.40	0.22
CONTENIDO DE OLEFINAS (% VOL)	NTE INEN 2252 <sup>D</sup> ASTM D 6730	2.80	2.53

**Tabla 26.** Especificaciones de la Nafta Alto Octano Importada. (Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

PRUEBA O ANÁLISIS	MÉTODO	NAO IMPORTADA
NUMERO DE OCTANO RESEARCH (RON)	NTE INEN 2102	95.00
DESTILACIÓN AL 10% (°C)	NTE INEN 926	70.00
PRESIÓN DE VAPOR (kPa)	NTE INEN 928 <sup>C</sup> ASTM D 4953 ASTM D 5191 <sup>D</sup>	60.00
CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	NTE INEN 929 ASTM D4 294 <sup>D</sup>	50.00
CONTENIDO DE AROMÁTICOS (% VOL)	NTE INEN 2252 <sup>D</sup> ASTM D 6730	30.00
CONTENIDO DE BENCENO (% VOL)	ASTM D 3606 <sup>C</sup> ASTM D 5580 <sup>D</sup> ASTM D 6277 ASTM D 6730	1.00
CONTENIDO DE OLEFINAS (% VOL)	NTE INEN 2252 <sup>D</sup> ASTM D 6730	20.00

Debido al alto contenido de azufre en la nafta tratada producida por la unidad FCC de Refinería Esmeraldas, en esta refinería se prepara las gasolinas con el mayor contenido de azufre.

El limitante para el uso de una mayor cantidad de nafta reformada y pesada en el pool de mezclas de gasolinas es el parámetro de la “Temperatura de Destilación al 10%”, para la cual, la norma NTE INEN 935:2012, octava revisión, solicita un máximo de 70°C. Estas dos naftas sobrepasan este valor.

Por este motivo existe excedente de naftas (reformada y pesada) que es exportado periódicamente desde Refinería Esmeraldas. Adicionalmente, el contenido de aromáticos en la nafta reformada es otro limitante para su uso en el pool de gasolinas.

La gasolina base producida tanto en Refinería La Libertad como en Shushufindi, a pesar de tener el mismo nombre no tienen especificaciones idénticas, aunque tiene características similares. Éstas siempre van a depender de la calidad del crudo procesado y las condiciones de operación de cada planta.

#### 3.4.4.3 DIESEL PRODUCIDO (PROPIO) E IMPORTADO

En los tres centros de refinación se produce Diesel 2 con un contenido de azufre de hasta 7000 ppm. En la Refinería Esmeraldas adicionalmente se procesa este diesel en la unidad HDS (Hidrosulfuradora de diesel) obteniendo un diesel con contenido de azufre de hasta 500 ppm, Diesel Premium.

En las Refinerías La Libertad y Shushufindi se produce únicamente Diesel 2, con un contenido de azufre de hasta 7000 ppm.

### 3.4.4.4 DIESEL. CALIDADES Y SU INFLUENCIA EN LA MEZCLA

Para el año 2012 se han establecido estadísticas de los valores promedio de los principales parámetros de la norma NTE INEN 1489:2011. Quinta Revisión, obteniendo los resultados detallados en las tablas 27, 28, 29 y 30.

**Tabla 27.** Especificaciones promedio de los diferentes tipos de diesel producidos en Refinería Esmeraldas.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

PRUEBA O ANÁLISIS	MÉTODO	DIESEL PREMIUM	DIESEL 2
DESTILACIÓN AL 90%, (°C)	NTE INEN 926	337.00	340.00
CONTENIDO DE AZUFRE (% MASA)	ASTM D 4294 NTE INEN 1490	0.0148	0.4300
CONTENIDO DE CENIZAS (% MASA)	NTE INEN 1492	0.00	0.00
CONTENIDO DE RESIDUO CARBONOSO SOBRE EL 10% DEL RESIDUO DE DESTILACIÓN (% MASA)	NTE INEN 1491	0.00	0.00
CONTENIDO DE AGUA Y SEDIMENTOS (% VOL)	NTE INEN 1494	0.00	0.00
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	NTE INEN 1493 Procedimiento A	73.37	71.10
CORROSION LAM. COBRE	NTE INEN 927	1a	1a
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 37.8°C (cst)	NTE INEN 810	3.32	3.35
INDICE DE CETANO, CALCULADO	NTE INEN 1495	51.14	50.46

**Tabla 28.** Especificaciones promedio de los diferentes tipos de diesel producidos en Refinería La Libertad.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

PRUEBA O ANÁLISIS	MÉTODO	DIESEL 2
DESTILACIÓN AL 90%, (°C)	NTE INEN 926	328.69
CONTENIDO DE AZUFRE (% MASA)	ASTM D 4294 NTE INEN 1490	0.3086
CONTENIDO DE CENIZAS (% MASA)	NTE INEN 1492	0.00
CONTENIDO DE RESIDUO CARBONOSO SOBRE EL 10% DEL RESIDUO DE DESTILACIÓN (% MASA)	NTE INEN 1491	0.01
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	NTE INEN 1493 Procedimiento A	65.30
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 37.8°C (cst)	NTE INEN 810	3.00
INDICE DE CETANO, CALCULADO	NTE INEN 1495	50.09

**Tabla 29.** Especificaciones promedio de los diferentes tipos de diesel producidos en Refinería Shushufindi.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

PRUEBA O ANÁLISIS	MÉTODO	DIESEL 2
DESTILACIÓN AL 90%, (°C)	NTE INEN 926	349.11
CONTENIDO DE AZUFRE (% MASA)	ASTM D 4294 NTE INEN 1490	0.5315
CONTENIDO DE CENIZAS (% MASA)	NTE INEN 1492	0.00
CONTENIDO DE RESIDUO CARBONOSO SOBRE EL 10% DEL RESIDUO DE DESTILACIÓN (% MASA)	NTE INEN 1491	0.02
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	NTE INEN 1493 Procedimiento A	69.80
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 37.8°C (cst)	NTE INEN 810	3.30
INDICE DE CETANO, CALCULADO	NTE INEN 1495	49.88

**Tabla 30.** Especificaciones de los diferentes tipos de Diesel Importado.  
(Gerencia de Refinación de EP Petroecuador, 2011)

PRUEBA O ANÁLISIS	MÉTODO	DIESEL PREMIUM IMPORTADO	DIESEL 2 IMPORTADO
DESTILACIÓN AL 90%, (°C)	NTE INEN 926	327.00	340.00
CONTENIDO DE AZUFRE (% MASA)	ASTM D 4294 NTE INEN 1490	0.0075	0.4300
CONTENIDO DE CENIZAS (% MASA)	NTE INEN 1492	0.00	0.00
CONTENIDO DE RESIDUO CARBONOSO SOBRE EL 10% DEL RESIDUO DE DESTILACIÓN (% MASA)	NTE INEN 1491	0.00	0.00
CONTENIDO DE AGUA Y SEDIMENTOS (% VOL)	NTE INEN 1494	0.00	0.00
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	NTE INEN 1493 Procedimiento A	70.00	71.10
CORROSION LAM. COBRE	NTE INEN 927	1a	1a
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 37.8°C (cst)	NTE INEN 810	2.80	3.35
INDICE DE CETANO, CALCULADO	NTE INEN 1495	50.00	50.46

Es importante indicar que solo en Refinería Esmeraldas se cuenta con una planta Hidrodesulfuradora de diesel (HDS), por lo cual es posible obtener Diesel Premium con un contenido de azufre menor a 500 ppm.

En las Refinerías La Libertad y Shushufindi, el Diesel producido es el obtenido directamente de las unidades de destilación atmosférica.

### 3.5 EQUIPO UTILIZADO PARA LA MEDICIÓN DE EMISIONES, POTENCIA Y TORQUE DEL VEHÍCULO

La Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, proporcionó los equipos para la medición de emisiones y rendimiento vehicular de los casos planteados. Además, autorizó la participación de dos expertos en el manejo de los equipos para facilitar el desarrollo de las pruebas.

Los equipos utilizados fueron:

- Analizador de gases MGT 5 para vehículos a gasolina y diesel.

(Secretaría de Ambiente, 2012)

Es un equipo compacto e independiente apto para el empleo estacionario o móvil, es posible la combinación multifuncional para realizar la medición de los gases de escape de motores a gasolina, así como de motores Diesel.

Tiene un amplio campo de aplicación, desde un sencillo e independiente aparato móvil con LED y terminal de mano, a un equipo conectado a un PC y equipado con un programa de fácil manejo. Tiene la posibilidad de medición del NO<sub>x</sub>.

- Dinamómetro, Banco de potencia para autos, camiones y motocicletas.

Modelo: LPS 3000, figura 19.

(Secretaría de Ambiente, 2012)



**Figura 19.** Dinamómetro LPS3000.

Es un equipo que realiza la medición de potencia a velocidad constante, revoluciones y fuerza de tracción constantes, es posible la indicación gráfica y numérica de la potencia del motor, potencia de ruedas y pérdidas de potencia por transmisión.

Tiene representación de tres mediciones de potencia en el fondo de pantalla, representación individual de las curvas de potencia e indicación de la velocidad, RPM y temperatura de aceite durante la prueba.

### 3.6 ENSAYOS Y PRUEBAS REALIZADOS

#### **Ensayos:**

1. Ensayos de octanaje y contenido de azufre en las gasolinas utilizadas para los diferentes casos, se realizaron aplicando los métodos ASTM D-2699 (INEN 2102) y ASTM D-4294 respectivamente.

2. Ensayos de índice de cetano y contenido de azufre en el diesel utilizado en los diferentes casos, se realizaron aplicando los métodos ASTM D-976 y ASTM D-4294 respectivamente.

#### **Pruebas:**

1. Medición de las emisiones de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub> y material particulado emitido en cada caso (gasolina y diesel) durante un recorrido por ruta real establecida en la ciudad de Quito, así como en una ruta estándar (Ciclo IM 240).

2. Medición de la potencia y torque del vehículo tipo usando las diferentes gasolinas preparadas, con el Dinamómetro instalado en la estación de revisión técnica vehicular de Guamaní - Quito.

#### **Ciclos de Conducción:**

Los Ciclos de Conducción reproducen las condiciones de conducción en diferentes sitios. Cada país puede utilizar su propio ciclo dependiendo de sus condiciones. Cada ciclo difiere en parámetros tales como velocidad máxima, promedio de velocidad, tipo de tráfico y condiciones de partida, (US Environmental Protection Agency, 1991).

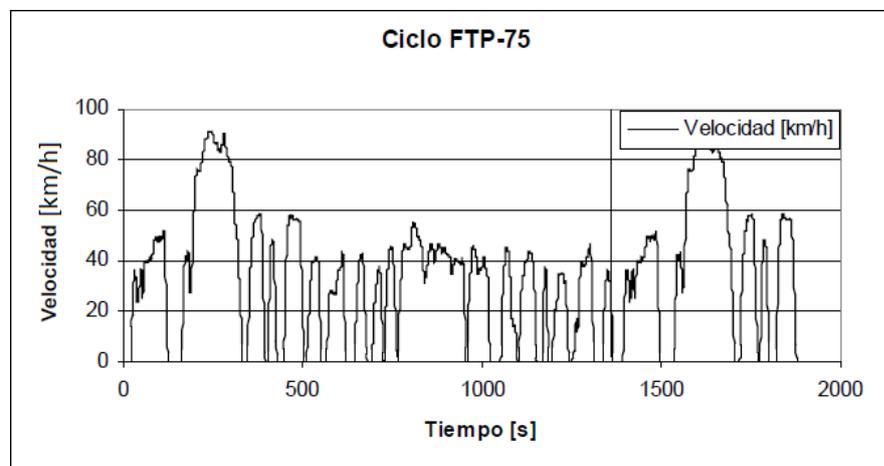
En esta investigación se usaron dos tipos de ciclos:

- Ciclo IM240 (versión sintetizada del ciclo FTP-75)
- Ciclo/Ruta Real

## CICLO FTP-75

Este es un ciclo utilizado para carretera, consta de tres fases. La primera fase comienza con una partida en frío (0 - 505 segundos), a continuación la segunda fase (505 - 1372 segundos). Entre la segunda y tercera fase existe una estabilización del vehículo cuya duración es de 10 minutos, como se muestra en la figura 20. Al cabo de éstos minutos comienza la tercera fase que es de iguales características que la primera, no obstante al estar estabilizado el vehículo, éste contamina en menor cantidad, (US Environmental Protection Agency, 1991).

La distancia total recorrida es de 17.86 km a una velocidad promedio de 34.3 km/h. La figura 20 representa el Ciclo de Conducción FTP-75:



**Figura 20.** Ciclo de conducción FTP-75.  
(US Environmental Protection Agency, 1991)

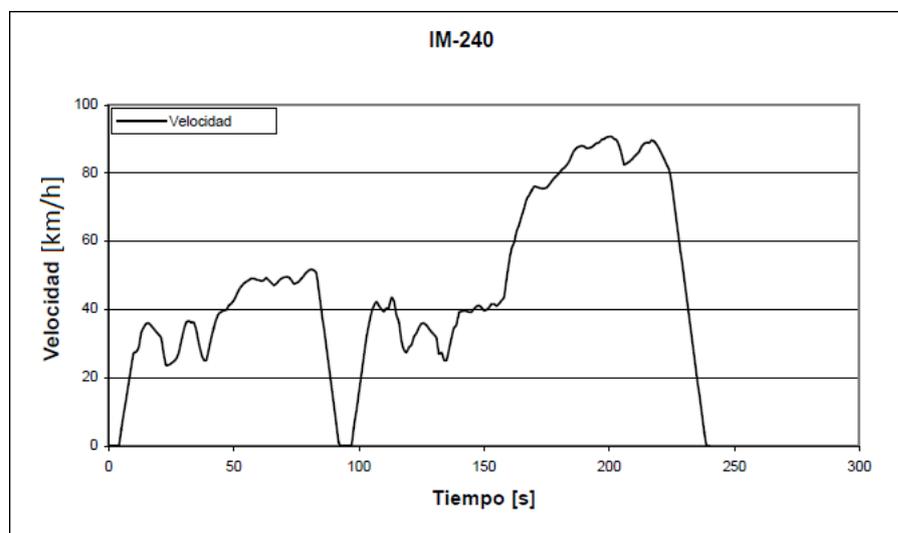
## RUTA IM240

El ciclo IM240 es el utilizado en el Ecuador para realizar pruebas y es una versión sintetizada del ciclo FTP, usando fragmentos de aceleración de dos etapas del ciclo FTP, su nombre proviene de Inspection/Maintenance

(I/M), incluye una fase fuerte de aceleración cuya duración es de 4 minutos (240 segundos), (US Environmental Protection Agency, 1991).

El ciclo consta de dos fases. La primera fase corresponde a los primeros 93 segundos, con velocidades máximas de hasta 54.4 km/h y recorre 0.9 km. La segunda fase corresponden desde los 94 segundos hasta los 239 segundos, con velocidades de hasta 90.72 km/h y recorre 2.25 km, (US Environmental Protection Agency, 1991).

La distancia total recorrida es de 3.15 km en 240 segundos. La velocidad media es de 47 km/h. La figura 21 resume el ciclo de conducción IM-240, (US Environmental Protection Agency, 1991).



**Figura 21.** Ciclo de conducción IM-240.

## RUTA REAL

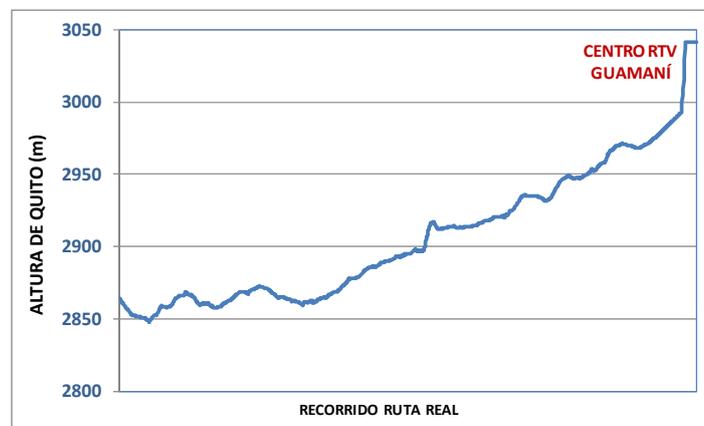
Esta ruta corresponde al recorrido real que se realizó en el vehículo de prueba, iniciando en el norte de la ciudad de Quito, Secretaria de Ambiente,

calle Río Coca E6 – 85 e Isla Genovesa; hasta el sur de la ciudad, Centro de Revisión Técnica Vehicular Guamaní, calle H y Leonidas Mata, lote 100 (Barrio La Perla), figura 22.



**Figura 22.** Ruta Real recorrida por la ciudad de Quito.

Cabe indicar que la ciudad de Quito se encuentra ubicada en un valle que forma parte de la Hoya de Guayllabamba, situada en las faldas orientales del estratovolcán activo Pichincha, en la Cordillera Occidental de los Andes septentrionales de Ecuador, en un terreno irregular con una altitud que oscila entre los 2800 msnm en los lugares llanos y los 3100 msnm en los barrios más elevados, **figura 23**.



**Figura 23.** Perfil de altura de Quito durante el recorrido real.

### 3.7 PROCEDIMIENTO DETALLADO

1. Cálculo de volúmenes requeridos para la preparación de los diferentes tipos de gasolinas, mediante simulación del pool de gasolinas en los diferentes escenarios, manejando los parámetros clave como octanaje, contenido de azufre y contenido de aromáticos. Se utilizan datos de calidad de las diferentes naftas producidas e importadas, considerando si sus unidades mezclan linealmente o requieren un índice de mezcla. A continuación se presenta el detalle de esta simulación:

a. En este proyecto se utilizaron naftas de Refinería Esmeraldas para la preparación de los diferentes tipos de gasolina, lo que permitirá de manera experimental simular el uso de la diversidad de naftas de esta refinería.

b. En el caso del contenido de azufre, cuando este parámetro se encuentra en porcentaje en peso sus unidades se mezclan linealmente.

c. Para el caso del número de octano (capacidad antidetonante), sus unidades no se mezclan linealmente, por lo tanto, es necesario usar el índice de mezcla denominado RBN (*RESEARCH BLENDING NUMBER*).

d. Los RBN se obtienen de tablas estandarizadas con base en el RON de cada uno de los componentes de la mezcla.

En las tablas 31, 32, 33 y 34 se detalla los volúmenes de cada componente que interviene en la preparación de los diferentes tipos de gasolinas de acuerdo a sus principales especificaciones.

Tabla 31. Preparación gasolina de 81 octanos

<b>GASOLINA 1</b>							
	<b>NAFTAS</b>	<b>ISOMERIZADA</b>	<b>PESADA</b>	<b>LIVIANA</b>	<b>REFORMADA</b>	<b>TRATADA</b>	<b>IMPORTADA</b>
<b>INDIVIDUAL</b>	NUMERO DE OCTANO RESEARCH	80.00	54.00	72.00	75.00	92.00	93.00
	RESEARCH BLENDING NUMBER (rbn)	57.50	50.60	55.00	55.90	63.30	63.90
	CONTENIDO DE AROMATICOS (%)	0.00	6.98	0.77	32.00	35.00	27.00
	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	0.00	350.00	80.00	13.00	1100.00	10.00
	VOLUMEN PARCIAL NAFTAS (GALONES)	0.00	4.00	4.00	7.00	5.00	5.00
	<b>COMPARACIÓN CON NORMA</b>		<b>ESPECIFICACIONES MEZCLA</b>			<b>NTE INEN 935:2012. GASOLINA EXTRA</b>	
<b>MEZCLA</b>	NUMERO DE OCTANO RESEARCH		81.20		MÍN. 87.00		
	RESEARCH BLENDING NUMBER (rbn)		57.99		MÍN. 57.90		
	CONTENIDO DE AROMATICOS (%)		22.60		MÁX. 30.00		
	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)		294.44		MÁX. 650		
	<b>VOLUMEN TOTAL DE MEZCLA (GALONES)</b>				<b>25.00</b>		

Tabla 32. Preparación gasolina de 85 octanos

<b>GASOLINA 2</b>							
	<b>NAFTAS</b>	<b>ISOMERIZADA</b>	<b>PESADA</b>	<b>LIVIANA</b>	<b>REFORMADA</b>	<b>TRATADA</b>	<b>IMPORTADA</b>
<b>INDIVIDUAL</b>	NUMERO DE OCTANO RESEARCH	80.00	54.00	72.00	75.00	92.00	93.00
	RESEARCH BLENDING NUMBER (rbn)	57.50	50.60	55.00	55.90	63.30	63.90
	CONTENIDO DE AROMATICOS (%)	0.00	6.98	0.77	32.00	35.00	27.00
	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	0.00	350.00	80.00	13.00	1100.00	10.00
	VOLUMEN PARCIAL NAFTAS (GALONES)	0.00	3.00	4.00	3.50	7.50	7.00
	<b>COMPARACIÓN CON NORMA</b>		<b>ESPECIFICACIONES MEZCLA</b>			<b>NTE INEN 935:2012. GASOLINA EXTRA</b>	
<b>MEZCLA</b>	NUMERO DE OCTANO RESEARCH		85.10		MÍN. 87.00		
	RESEARCH BLENDING NUMBER (rbn)		59.58		MÍN. 57.90		
	CONTENIDO DE AROMATICOS (%)		23.50		MÁX. 30.00		
	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)		389.42		MÁX. 650		
	<b>VOLUMEN TOTAL DE MEZCLA (GALONES)</b>				<b>25.00</b>		

Tabla 33. Preparación gasolina de 87 octanos

<b>GASOLINA 3</b>								
	<b>NAFTAS</b>	<b>ISOMERIZADA</b>	<b>PESADA</b>	<b>LIVIANA</b>	<b>REFORMADA</b>	<b>TRATADA</b>	<b>IMPORTADA</b>	
<b>INDIVIDUAL</b>	NUMERO DE OCTANO RESEARCH	80.00	54.00	72.00	75.00	92.00	93.00	
	RESEARCH BLENDING NUMBER (rbn)	57.50	50.60	55.00	55.90	63.30	63.90	
	CONTENIDO DE AROMATICOS (%)	0.00	6.98	0.77	32.00	35.00	27.00	
	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	0.00	350.00	80.00	13.00	1100.00	10.00	
	VOLUMEN PARCIAL NAFTAS (GALONES)	0.00	2.50	2.50	3.00	8.50	8.50	
	<b>COMPARACIÓN CON NORMA</b>	<b>ESPECIFICACIONES MEZCLA</b>			<b>NTE INEN 935:2012. GASOLINA EXTRA</b>			
<b>MEZCLA</b>	NUMERO DE OCTANO RESEARCH	87.00			MÍN. 87.00			
	RESEARCH BLENDING NUMBER (rbn)	60.52			MÍN. 57.90			
	CONTENIDO DE AROMATICOS (%)	25.70			MÁX. 30.00			
	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	421.96			MÁX. 650			
	<b>VOLUMEN TOTAL DE MEZCLA (GALONES)</b>				<b>25.00</b>			

Tabla 34. Preparación gasolina de 92 octanos

<b>GASOLINA 4</b>							
	<b>NAFTAS</b>	<b>ISOMERIZADA</b>	<b>PESADA</b>	<b>LIVIANA</b>	<b>REFORMADA</b>	<b>TRATADA</b>	<b>IMPORTADA</b>
<b>INDIVIDUAL</b>	NUMERO DE OCTANO RESEARCH	80.00	54.00	72.00	75.00	92.00	93.00
	RESEARCH BLENDING NUMBER (rbn)	57.50	50.60	55.00	55.90	63.30	63.90
	CONTENIDO DE AROMATICOS (%)	0.00	6.98	0.77	32.00	35.00	27.00
	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	0.00	350.00	80.00	13.00	1100.00	10.00
	VOLUMEN PARCIAL NAFTAS (GALONES)	0.00	0.00	0.00	1.00	10.00	14.00
	<b>COMPARACIÓN CON NORMA</b>	<b>ESPECIFICACIONES MEZCLA</b>			<b>NTE INEN 935:2012. GASOLINA SUPER</b>		
<b>MEZCLA</b>	NUMERO DE OCTANO RESEARCH	92.00			MÍN. 92.00		
	RESEARCH BLENDING NUMBER (rbn)	63.34			MÍN. 63.34		
	CONTENIDO DE AROMATICOS (%)	30,40			MÁX. 35.00		
	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	446.12			MÁX. 650		
	<b>VOLUMEN TOTAL DE MEZCLA (GALONES)</b>				<b>25.00</b>		

2.Preparación de cuatro tipos diferentes de gasolinas usando los volúmenes de naftas calculados para la obtención de gasolinas de 81, 85, 87 y 92 octanos y un contenido de azufre de aproximadamente 290, 390, 420 y 450 ppm respectivamente.

3.Cálculo de volúmenes requeridos para la preparación de los diferentes tipos de diesel, mediante simulación del pool de diesel en los diferentes escenarios, manejando los parámetros clave como índice de cetano y contenido de azufre, utilizando los datos de calidades de los diferentes tipos de diesel producidos y considerando si sus unidades mezclan linealmente o requieren un índice de mezcla. A continuación se presenta el detalle de esta simulación:

a. En este proyecto se utilizaron los diferentes tipos de diesel que se producen en la Refinería Esmeraldas para la preparación de los diferentes casos, incluyendo los Diesel de alto y bajo contenido de azufre que se importan.

b. En el caso del contenido de azufre e índice de cetano, sus unidades se mezclan linealmente en el pool.

En las tablas 35, 36 y 37 se detalla los volúmenes de cada componente que interviene en la preparación de los diferentes tipos de diesel de acuerdo a sus principales especificaciones.

**Tabla 35.** Preparación Diesel con contenido de azufre de 3.500 ppm

<b>DIESEL 1</b>					
	<b>DIESEL</b>	<b>DIESEL 2 (REE)</b>	<b>DIESEL PREMIUM (REE)</b>	<b>DIESEL 2 IMPORTADO</b>	<b>DIESEL PREMIUM IMPORTADO</b>
<b>MEZCLA</b>	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	4300.00	148.00	4300.00	75.00
	INDICE DE CETANO, CALCULADO	50.46	51.14	50.46	50.00
	VOLUMEN PARCIAL NAFTAS (GALONES)	18.00	3.00	2.00	2.00
	<b>COMPARACIÓN CON NORMA</b>	<b>ESPECIFICACIONES MEZCLA</b>		<b>NTE INEN 1489:2011. DIESEL 2</b>	
<b>INDIVIDUAL</b>	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	3500.00		MÁX. 7000	
	INDICE DE CETANO, CALCULADO	50.50		MÍN. 45	
	<b>VOLUMEN TOTAL DE MEZCLA (GALONES)</b>	<b>25.00</b>			

**Tabla 36.** Preparación Diesel con contenido de azufre de 500 ppm

<b>DIESEL 2</b>					
	<b>DIESEL</b>	<b>DIESEL 2 (REE)</b>	<b>DIESEL PREMIUM (REE)</b>	<b>DIESEL 2 IMPORTADO</b>	<b>DIESEL PREMIUM IMPORTADO</b>
<b>MEZCLA</b>	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	4300.00	148.00	4300.00	75.00
	INDICE DE CETANO, CALCULADO	50.46	51.14	50.46	50.00
	VOLUMEN PARCIAL NAFTAS (GALONES)	0.00	9.00	2.50	13.50
	<b>COMPARACIÓN CON NORMA</b>	<b>ESPECIFICACIONES MEZCLA</b>		<b>NTE INEN 1489:2011. DIESEL 2 BAJO CONTENIDO DE AZUFRE</b>	
<b>INDIVIDUAL</b>	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	500.00		MÁX. 500	
	INDICE DE CETANO, CALCULADO	50.46		MÍN. 45	
	<b>VOLUMEN TOTAL DE MEZCLA (GALONES)</b>	<b>25.00</b>			

**Tabla 37.** Preparación Diesel con contenido de azufre de 100 ppm

<b>DIESEL 3</b>					
	<b>DIESEL</b>	<b>DIESEL 2 (REE)</b>	<b>DIESEL PREMIUM (REE)</b>	<b>DIESEL 2 IMPORTADO</b>	<b>DIESEL PREMIUM IMPORTADO</b>
<b>MEZCLA</b>	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	4300.00	148.00	4300.00	75.00
	INDICE DE CETANO, CALCULADO	50.46	51.14	50.46	50.00
	VOLUMEN PARCIAL NAFTAS (GALONES)	0.00	7.00	0.00	18.00
	<b>COMPARACIÓN CON NORMA</b>	<b>ESPECIFICACIONES MEZCLA</b>			<b>NTE INEN 1489:2011. DIESEL 2 BAJO CONTENIDO DE AZUFRE</b>
<b>INDIVIDUAL</b>	CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	100.00		MÁX. 500	
	INDICE DE CETANO, CALCULADO	50.32		MÍN. 45	
	<b>VOLUMEN TOTAL DE MEZCLA (GALONES)</b>	<b>25.00</b>			

4. Preparación de tres tipos diferentes de diesel usando los volúmenes de diesel calculados para la obtención de diesel de 3.500, 500 y 100 ppm de azufre y un índice de cetano aproximado de 50 para todos los casos.

5. Usando el vehículo de prueba, se carga una de las gasolinas preparadas y se realiza la medición de las emisiones de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub> y material particulado emitido, en forma dinámica, con el analizador de gases a bordo del vehículo en la ruta real establecida en la ciudad de Quito (Secretaría del Ambiente, norte de Quito, hasta el Centro de Revisión Vehicular - estación de Guamaní).

Es importante señalar que la variable de estudio de esta investigación es el tipo de combustible, por esta razón, las pruebas se realizan usando el mismo vehículo, el cual, a pesar de no ser el más representativo, es un

vehículo común en el parque automotor de la ciudad de Quito. Por razones de logística, el uso de este vehículo facilitó el desarrollo de las pruebas.

Datos del vehículo tipo:

Marca: Hyundai

Modelo: Tucson

Tipo: Jeep

Tracción: 4x2

Año: 2010

Combustible: Gasolina

Cilindraje: 2000 cm<sup>3</sup>

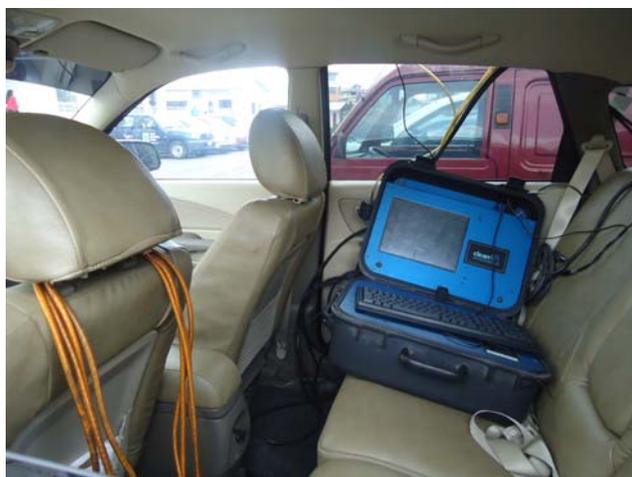
Las figuras 24, 25, 26, 27 y 28 muestran fotografías de la instalación del equipo y cargue de combustible en el vehículo liviano usado para las pruebas.



**Figura 24.** Vehículo liviano usado en la pruebas.



**Figura 25.** Instalación del analizador en gases en el vehículo liviano.



**Figura 26.** Analizador de gases portátil en el vehículo liviano.



**Figura 27.** Vaciado inicial de combustible del vehículo liviano.



**Figura 28.** Cargue de combustible en el vehículo liviano.

6. En el Centro de Revisión Vehicular - estación de Guamaní, usando la gasolina preparada, se realiza la medición de las emisiones mediante la simulación del ciclo de conducción estándar (Ciclo IM 240), así como la medición continua de la potencia y torque del vehículo tipo, con el Dinamómetro instalado en este Centro, como se puede observar en las figuras 29, 30 y 31.



**Figura 29.** Dinamómetro utilizado en las pruebas.



**Figura 30.** Asegurando vehículo al dinamómetro utilizado en las pruebas.



**Figura 31.** Operación del dinamómetro utilizado en las pruebas.

Las figuras 32 y 33 muestran detalles del equipo utilizado para medir la potencia y torque.



**Figura 32.** Panel de control de pruebas en el dinamómetro.



**Figura 33.** Pantalla del panel de control de pruebas en el dinamómetro.

Se realiza una prueba por cada tipo de gasolina preparada, en total se realizan 4 pruebas.

Para asegurar la calidad de los diferentes tipos de gasolina cargada al vehículo, luego de cada prueba se vaciará el tanque de combustible, y esta gasolina sobrante será la muestra enviada a laboratorio para su análisis.

7. Usando un vehículo tipo, se carga uno de los diesel preparados y se realiza la medición de las emisiones de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub> y material particulado emitido, en forma dinámica, usando el Analizador de gases a bordo del vehículo en la ruta real establecida en la ciudad de Quito (Secretaría del Ambiente, norte de Quito, hasta el Centro de Revisión Vehicular - estación de Guamaní).

Datos del vehículo tipo:

Marca: Chevrolet

Modelo: NKR II Chasis Cabinado

Tipo: Camión

Tracción: 4x2

Año: 2009

Combustible: Diesel

Cilindraje: 2800 cm<sup>3</sup>

Las figuras 34, 35, 36 y 37 muestran fotografías de la instalación del equipo y cargue de combustible en el vehículo pesado usado para las pruebas.



**Figura 34.** Vehículo pesado usado en las pruebas.



**Figura 35.** Instalación del analizador de gases en el vehículo pesado.



**Figura 36.** Analizador de gases portátil en el vehículo pesado.



**Figura 37.** Cargue de combustible en el vehículo pesado.

Para asegurar la calidad de los diferentes tipos de diesel cargado al vehículo, luego de cada prueba se vaciará el tanque de combustible, y este diesel sobrante será la muestra enviada a laboratorio para su análisis.

8. Ejecución de los análisis de laboratorio (Coordinación de Control de Calidad de la Refinería Shushufindi) a los diferentes tipos de gasolina y diesel preparados para determinar el valor real de los parámetros calculados.

Para las *gasolinas* se realizaron los siguientes análisis de laboratorio:

- Número de Octano, método ASTM D-2699 (American Society for Testing and Materials, 1999).
- Contenido de Aromáticos (%vol), método ASTM D-6730 (American Society for Testing and Materials, 2011).
- Contenido de Azufre (ppm), método ASTM D-4294 (American Society for Testing and Materials, 2010).

Para el *diesel* se realizaron los siguientes análisis de laboratorio:

- Índice de Cetano, método ASTM D-976 (American Society for Testing and Materials, 2011).
- Contenido de Azufre, método ASTM D-4294 (American Society for Testing and Materials, 2010).

#### 9. Comparación de resultados:

En el caso de las gasolinas se compara los resultados obtenidos de acuerdo al tipo de combustible utilizado y se grafican las variaciones obtenidas con el mejoramiento de la gasolina.

Adicionalmente, se compara los resultados de la RTV del vehículo con lo establecido en la norma NTE INEN 2204:2002. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina, tabla 38. Norma que establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres, vehículos automotores, de gasolina.

**Tabla 38.** Límite máximo de emisiones Norma 2204:2002. Primera revisión.

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralenti (prueba estática)

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1 000	1 200

\* Volumen  
\*\* Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

En el caso del diesel no se puede comparar con la norma NTE INEN 2207:2002. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diesel, tabla 39. Norma que establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de diesel, debido a que no cuenta con los límites para los parámetros que se midieron en este trabajo. Sin embargo se puede comparar la reducción de las emisiones de acuerdo al tipo de diesel utilizado.

**Tabla 39.** Límite máximo de emisiones Norma 2207:2002. Primera revisión.

Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor de diesel (prueba de aceleración libre)

Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

10. Cálculo de la concentración de SO<sub>2</sub> emitido por el vehículo tipo de esta tesis que utilizó como combustible los diferentes tipos de Gasolina y Diesel preparados.

11. Cálculo de la concentración de  $\text{SO}_2$  emitido por los vehículos que consumen la Gasolina Extra, Gasolina Super y Diesel automotriz de la calidad que se comercializaba en el año 2011 y compararlos con los cálculos anteriores.
12. Recomendación de especificaciones de gasolinas y diesel de acuerdo a resultados obtenidos en cuanto a emisiones y rendimiento vehicular.
13. Cálculo del porcentaje de disminución de emisiones vehiculares gracias al mejoramiento en la calidad de combustibles.
14. Cálculo del costo que generará el cambio en la calidad de gasolinas y diesel.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. RESULTADOS OBTENIDOS**

En las tablas 41 a 50 y en las figuras 38 a 47, podemos observar el detalle de los resultados obtenidos en cuanto a emisiones de contaminantes primarios para cada tipo de combustible y ruta utilizada, así como un resumen en la tabla 52, donde se presenta el promedio obtenido de todas las mediciones.

## 4.1 EMISIONES GASEOSAS USANDO GASOLINAS DE DIFERENTES CALIDADES

La tabla 40 resume las especificaciones de cada tipo de gasolina utilizada en la parte experimental de este trabajo.

**Tabla 40.** Resumen de características de las diferentes gasolinas obtenidas en laboratorio.

PARÁMETROS PRINCIPALES	GASOLINAS			
	1	2	3	4
NÚMERO DE OCTANO RESEARCH (ron)	81.50	85.30	87.20	92.40
CONTENIDO DE AROMÁTICOS (%VOL)	22.10	23.20	26.00	30.00
CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	300.00	380.00	420.00	450.00

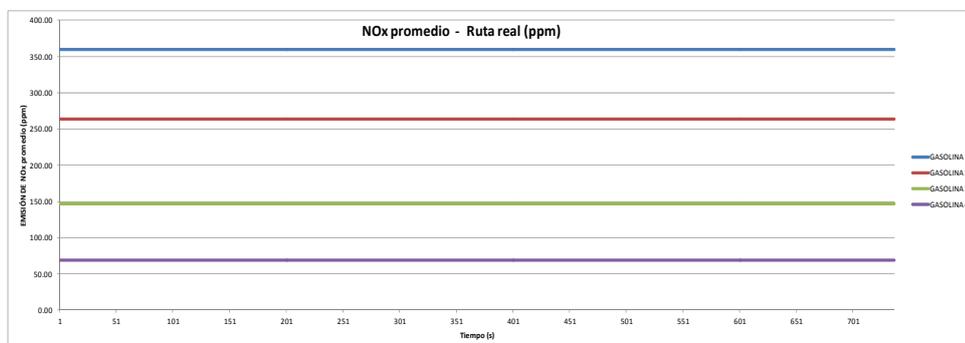
### 4.1.1 EMISIONES NO<sub>x</sub> (ppm)

RUTA REAL:

**Tabla 41.** Emisiones de NO<sub>x</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.

GASOLINAS - EMISIÓN DE NO <sub>x</sub> (ppm)				
TIPO	1	2	3	4
Media	356.92	263.44	147.15	69.25
Moda	327.00	295.00	154.00	59.00
Intervalo de confianza	95%	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	75.81	62.71	29.15	18.17
Error de estimación %	5%	5%	5%	5%
Error de estimación	17.85	13.17	7.36	3.46
Tamaño de muestra	70	88	61	106

Número de datos	737	737	737	737
-----------------	-----	-----	-----	-----

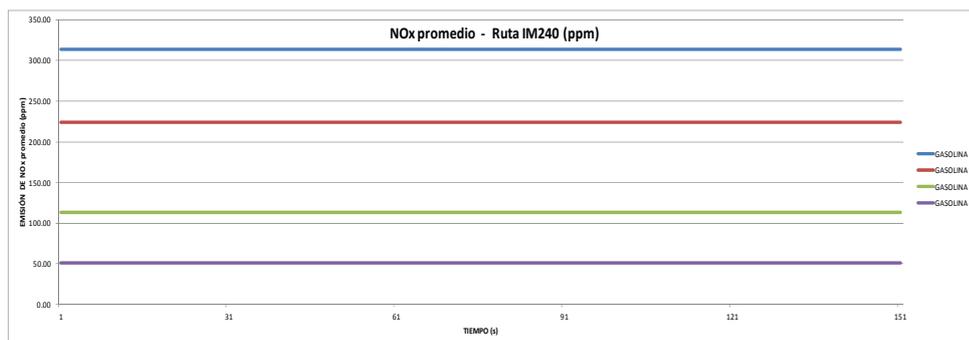


**Figura 38.** Representación gráfica de las emisiones de NOx de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.

RUTA IM240:

**Tabla 42.** Emisiones de NOx de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.

<b>GASOLINAS - EMISIÓN DE NOx (ppm)</b>				
<b>TIPO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Media	313.82	224.28	113.36	50.57
Moda	369.00	171.00	156.00	52.00
Intervalo de confianza	95%	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	61.47	40.44	30.76	5.59
Error de estimación %	5%	5%	5%	5%
Error de estimación	15.69	11.21	5.67	2.53
Tamaño de muestra	59	50	114	19
Número de datos	151	151	151	151



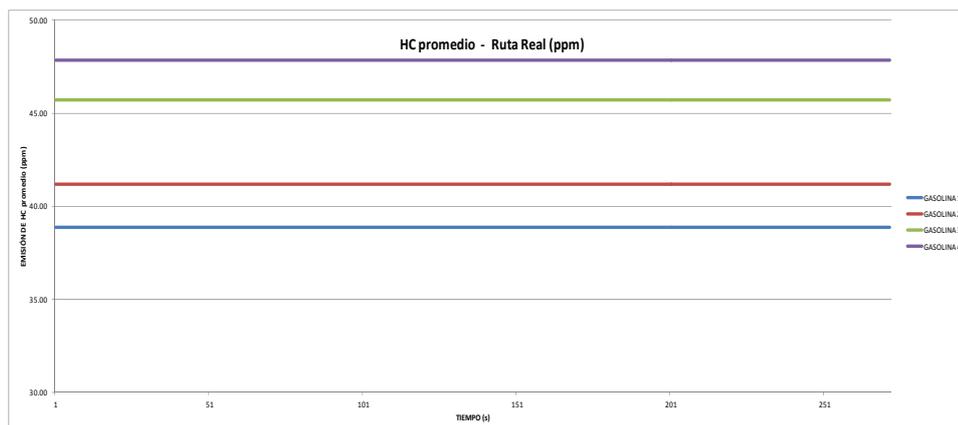
**Figura 39.** Representación gráfica de las emisiones de NOx de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.

#### 4.1.2 EMISIONES HC (ppm)

RUTA REAL:

**Tabla 43.** Emisiones de HC de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.

<b>GASOLINAS - EMISIÓN DE HC (ppm)</b>				
<b>TIPO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Media	38.85	41.17	45.71	47.85
Moda	34.00	36.32	40.86	43.00
Intervalo de confianza	95%	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	4.06	4.06	4.06	4.06
Error de estimación %	5%	5%	5%	5%
Error de estimación	1.94	2.06	2.29	2.39
Tamaño de muestra	17	15	13	12
Número de datos	272	272	272	272

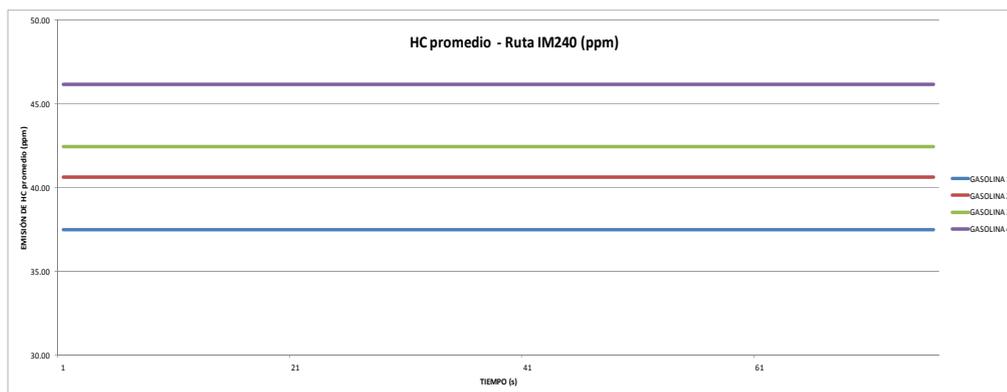


**Figura 40.** Representación gráfica de las emisiones de HC de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.

RUTA IM240:

**Tabla 44.** Emisiones de HC de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.

<b>GASOLINAS - EMISIÓN DE HC (ppm)</b>				
<b>TIPO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Media	37.47	40.61	42.45	46.15
Moda	34.00	37.14	38.98	42.68
Intervalo de confianza	95%	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	4.23	4.23	4.23	4.23
Error de estimación %	5%	5%	5%	5%
Error de estimación	1.87	2.03	2.12	2.31
Tamaño de muestra	20	17	16	13
Número de datos	76	76	76	76



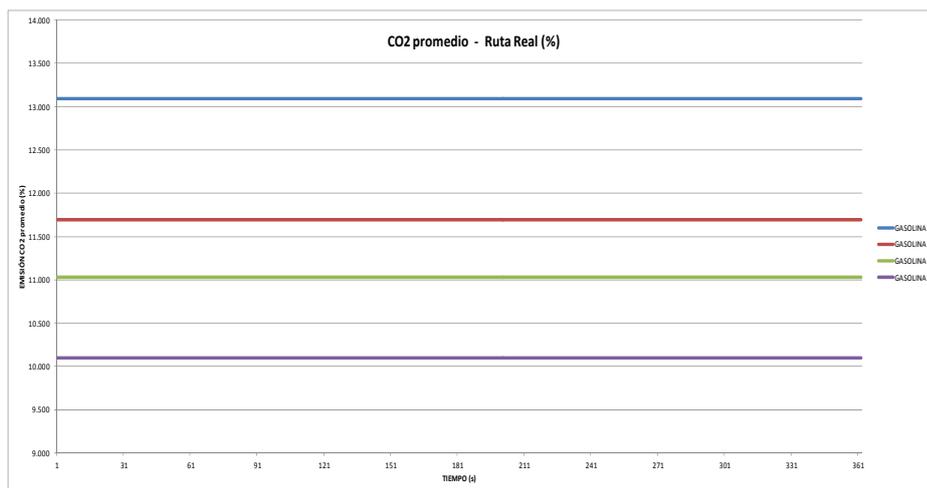
**Figura 41.** Representación gráfica de las emisiones de HC de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.

#### 4.1.3 EMISIONES CO<sub>2</sub> (%)

RUTA REAL:

**Tabla 45.** Emisiones de CO<sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.

GASOLINAS - EMISIÓN DE CO <sub>2</sub> (%)				
TIPO	1	2	3	4
Media	13.09	11.69	11.03	10.09
Moda	13.00	11.63	11.16	10.00
Intervalo de confianza	95%	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	0.07	0.10	0.27	0.26
Error de estimación %	5%	5%	5%	5%
Error de estimación	0.65	0.58	0.55	0.50
Tamaño de muestra	1	1	1	1
Número de datos	362	362	362	362

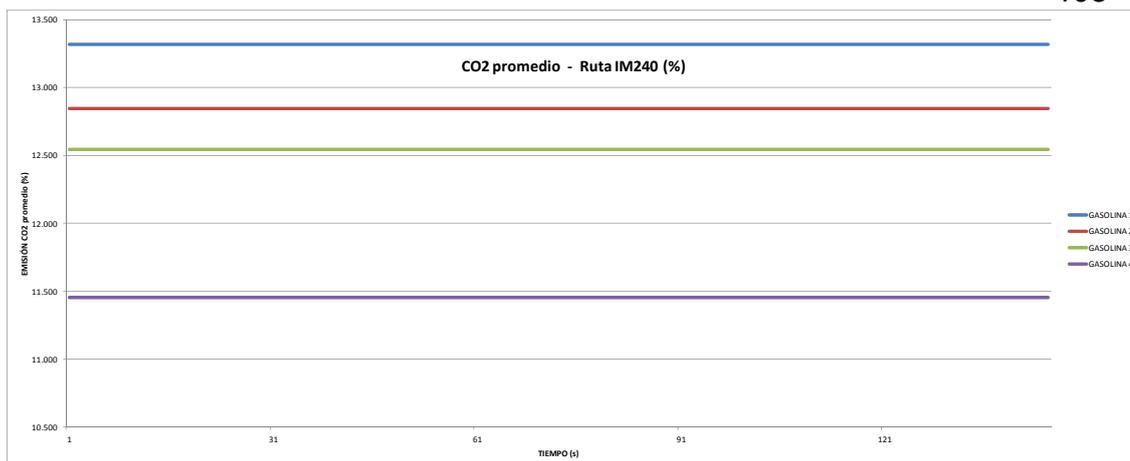


**Figura 42.** Representación gráfica de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.

RUTA IM240:

**Tabla 46.** Emisiones de CO<sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.

<b>GASOLINAS - EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> (%)</b>				
<b>TIPO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Media	13.32	12.85	12.55	11.45
Moda	13.29	13.01	12.64	11.72
Intervalo de confianza	95%	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	0.03	0.14	0.18	0.33
Error de estimación %	5%	5%	5%	5%
Error de estimación	0.67	0.64	0.63	0.57
Tamaño de muestra	1	1	1	2
Número de datos	145	145	145	145



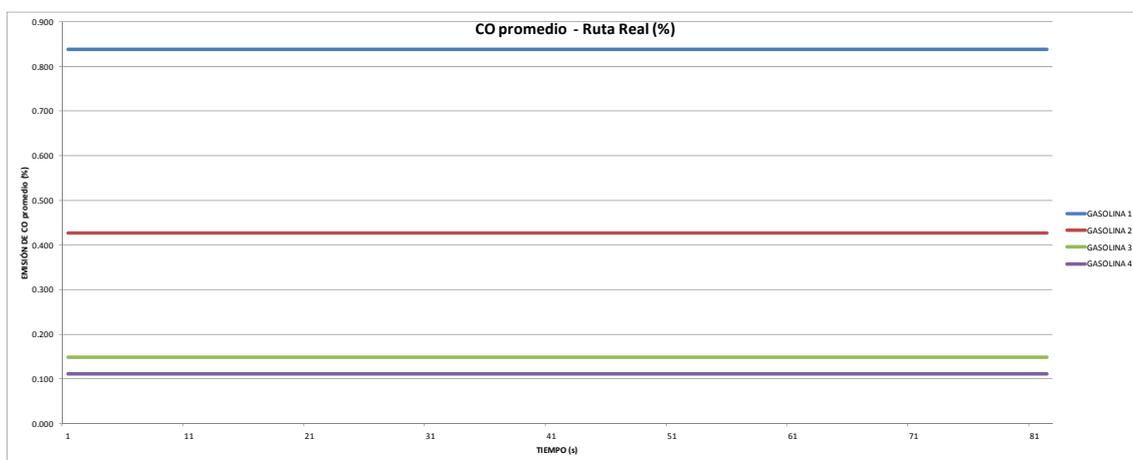
**Figura 43.** Representación gráfica de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.

#### 4.1.4 EMISIONES CO (%)

RUTA REAL:

**Tabla 47.** Emisiones de CO de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.

GASOLINAS - EMISIÓN DE CO (%)				
TIPO	1	2	3	4
Media	0.84	0.43	0.15	0.11
Moda	0.88	0.42	0.15	0.10
Intervalo de confianza %	95%	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	0.08	0.09	0.01	0.01
Error de estimación %	5%	5%	5%	5%
Error de estimación	0.04	0.02	0.01	0.01
Tamaño de muestra	15	75	7	16
Número de datos	82	82	82	82

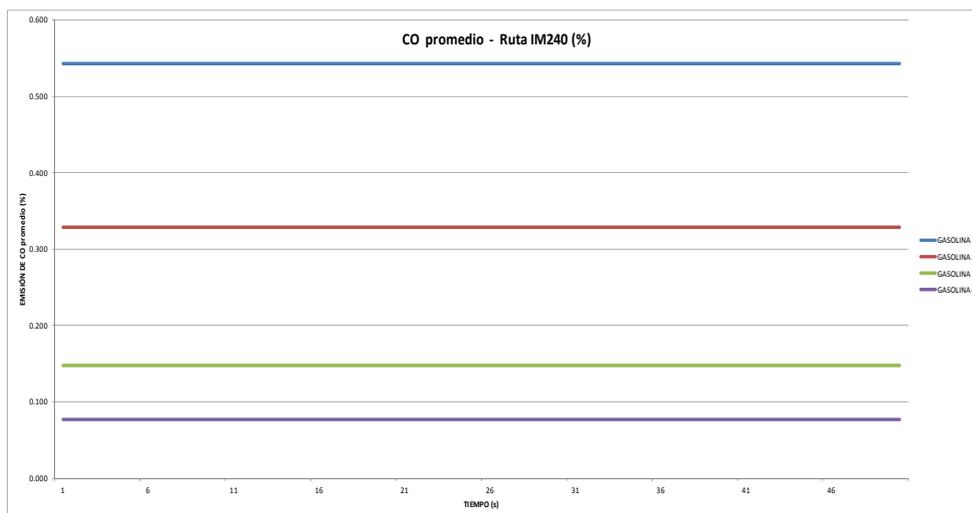


**Figura 44.** Representación gráfica de las emisiones de CO de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.

RUTA IM240:

**Tabla 48.** Emisiones de CO de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.

GASOLINAS - EMISIÓN DE CO (%)				
TIPO	1	2	3	4
Media	0.54	0.33	0.15	0.08
Moda	0.49	0.28	0.15	0.08
Intervalo de confianza %	95%	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	0.06	0.05	0.01	0.01
Error de estimación %	5%	5%	5%	5%
Error de estimación	0.03	0.02	0.01	0.00
Tamaño de muestra	18	41	10	10
Número de datos	50	50	50	50



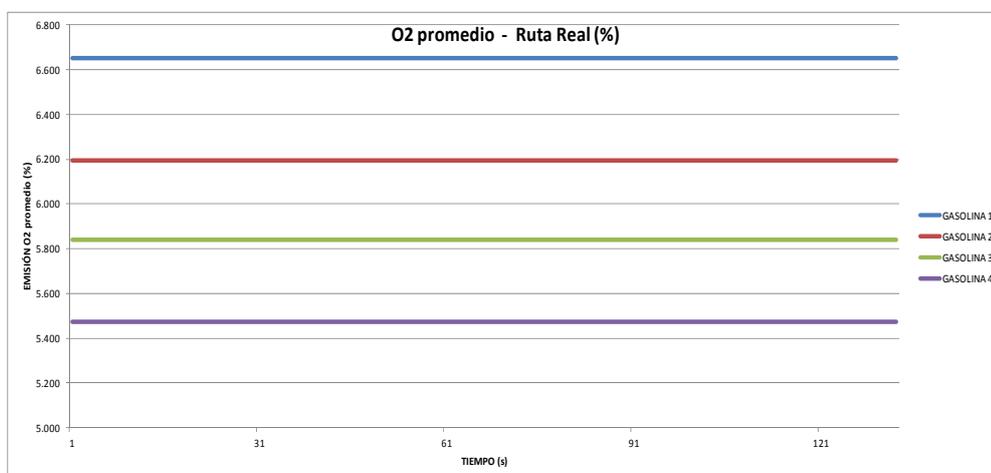
**Figura 45.** Representación gráfica de las emisiones de CO de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.

#### 4.1.5 EMISIONES O<sub>2</sub> (%)

RUTA REAL:

**Tabla 49.** Emisiones de O<sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.

GASOLINAS - EMISIÓN DE O <sub>2</sub> (%)				
TIPO	1	2	3	4
Media	6.65	6.20	5.84	5.47
Moda	6.60	6.30	5.90	5.40
Intervalo de confianza %	95%	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	0.19	0.12	0.10	0.09
Error de estimación %	5%	5%	5%	5%
Error de estimación	0.33	0.31	0.29	0.27
Tamaño de muestra	2	1	1	1
Número de datos	133	133	133	133

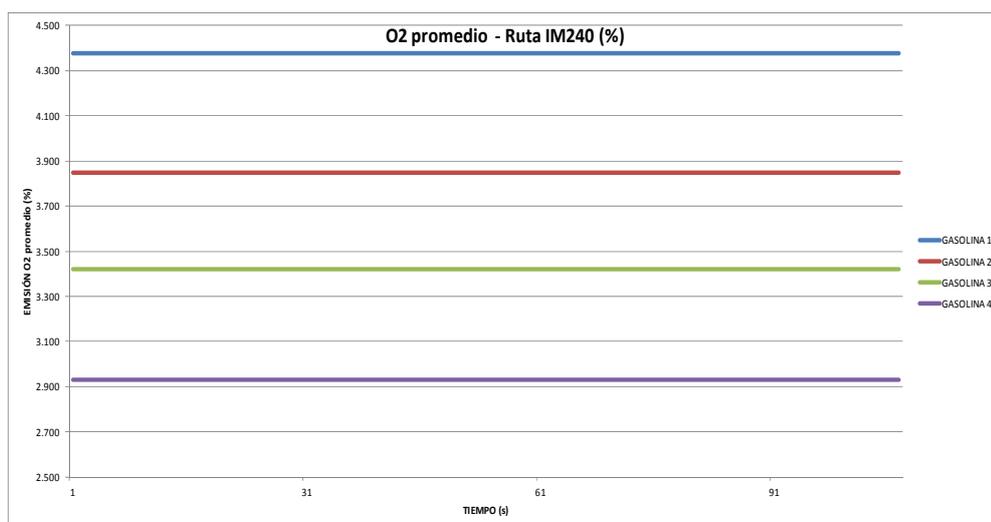


**Figura 46.** Representación gráfica de las emisiones de O<sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta Real.

RUTA IM240:

**Tabla 50.** Emisiones de O<sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.

GASOLINAS - EMISIÓN DE O <sub>2</sub> (%)				
TIPO	1	2	3	4
Media	4.38	3.85	3.42	2.93
Moda	4.20	3.85	3.45	2.90
Intervalo de confianza %	95%	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	0.30	0.17	0.13	0.07
Error de estimación %	5%	5%	5%	5%
Error de estimación	0.22	0.19	0.17	0.15
Tamaño de muestra	8	3	3	1
Número de datos	107	107	107	107



**Figura 47.** Representación gráfica de las emisiones de O<sub>2</sub> de las diferentes gasolinas en la Ruta IM-240.

## 4.2 RESUMEN DE DATOS PROMEDIO DE EMISIONES PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS:

**Tabla 51.** Resumen de emisiones para las diferentes gasolinas.

PARÁMETRO	RUTA	GASOLINA			
		81	85	87	92
NOx (ppm)	REAL	356.92	263.44	147.15	69.25
	IM240	313.82	224.28	113.36	50.57
HC (ppm)	REAL	38.85	41.17	45.71	47.85
	IM240	37.47	40.61	42.45	46.15
CO (%)	REAL	0.84	0.43	0.15	0.11
	IM240	0.54	0.33	0.15	0.08
CO <sub>2</sub> (%)	REAL	13.09	11.69	11.03	10.09
	IM240	13.32	12.85	12.55	11.45
O <sub>2</sub> (%)	REAL	6.65	6.20	5.84	5.47
	IM240	4.38	3.85	3.42	2.93

### 4.3 POTENCIA Y TORQUE USANDO GASOLINAS DE DIFERENTES CALIDADES

En las tablas 52 a 55 y en las figuras 48 a 51, podemos observar el detalle de los resultados obtenidos en cuanto a potencia y torque para cada tipo de combustible y ruta utilizada, así como un resumen en la tabla 57, donde se presenta el promedio obtenido de todas las mediciones.

**Tabla 52.** Resultados de Potencia y Torque usando **GASOLINA 1**.

<b>GASOLINA 1</b>						
<b>PRUEBA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MEDICIONES</b>				<b>MEDIA</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
P-Normal	kW	98.60	101.50	103.90	105.90	102.48
P-Mot	kW	67.60	69.70	71.30	72.60	70.30
P-Rueda	kW	44.70	47.50	49.80	51.20	48.30
P-Arrastre	kW	23.00	22.10	21.50	21.40	22.00
En	U/min	5805.00	5865.00	5900.00	5845.00	5853.75
	km/h	147.20	149.00	150.00	148.50	148.68
M-Normal	Nm	181.40	190.30	195.20	198.20	191.28
En	U/min	4735.00	4730.00	4720.00	4720.00	4726.25
	km/h	120.00	120.10	119.90	119.90	119.98
<b>CONDICIONES</b>						
T-ambiente	°C	19.40	19.90	20.40	20.90	20.15
T-aspiración	°C	11.50	11.80	12.00	11.70	11.75
H-aire	%	49.50	46.70	44.10	45.10	46.35
p-aire	hPa	717.90	717.90	717.90	717.90	717.90
p-vapor	hPa	11.20	10.90	10.60	11.10	10.95



Figura 48. Pantalla que muestra variación de potencia para Gasolina 1.

Tabla 53. Resultados de Potencia y Torque usando GASOLINA 2.

GASOLINA 2							
PRUEBA	UNIDAD	MEDICIONES					MEDIA
		1	2	3	4	5	
P-Normal	kW	105.60	108.70	113.20	112.50	112.80	110.56
P-Mot	kW	72.30	74.40	77.50	77.10	77.30	75.72
P-Rueda	kW	55.00	57.60	59.10	60.60	60.80	58.62
P-Arrastre	kW	17.30	16.80	18.40	16.50	16.50	17.1
En	U/min	5770.00	5745.00	5800.00	5795.00	5810.00	5784
	km/h	149.00	148.60	150.10	150.00	150.50	
M-Normal	Nm	195.20	202.40	207.60	209.60	211.60	205.28
En	U/min	2715.00	4735.00	4745.00	4070.00	4045.00	4062
	km/h	70.10	122.40	122.80	105.30	104.90	
<b>CONDICIONES</b>							
T-ambiente	°C	22.90	23.70	24.30	24.40	24.60	23.98
T-aspiración	°C	14.30	14.60	14.50	13.70	14.00	14.22
H-aire	%	36.00	31.50	30.00	32.30	30.60	32.08
p-aire	hPa	718.40	718.40	718.40	718.40	718.40	718.4
p-vapor	hPa	10.00	9.20	9.10	9.90	9.50	9.54

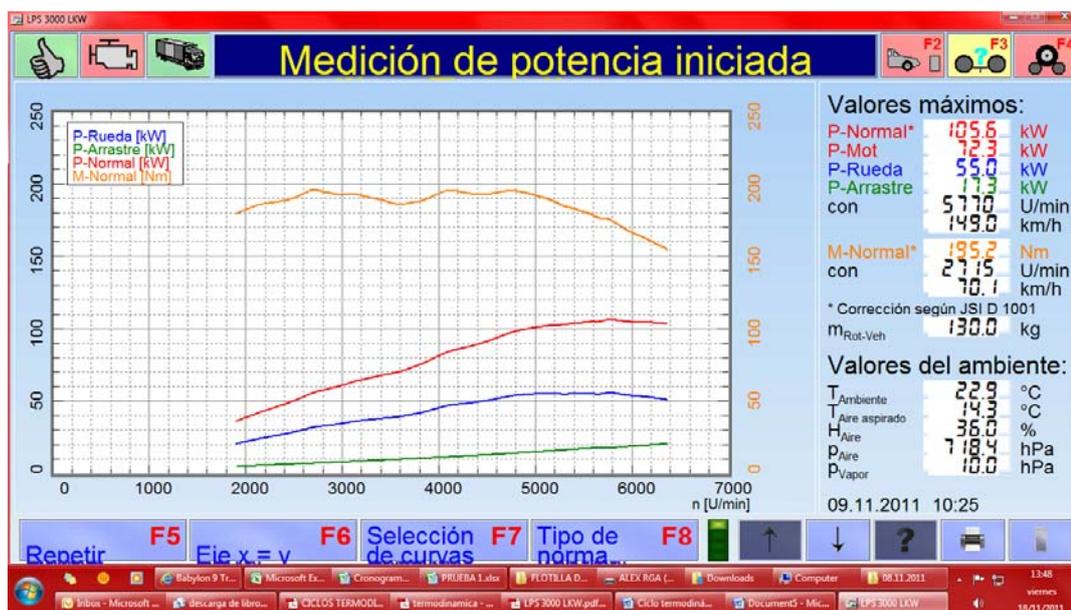


Figura 49. Pantalla de variación de potencia para Gasolina 2.

Tabla 54. Resultados de Potencia y Torque usando GASOLINA 3.

GASOLINA 3							
PRUEBA	UNIDAD	MEDICIONES					MEDIA
		1	2	3	4	5	
P-Normal	kW	108.10	109.10	112.70	110.80	112.10	110.56
P-Mot	kW	73.90	74.60	76.90	75.50	76.50	75.48
P-Rueda	kW	55.10	57.70	58.60	57.20	59.80	57.68
P-Arrastre	kW	18.80	16.90	18.30	18.20	16.70	17.78
En	U/min	5790.00	5810.00	5855.00	5820.00	5825.00	5820
	km/h	149.20	150.20	151.40	150.40	150.80	
M-Normal	Nm	199.60	204.90	209.50	205.30	208.70	205.6
En	U/min	4065.00	4790.00	4080.00	3080.00	4085.00	4020
	km/h	104.80	123.80	105.40	79.60	105.70	
<b>CONDICIONES</b>							
T-ambiente	°C	26.10	26.50	26.80	26.90	26.90	26.64
T-aspiración	°C	16.80	16.40	16.40	16.00	15.90	16.3
H-aire	%	21.00	20.50	23.40	27.70	25.40	23.6
p-aire	hPa	717.90	717.90	717.90	717.90	717.90	717.9
p-vapor	hPa	7.10	7.10	8.20	9.80	9.00	8.24

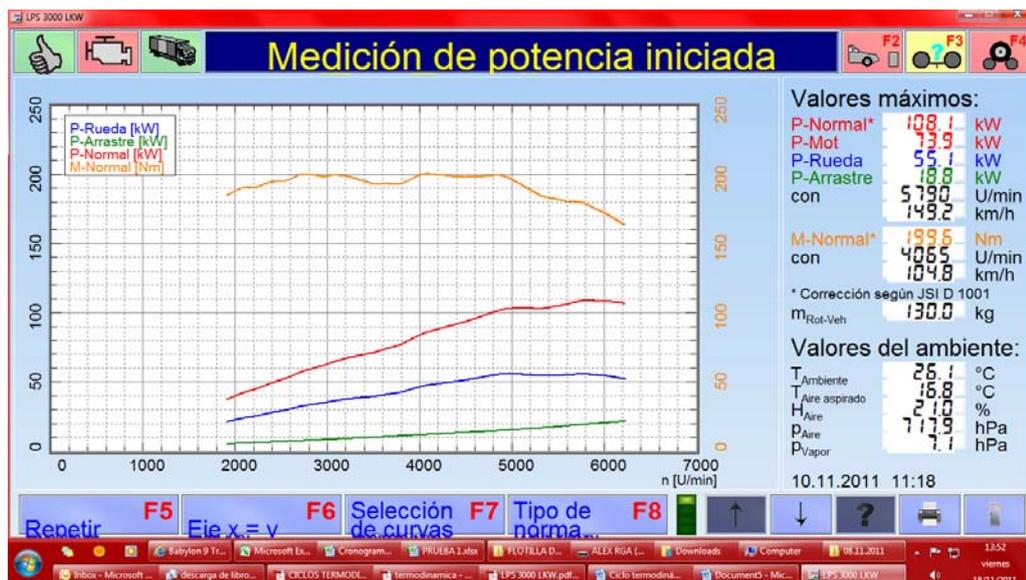


Figura 50. Pantalla que muestra variación de potencia para Gasolina 3.

Tabla 55. Resultados de Potencia y Torque usando GASOLINA 4.

GASOLINA 4							
PRUEBA	UNIDAD	MEDICIONES					MEDIA
		1	2	3	4	5	
P-Normal	kW	106.70	109.90	112.10	112.30	112.80	110.76
P-Mot	kW	73.50	75.70	77.20	77.30	77.60	76.26
P-Rueda	kW	54.40	57.70	59.40	59.80	59.80	58.22
P-Arrastre	kW	19.10	18.00	17.80	17.50	17.80	18.04
En	U/min	5855.00	5865.00	5845.00	5775.00	5780.00	5824
	km/h	150.20	150.60	150.20	148.60	148.90	
M-Normal	Nm	195.90	202.90	207.70	209.90	208.10	204.9
En	U/min	4790.00	4750.00	4085.00	4060.00	4760.00	4489
	km/h	122.80	122.00	105.00	104.40	122.70	
CONDICIONES							
T-ambiente	°C	18.10	18.60	18.90	19.30	19.70	18.92
T-aspiración	°C	10.80	10.70	10.80	11.00	11.20	10.9
H-aire	%	50.20	48.80	47.40	44.70	45.30	47.28
p-aire	hPa	718.40	718.40	718.40	718.40	718.40	718.4
p-vapor	hPa	10.40	10.50	10.40	10.00	10.40	10.34



**Figura 51.** Pantalla de variación de potencia para Gasolina 4.

#### 4.4 RESUMEN DE DATOS MÁXIMOS DE POTENCIA Y TORQUE PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS:

**Tabla 56.** Resumen de Potencia y Torque para los tipos de gasolinas.

PARÁMETRO	UNIDAD	GASOLINA			
		1	2	3	4
P-Normal	kW	102.48	110.56	110.56	110.76
P-Mot	kW	70.30	75.72	75.48	76.26
P-Rueda	kW	48.30	58.62	57.68	58.22
P-Arrastre	kW	22.00	17.10	17.78	18.04
En	U/min	5853.75	5784.00	5820.00	5824.00
	km/h	148.68	149.64	150.40	149.70
M-Normal	Nm	191.28	205.28	205.60	204.90
En	U/min	4726.25	4062.00	4020.00	4489.00
	km/h	119.98	105.10	103.86	115.38
<b>CONDICIONES</b>					
T-ambiente	°C	20.15	23.98	26.64	18.92
T-aspiración	°C	11.75	14.22	16.30	10.90
H-aire	%	46.35	32.08	23.60	47.28
p-aire	hPa	717.90	718.40	717.90	718.40

## 4.5 EMISIONES GASEOSAS USANDO DIESEL DE DIFERENTES CALIDADES

La tabla 57 resume las especificaciones de cada tipo de diesel utilizado en la parte experimental de este trabajo.

**Tabla 57.** Resumen de características de los diesel obtenidas en laboratorio.

PARÁMETROS PRINCIPALES	DIESEL		
	1	2	3
CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	3510.00	530.00	95.00
ÍNDICE DE CETANO, CALCULADO	50.60	50.40	50.10

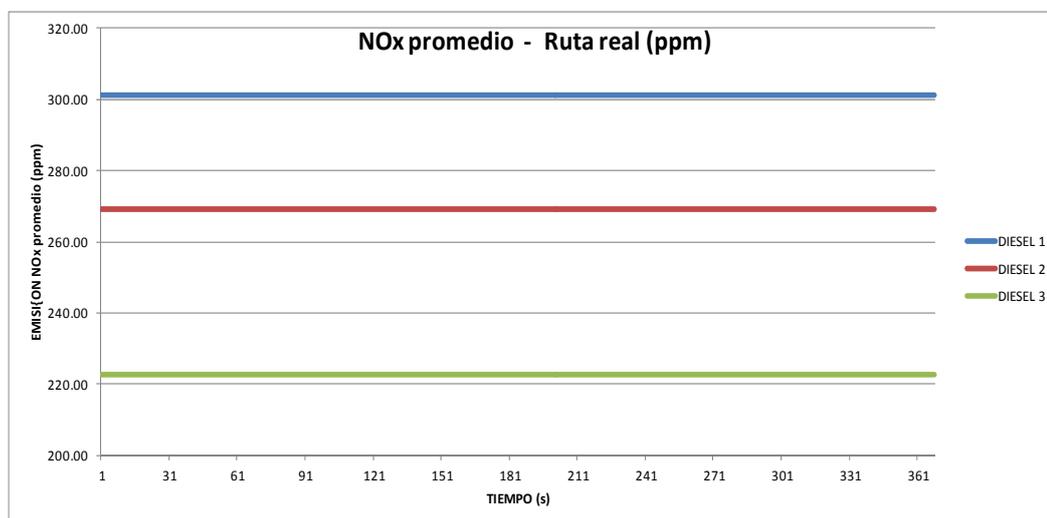
### 4.5.1 EMISIONES NO<sub>x</sub> (ppm)

RUTA REAL:

En las tablas 58 a 63 y en las figuras 52 a 57, podemos observar el detalle de los resultados obtenidos en cuanto a emisiones de contaminantes primarios para cada tipo de combustible en la ruta real, así como un resumen en la tabla 64, donde se presenta el promedio obtenido de todas las mediciones.

**Tabla 58.** Emisiones de NOx de los tipos de diesel en la Ruta Real.

DIESEL - EMISIÓN DE NOx (ppm)			
TIPO	1	2	3
Media	301.33	269.29	222.65
Moda	304.00	262.00	211.00
Intervalo de confianza	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	16.00	18.95	8.68
Error de estimación %	5%	5%	5%
Error de estimación	15.07	13.46	11.13
Tamaño de muestra	5	8	3
Número de datos	368	368	368

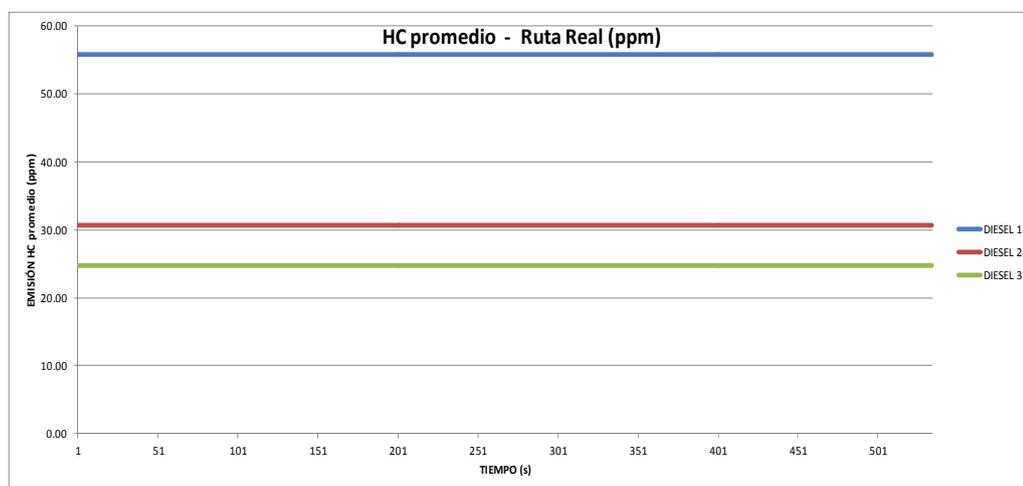
**Figura 52.** Representación gráfica de las emisiones de NOx de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real.

## 4.5.2 EMISIONES HC (ppm)

RUTA REAL:

**Tabla 59.** Emisiones de HC de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real.

DIESEL - EMISIÓN DE HC (ppm)			
TIPO	1	2	3
Media	55.70	30.63	24.70
Moda	59.00	30.00	24.00
Intervalo de confianza	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	4.62	1.93	2.43
Error de estimación %	5%	5%	5%
Error de estimación	2.78	1.53	1.24
Número de datos	534	534	534

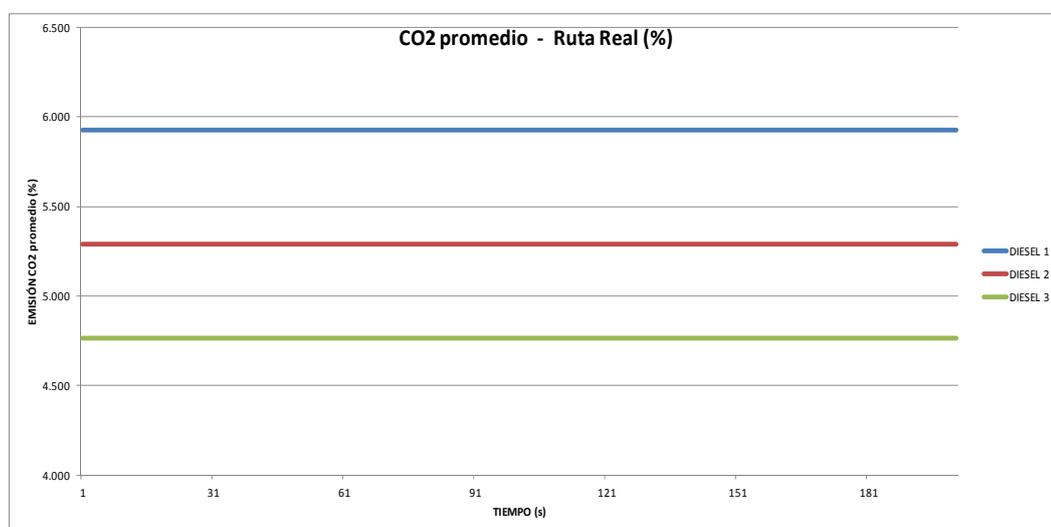
**Figura 53.** Representación gráfica de las emisiones de HC de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real.

### 4.5.3 EMISIONES CO<sub>2</sub> (%)

RUTA REAL:

**Tabla 60.** Emisiones de CO<sub>2</sub> de los tipos de diesel en la Ruta Real.

DIESEL - EMISIÓN DE CO <sub>2</sub> (%)			
TIPO	1	2	3
Media	5.93	5.29	4.76
Moda	6.00	5.45	4.98
Intervalo de confianza	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	0.21	0.16	0.16
Error de estimación %	5%	5%	5%
Error de estimación	0.30	0.26	0.24
Número de datos	201	201	201



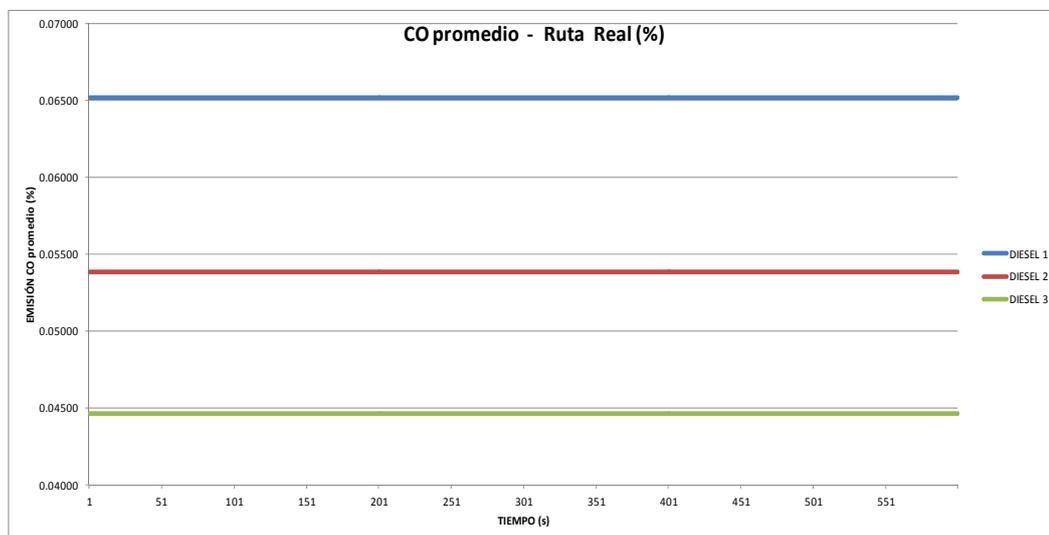
**Figura 54.** Representación gráfica de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real.

## 4.5.4 EMISIONES CO (%)

RUTA REAL:

**Tabla 61.** Emisiones de CO de los tipos de diesel en la Ruta Real.

DIESEL - EMISIÓN DE CO (%)			
TIPO	1	2	3
Media	0.07	0.05	0.04
Moda	0.07	0.05	0.04
Intervalo de confianza	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	0.00	0.00	0.00
Error de estimación %	5%	5%	5%
Error de estimación	0.00	0.00	0.00
Número de datos	600	600	600

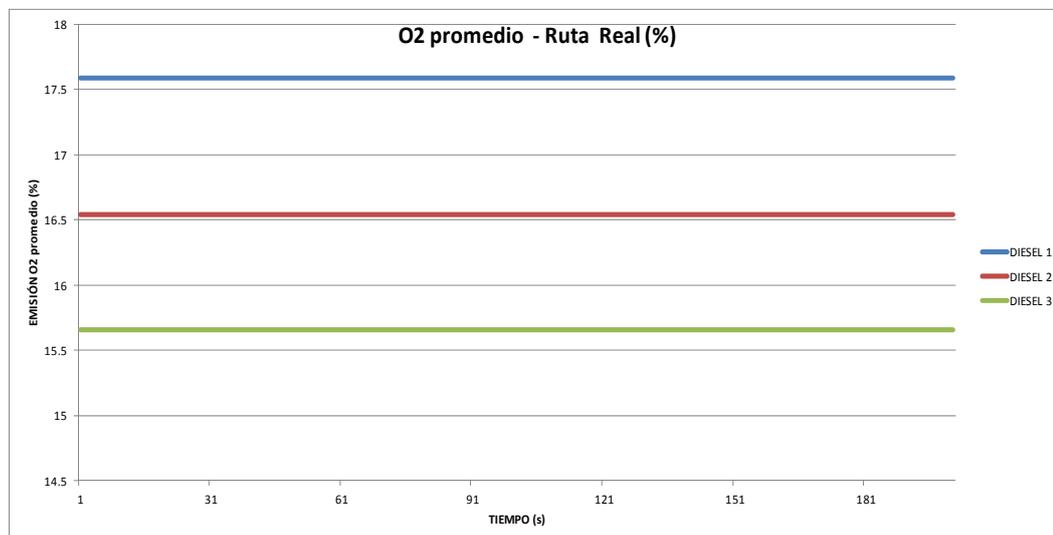
**Figura 55.** Representación gráfica de las emisiones de CO de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real.

4.5.5 EMISIONES O<sub>2</sub> (%)

RUTA REAL:

**Tabla 62.** Emisiones de O<sub>2</sub> de los tipos de diesel en la Ruta Real.

DIESEL - EMISIÓN DE O <sub>2</sub> (%)			
TIPO	1	2	3
Media	17.59	16.54	15.66
Moda	17.40	16.80	15.90
Intervalo de confianza	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	0.25	0.44	0.36
Error de estimación %	5%	5%	5%
Error de estimación	0.88	0.83	0.78
Número de datos	201	201	201

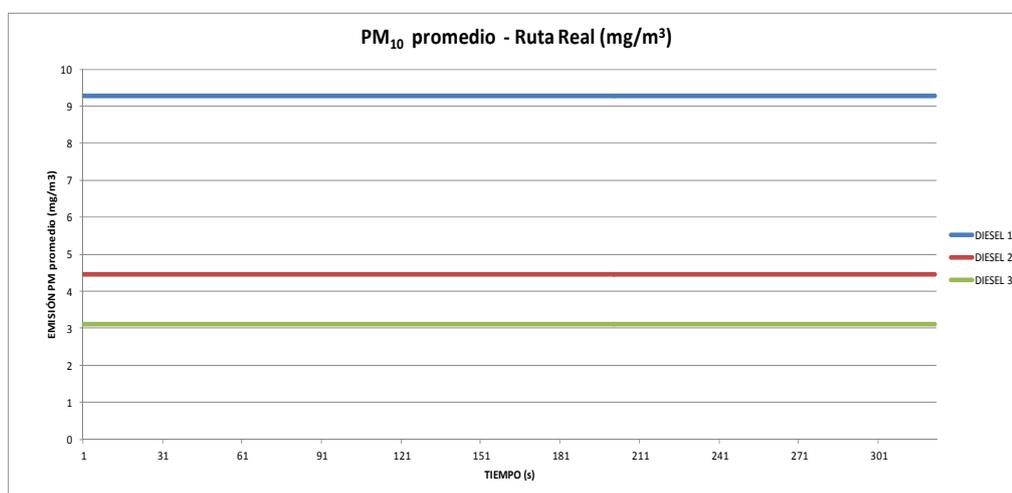
**Figura 56.** Representación gráfica de las emisiones de O<sub>2</sub> de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real.

4.5.6 EMISIONES PM<sub>10</sub> (mg/m<sup>3</sup>)

RUTA REAL:

**Tabla 63.** Emisiones de PM<sub>10</sub> de los tipos de diesel en la Ruta Real.

DIESEL - EMISIÓN DE PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )			
TIPO	1	2	3
Media	9292.42	4455.48	3125.29
Moda	8712.00	4493.00	3440.00
Intervalo de confianza	95%	95%	95%
Z	1.96	1.96	1.96
Desviación estándar	1113.93	657.30	471.51
Error de estimación %	5%	5%	5%
Error de estimación	464.62	222.77	156.26
Número de datos	322	322	322

**Figura 57.** Representación gráfica de las emisiones de PM<sub>10</sub> de los diferentes tipos de diesel en la Ruta Real.

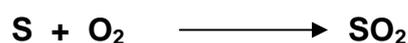
## 4.6 RESUMEN DE DATOS PROMEDIO DE EMISIONES PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE DIESEL

**Tabla 64.** Resumen de emisiones de los diesel en la Ruta Real.

RUTA REAL	DIESEL		
PARÁMETRO	1	2	3
NO <sub>x</sub> (ppm)	301.33	269.29	222.65
HC (ppm)	55.70	30.63	24.70
CO (%)	0.0655	0.0539	0.0446
CO <sub>2</sub> (%)	5.9257	5.2906	4.7624
O <sub>2</sub> (%)	17.587	16.541	15.661
PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	9.292	4.455	3.125

## 4.7 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE SO<sub>2</sub>

En el cálculo de las emisiones de SO<sub>2</sub> se asume que todo el contenido de azufre (S) en el combustible se transforma completamente en dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), según la reacción química siguiente:



Además, se asume que todo el combustible despachado es consumido finalmente por el cliente.

Sabiendo que el peso atómico del azufre es 32 y el del oxígeno 16, el peso final será entonces el doble que el del azufre, siendo la fórmula de cálculo la ecuación 5:

$$\text{Emisión SO}_{2,j} = 2 * (\text{CC}_j) * (\text{dC}_j) * (\text{S}_j) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Emisión  $SO_{2,j}$  = Emisiones de  $SO_2$  del combustible j (j= gasolina, diesel)

$CC_j$  = Consumo total del combustible j

$dC_j$  = Densidad del combustible j

$S_j$  = Contenido de azufre (por ciento fracción de masa) del combustible j

2 = Factor de conversión de masa de azufre a masa de  $SO_x$  (como  $SO_2$ )

de acuerdo a la reacción química.

### Ejemplo de cálculo para la Gasolina 1:

Datos:

$CC_{gas1}$ : Consumo de Gasolina Extra en Pichincha, año 2012 = 155 885 693 galones

$dC_{gas1}$ : Densidad de la Gasolina 1 = 0.7411 kg/l = 2.8054 kg/galón

$S_{gas1}$ : Contenido de azufre = 294.44 mg/kg (ppm)

Reemplazando los datos en la Ecuación 3:

Emisión  $SO_{2,gas1} = 2 * (155\ 885\ 693\ \text{galones}) * (2.8054\ \text{kg/galón}) * (294.44\ \text{mg/kg})$

Emisión  $SO_{2,gas1} = 257\ 527\ \text{t}$

La tabla 65 muestra el contenido de azufre de cada una de las gasolinas y la concentración de  $SO_2$  que este produce:

**Tabla 65.** Contenido de azufre y emisiones de  $SO_2$  de los diferentes diesel.

CONTENIDO DE:	GASOLINAS (mg/kg)			
	1	2	3	4
AZUFRE	300	380	420	450
$SO_2$	600	760	840	900

Para los cálculos, adicionalmente se requiere conocer la densidad del combustible, para este caso se utilizó la densidad promedio de enero a marzo del año 2013, tanto para la Gasolina Extra como para la Gasolina Super, datos que se presentan en la tabla 66.

**Tabla 66.** Densidades promedio de las gasolinas en el año 2013, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013).

<b>DENSIDADES PROMEDIO 2013</b>		
<b>PRODUCTO</b>	<b>kg/L</b>	<b>kg/galón</b>
GASOLINA EXTRA	0.7411	2.8054
GASOLINA SUPER	0.7446	2.8186

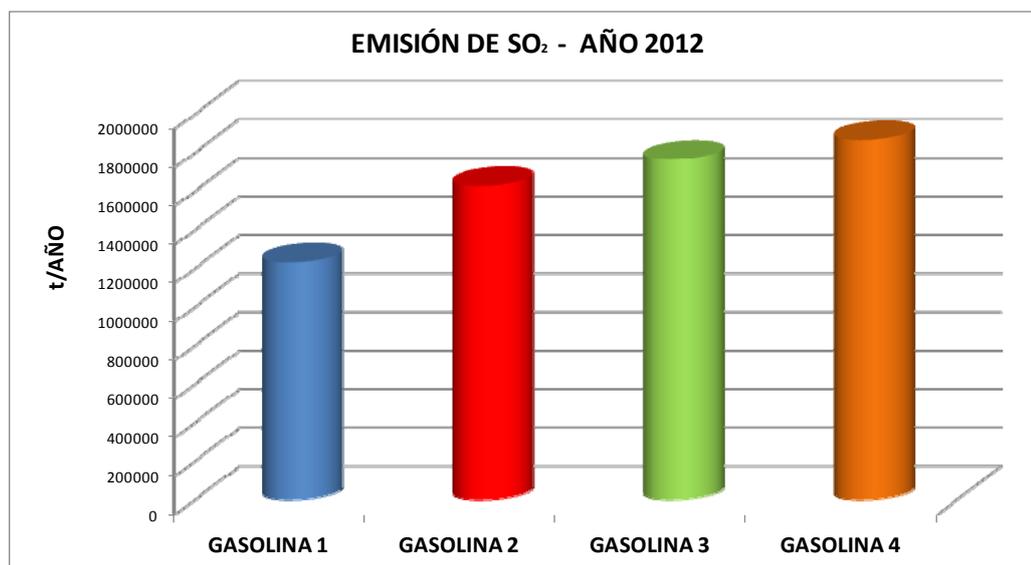
A continuación se muestran los resultados de las emisiones de SO<sub>2</sub>, calculadas a partir de los consumos de Gasolina Extra por provincia durante el año 2012 y el porcentaje de participación de cada provincia en las emisiones de este contaminante.

**Tabla 67.** Emisiones de SO<sub>2</sub> por provincia y tipo de gasolina durante 2012.

<b>AÑO 2012</b>					
PROVINCIA	EMISIÓN SO <sub>2</sub> (t) GASOLINA 1	EMISIÓN SO <sub>2</sub> (t) GASOLINA 2	EMISIÓN SO <sub>2</sub> (t) GASOLINA 3	EMISIÓN SO <sub>2</sub> (t) GASOLINA 4	% EMISIÓN SO <sub>2</sub> GASOLINA
AZUAY	85904	108811	120265	128856	6.8
BOLIVAR	11056	14005	15479	16584	0.9
CAÑAR	18053	22867	25274	27080	1.4
CARCHI	12708	16097	17792	19062	1.0
CHIMBORAZO	40510	51313	56715	60766	3.2
COTOPAXI	39857	50486	55800	59786	3.2
EL ORO	55984	70913	78378	83976	4.5
ESMERALDAS	32451	41104	45431	48676	2.6
GALAPAGOS	821	1040	1149	1231	0.1
GUAYAS	294093	372518	411730	441139	23.4
IMBABURA	37369	47334	52317	56053	3.0
LOJA	37967	48091	53154	56950	3.0
LOS RIOS	51989	65852	72784	77983	4.1
MANABI	92726	117453	129816	139089	7.4
MORONA SANTIAGO	9048	11461	12668	13573	0.7
NAPO	6673	8453	9342	10010	0.5
ORELLANA	11760	14896	16464	17640	0.9
PASTAZA	8134	10303	11388	12201	0.6
PICHINCHA	262390	332361	367346	393585	20.9
SANTA ELENA	22667	28712	31734	34001	1.8
STO. DGO. TSACHILAS	36915	46759	51681	55372	2.9
SUCUMBIOS	18912	23955	26476	28368	1.5
TUNGURAHUA	60184	76234	84258	90277	4.8
ZAMORA CHINCHIPE	6022	7628	8431	9033	0.5
<b>Total General</b>	<b>1254194</b>	<b>1588646</b>	<b>1755872</b>	<b>1881291</b>	<b>100.0</b>

En la tabla 67 podemos observar que a medida que incrementa el octanaje de la gasolina, incrementa el contenido de azufre de la misma. En consecuencia, las emisiones de SO<sub>2</sub> incrementan también. Esto se debe a que un mayor octanaje obliga al uso de una mayor cantidad de nafta tratada en la mezcla, la cual tiene el mayor contenido de azufre de todas las naftas de refinería.

La figura 58 muestra la variación de las emisiones de  $\text{SO}_2$  con el uso de los diferentes tipos de gasolinas, en se puede observar que el incremento de estas emisiones es directamente proporcional al contenido de azufre en el combustible.



**Figura 58.** Variación de la Emisión de  $\text{SO}_2$  por el tipo de gasolina.

Adicionalmente, se evidencia que las provincias de mayor consumo de gasolina generan las mayores emisiones de  $\text{SO}_2$ , siendo estas las provincias de Guayas y Pichincha.

En las figuras 59 y 60 se puede observar las emisiones de  $\text{SO}_2$  por provincia durante el año 2012.

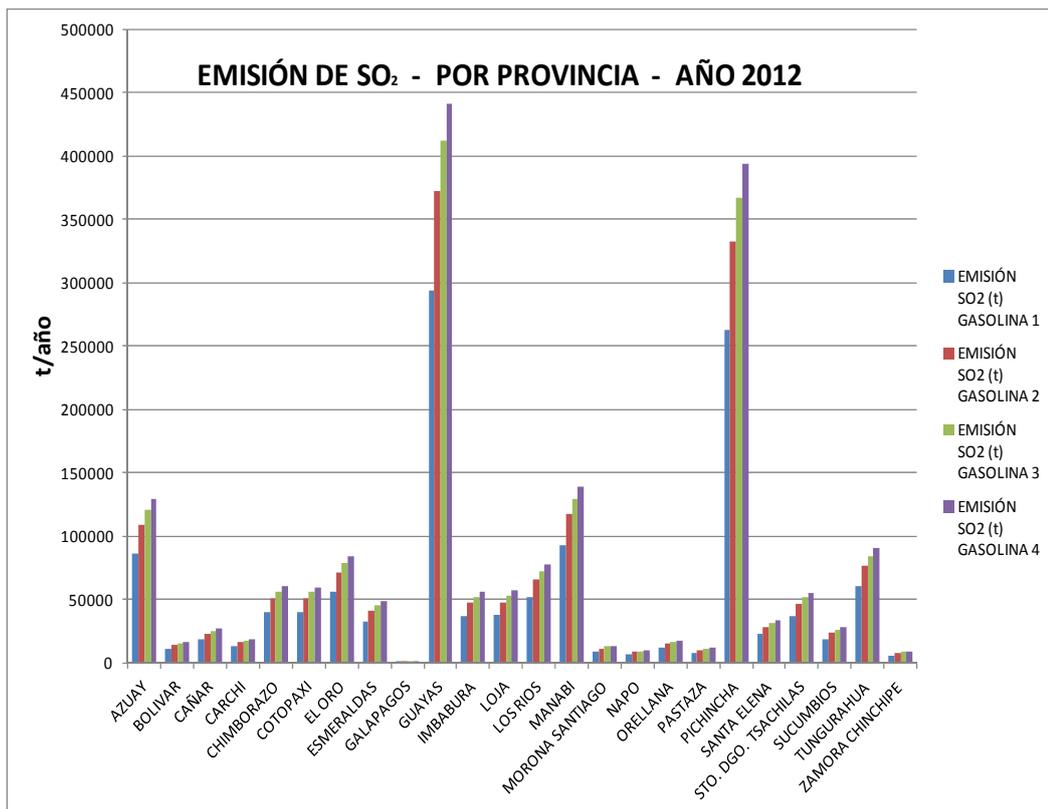


Figura 59. Emisiones de SO<sub>2</sub> por provincia y por tipo de gasolina.

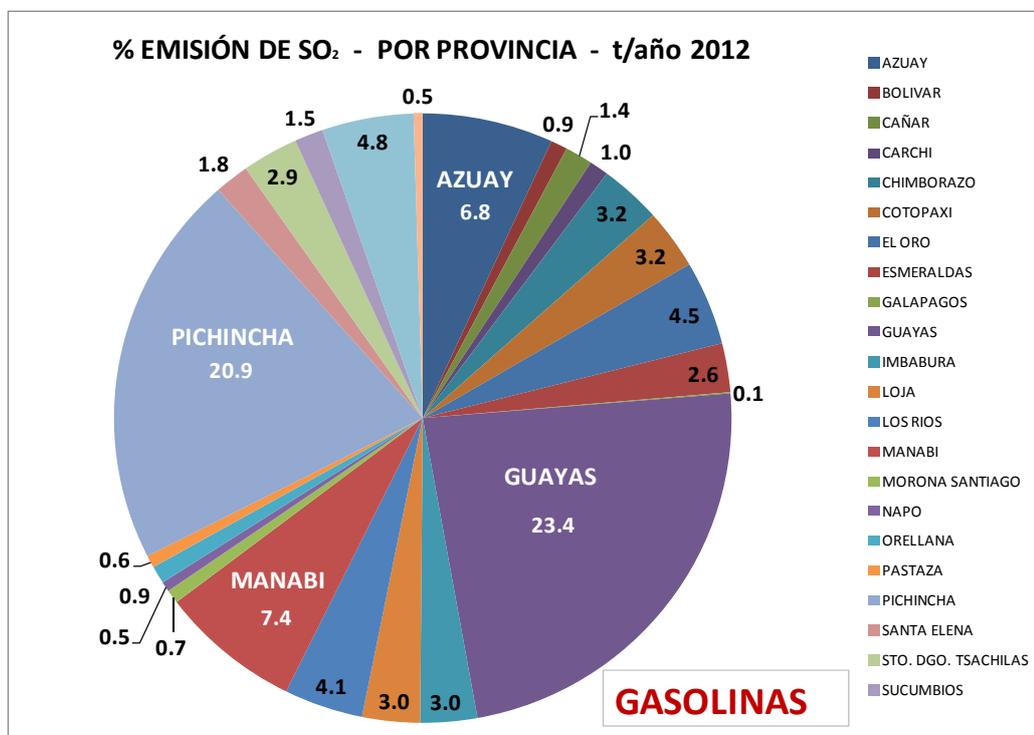


Figura 60. Porcentaje emisiones de SO<sub>2</sub> por provincia y por tipo de gasolina.

Para el caso del diesel, la tabla 68 muestra el contenido de azufre de cada uno de los tipos de diesel y la concentración de SO<sub>2</sub> que este produce:

**Tabla 68.** Contenido de azufre y emisiones de SO<sub>2</sub> por tipo de diesel.

CONTENIDO DE:	DIESEL (mg/kg)		
	1	2	3
Azufre (S)	3510.00	530.00	95.00
SO <sub>2</sub>	7020.00	1060.00	190.00

Para los cálculos, adicionalmente se requiere conocer la densidad del combustible, para este caso se utilizó la densidad promedio de enero a marzo del año 2013, tanto para el Diesel 2 como para el Diesel Premium, tabla 69.

**Tabla 69.** Densidades promedio de diesel en el año 2013, (Gerencia de Refinación de la EP Petroecuador, 2013).

DENSIDADES PROMEDIO 2013		
PRODUCTO	kg/L	kg/galón
DIESEL 2	0.8450	3.1987
DIESEL PREMIUM	0.8436	3.1934

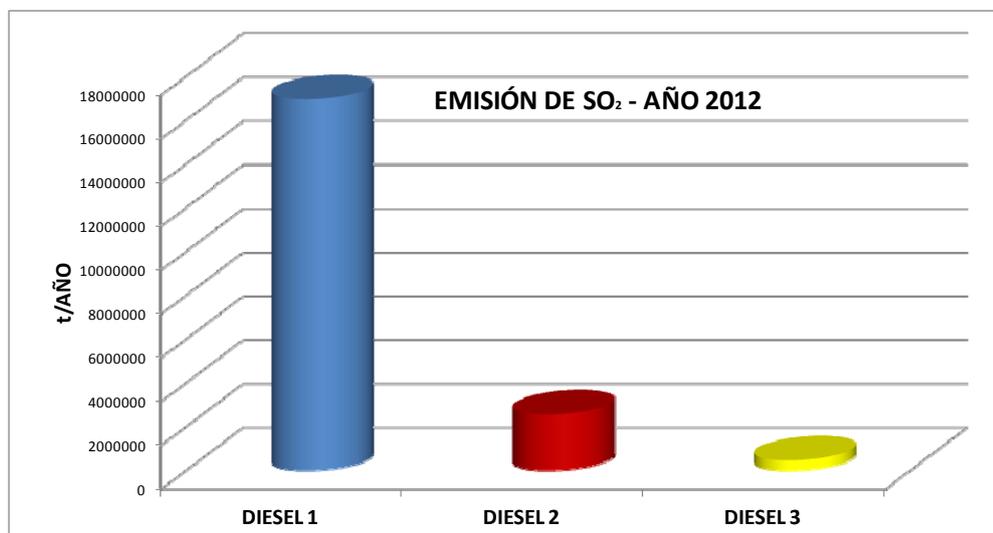
A continuación se muestra los resultados de las emisiones de SO<sub>2</sub>, calculadas a partir de los consumos de Diesel Premium por provincia durante el año 2012 y el porcentaje de participación de cada provincia en las emisiones de este contaminante.

**Tabla 70.** Emisiones SO<sub>2</sub> por provincia y tipo de diesel durante el año 2012.

<b>AÑO 2012</b>				
PROVINCIA	EMISIÓN SO <sub>2</sub> (t) DIESEL 1	EMISIÓN SO <sub>2</sub> (t) DIESEL 2	EMISIÓN SO <sub>2</sub> (t) DIESEL 3	% EMISIÓN SO <sub>2</sub> DIESEL
AZUAY	1014340	153162	27454	6.0
BOLIVAR	154257	23292	4175	0.9
CAÑAR	333321	50331	9022	2.0
CARCHI	157460	23776	4262	0.9
CHIMBORAZO	513701	77567	13904	3.0
COTOPAXI	561917	84848	15209	3.3
EL ORO	1155935	174543	31286	6.8
ESMERALDAS	454301	68598	12296	2.7
GALAPAGOS	134220	20267	3633	0.8
GUAYAS	3302050	498600	89372	19.5
IMBABURA	655100	98918	17731	3.9
LOJA	684649	103380	18530	4.0
LOS RIOS	963554	145494	26079	5.7
MANABI	1083429	163595	29324	6.4
MORONA SANTIAGO	152421	23015	4125	0.9
NAPO	193564	29228	5239	1.1
ORELLANA	211494	31935	5724	1.2
PASTAZA	135088	20398	3656	0.8
PICHINCHA	3071758	463827	83139	18.1
SANTA ELENA	274596	41463	7432	1.6
STO. DGO. TSACHILAS	659933	99648	17861	3.9
SUCUMBIOS	244870	36975	6628	1.4
TUNGURAHUA	664376	100319	17982	3.9
ZAMORA CHINCHIPE	171462	25890	4641	1.0
<b>Total General</b>	<b>16947798</b>	<b>2559069</b>	<b>458701</b>	<b>100</b>

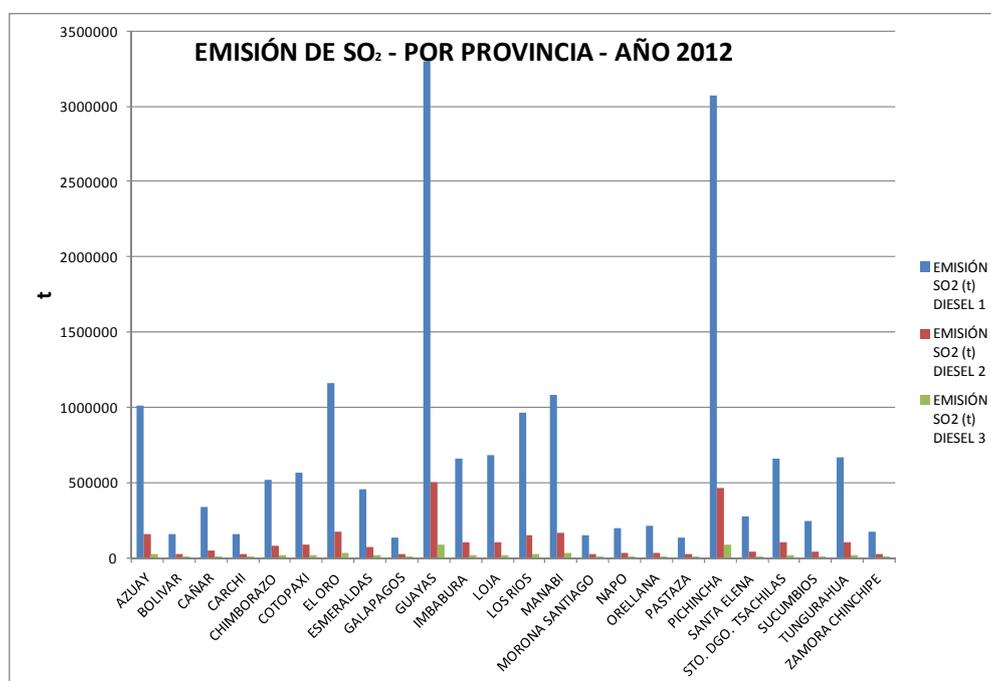
En la tabla 70 podemos observar que a medida que disminuye el contenido de azufre en el diesel, las emisiones de SO<sub>2</sub> disminuyen también.

La figura 61 muestra la variación total anual de las emisiones de SO<sub>2</sub> por tipo de diesel utilizado.

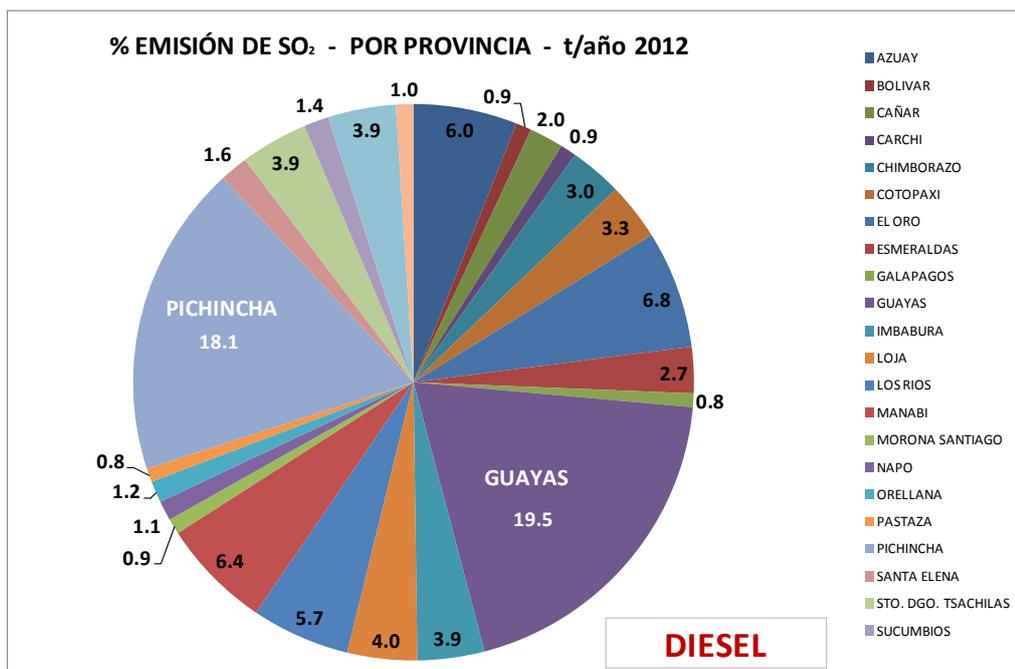


**Figura 61.** Variación de las emisiones de SO<sub>2</sub> por el tipo de diesel.

Adicionalmente, se evidencia que las provincias de mayor consumo de Diesel generan las mayores emisiones de SO<sub>2</sub>, siendo estas las provincias de Guayas y Pichincha, como se observa en las figuras 62 y 63.



**Figura 62.** Emisiones de SO<sub>2</sub> por provincia y por tipo de diesel.



**Figura 63.** Porcentaje de emisiones de SO<sub>2</sub> por provincia.

#### 4.8 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS CON LA NORMATIVA

La Norma NTE INEN 2204:2002, tabla 72, regula los límites máximos de las emisiones de monóxido de carbono CO e hidrocarburos HC permitidos para fuentes móviles con motor a gasolina, en la tabla siguiente se puede observar estos límites.

**Tabla 71.** NTE INEN 2204:2002. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o relantí (prueba estática).

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200

\* Volumen

\*\* Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm)

En el certificado de la Revisión Técnica Vehicular otorgado al vehículo utilizado en esta investigación se puede observar que las emisiones de hidrocarburos no combustionados (HC) fue de 32 ppm y de monóxido de carbono CO, 0.25%, valores que no sobrepasan la norma antes indicada, figura 64.

3073069

**REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

**Revisión Obligatoria**

No. Certificado: 03073069	Marea: HYUNDAI	<b>APROBADO</b>	PBF4244
No. Adhesivo: 00195469	Modelo: TUCSON 5P 4X2 2.0 TM	<b>RESULTADO</b>	<b>PLACA</b>
Fecha Revisión: 21-May-2013	Año: 2010	PRIMERA	31-Dic-2013
 ING. EDISON SALAZAR REG. PROF. 04-7-1241 <b>JEFE DE CENTRO</b>	No Chasis: KMHJM81BAAU160299	<b>CONVOCATORIA</b>	<b>VALIDO HASTA</b>
	Cooperativa:	No Defectos TIPO 3: 00	
	No EMMOP:	No Defectos TIPO 2: 00	
	CENTRO LIVIANOS LOS CHILLOS	No Defectos TIPO 1: 01	FECHA PRIMERA REVISION
	No Revisión: 020300494541-01		Kilometraje: 155,357.00 KM

CODIGO	DESCRIPCION DEL DEFECTO MECATRONICO	UNIDAD	VALOR(X)	RANGO NORMAL	GALIFICACION	UBICACION
10 03 01 01	RUIDO DE ESCAPE SUPERIOR AL LIMITE	dB	82.82	0 01<=X<=74.99	TIP 1	
<b>CODIGO DESCRIPCION DE PRUEBAS MECATRONICAS</b>						
03 09 01	ALINEACIÓN 1ER. EJE CONVERGENCIA	m/Km	0.90	-6.99<=X<=6.99	OK	00
05 01 03	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA DERECHA DEL 1° EJE	%	79.00	60.00<=X<=100.00	OK	18
05 01 03	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA IZQUIERDA DEL 1° EJE	%	79.00	60.00<=X<=100.00	OK	19
05 01 04	DESEQUILIBRIO DE SUSPENSIÓN EN 1° EJE	%	0.00	0.00<=X<=14.00	OK	
05 01 05	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA DERECHA DEL 2° EJE	%	82.00	60.00<=X<=100.00	OK	18
05 01 05	EFICACIA SUSPENSIÓN EN RUEDA IZQUIERDA DEL 2° EJE	%	82.00	60.00<=X<=100.00	OK	19
05 01 06	DESEQUILIBRIO DE SUSPENSIÓN EN 2° EJE	%	0.00	0.00<=X<=14.99	OK	
02 01 03	ALINEACIÓN HORIZONTAL FARO CONDUCTOR	%	1.00	-2.00<=X<=999.00	OK	09
02 01 03	ALINEACIÓN VERTICAL FARO CONDUCTOR	%	-0.30	-999.00<=X<=2.50	OK	09
02 01 02	INTENSIDAD FARO CONDUCTOR	Lux	27.00	0.01<=X<=135.00	OK	09
10 02 01	HIIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC) RALENTI	ppm	32.00	0.00<=X<=159.99	OK	
10 02 01	O2 EN BAJAS	***	1.00	0.13<=X<=999.99	OK	
10 02 01	LAMBDA EN BAJAS	%	0.25	0.00<=X<=0.60	OK	
10 02 01	MONOXIDO DE CARBONO (CO) RALENTI	ppm	720.00	0.01<=X<=1,200.00	OK	
10 02 04	RPM EN RALENTI	rpm	98.00	0.00<=X<=159.99	OK	
10 02 05	HIIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC) 2500 RPM	ppm	0.23	0.00<=X<=3.00	OK	
10 02 05	O2 EN ALTAS RPM	***	1.00	0.13<=X<=99.99	OK	
10 02 05	LAMBDA EN ALTAS	%	0.32	0.00<=X<=0.59	OK	
10 02 05	MONOXIDO DE CARBONO (CO) 2500 RPM	%	4.00	0.00<=X<=15.00	OK	00
04 07 02	DESEQUILIBRIO DE FRENADO EN 1° EJE	%	7.00	0.00<=X<=14.99	OK	01
04 07 03	DESEQUILIBRIO DE FRENADO EN 2° EJE	%	78.00	60.00<=X<=120.00	OK	
04 07 01	EFICACIA DE FRENADO	%	23.00	20.00<=X<=100.00	OK	
04 04 01	EFICACIA FRENO DE ESTACIONAMIENTO	%				

**Figura 64.** Certificado RTV

Debido a que esta norma está sujeta a las condiciones de prueba de marcha mínima o relantí (prueba estática), no se puede comparar los resultados obtenidos en esta investigación con la misma, ya que las condiciones a las que se realizaron las pruebas fueron diferentes.

Sin embargo, a pesar de que no se puede hacer una comparación directa, podemos decir que las emisiones de monóxido de carbono CO e hidrocarburos HC, tanto en la ruta real como en la IM240, usando los cuatro tipos de gasolina, no sobrepasa el 1% permitido en la normativa para automotores de modelo 2000 y posteriores, rango en el que se encuentra el vehículo utilizado.

Así mismo, en el caso de las emisiones de hidrocarburo HC, la normativa vigente tiene como límite máximo 200 ppm; en la pruebas realizadas con los cuatro tipos de gasolina, tanto en la Ruta Real como en la IM240, no se sobrepasa este límite.

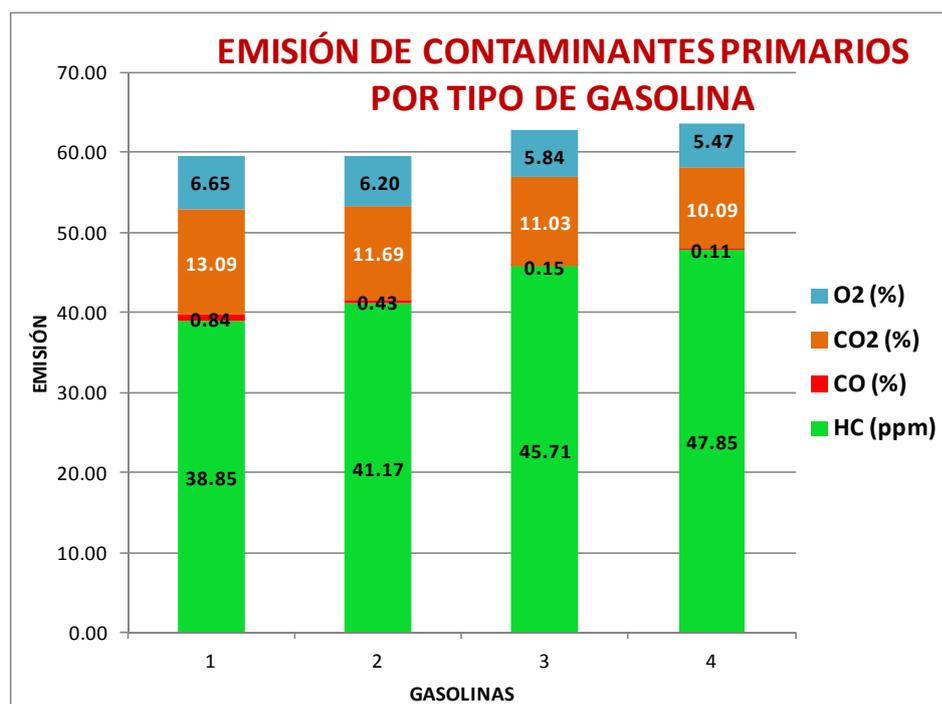
La tabla 72 detalla los resultados de las emisiones de CO y HC obtenidos durante las pruebas de esta investigación, en las condiciones de manejo en Ruta Real y Ruta IM240.

**Tabla 72.** Emisiones por tipo de gasolina.

PARÁMETRO	RUTA	GASOLINA			
		1	2	3	4
HC (ppm)	REAL	38.85	41.17	45.71	47.85
	IM240	37.47	40.61	42.45	46.15
CO (%)	REAL	0.84	0.43	0.15	0.11
	IM240	0.54	0.33	0.15	0.08

## 4.9 COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS

Con el mejoramiento de octanaje y contenido de azufre en las gasolinas se evidencia una disminución considerable en las emisiones de contaminantes primarios, en la figura 65 podemos observar esta tendencia.



**Figura 65.** Emisiones por tipo de gasolina.

## 4.10 VARIACIÓN DE EMISIONES (GASOLINA)

### 4.10.1 VARIACIÓN DE EMISIONES RESPECTO A LA GASOLINA TIPO 1, 2 Y 3

A continuación, en las tablas 73 a 75 se presentan los cálculos de la reducción de las emisiones comparando el uso de una gasolina con otra.

**Tabla 73.** Variación de contaminantes con relación a la Gasolina 1.

PORCENTAJE DE REDUCCIÓN/INCREMENTO					
EMISIONES		RUTAS	GASOLINAS		
			2	3	4
REDUCCIÓN	NO <sub>x</sub>	REAL	26	59	81
		IM240	29	64	84
INCREMENTO	HC	REAL	6	18	23
		IM240	8	13	23
REDUCCIÓN	CO	REAL	49	82	87
		IM240	39	73	86
REDUCCIÓN	CO <sub>2</sub>	REAL	11	16	23
		IM240	4	6	14

**Tabla 74.** Variación de contaminantes con relación a la Gasolina 2.

PORCENTAJE DE REDUCCIÓN/INCREMENTO				
EMISIONES		RUTAS	GASOLINAS	
			3	4
REDUCCIÓN	NO <sub>x</sub>	REAL	48	80
		IM240	9	70
INCREMENTO	HC	REAL	11	16
		IM240	5	14
REDUCCIÓN	CO	REAL	64	75
		IM240	47	72
REDUCCIÓN	CO <sub>2</sub>	REAL	4	14
		IM240	3	10

**Tabla 75.** Variación de contaminantes con relación a la Gasolina 3.

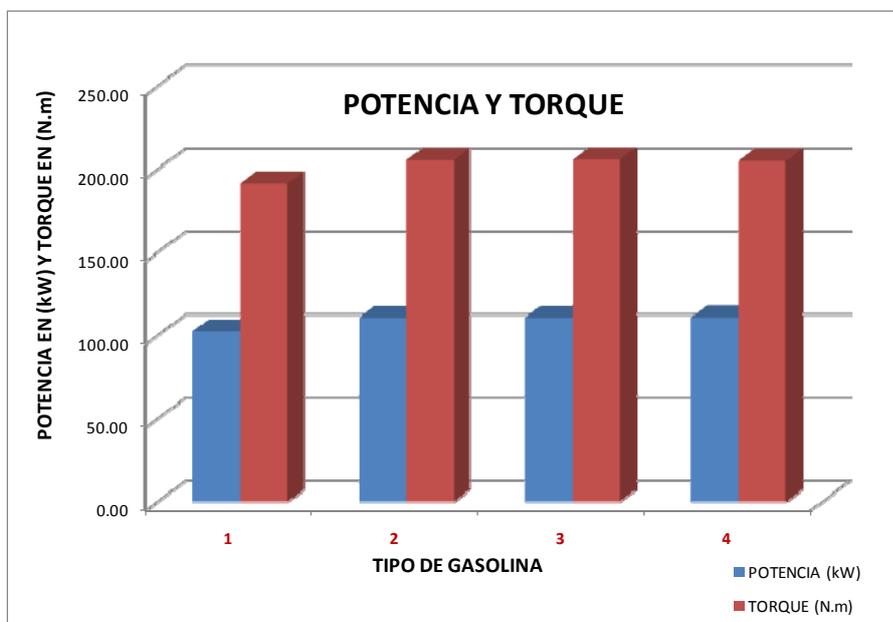
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN/INCREMENTO			
EMISIONES		RUTAS	GASOLINA
			4
REDUCCIÓN	NO <sub>x</sub>	REAL	62
		IM240	67
INCREMENTO	HC	REAL	5
		IM240	9
REDUCCIÓN	CO	REAL	32
		IM240	47
REDUCCIÓN	CO <sub>2</sub>	REAL	10
		IM240	7

## 4.11 COMPARACIÓN DE LA POTENCIA Y TORQUE DE LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS

En la tabla 76 se muestra los resultados de Potencia y Torque obtenidos con el uso de los diferentes tipos de gasolinas, además se presentan las condiciones a las cuales se midieron estas variables

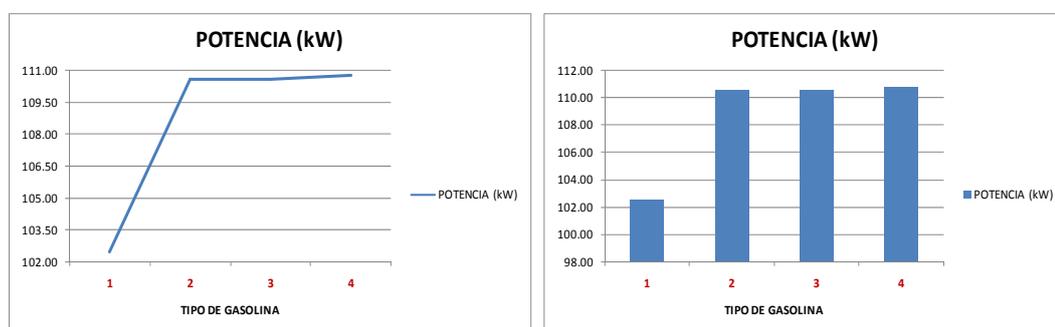
**Tabla 76.** Comparación de potencia y torque para cada tipo de gasolina.

PARÁMETRO	UNIDAD	GASOLINA			
		1	2	3	4
P-Normal	kW	102.48	110.56	110.56	110.76
P-Mot	kW	70.30	75.72	75.48	76.26
P-Rueda	kW	48.30	58.62	57.68	58.22
P-Arrastre	kW	22.00	17.10	17.78	18.04
En	U/min	5853.75	5784.00	5820.00	5824.00
	km/h	148.68	149.64	150.40	149.70
M-Normal	Nm	191.28	205.28	205.60	204.90
En	U/min	4726.25	4062.00	4020.00	4489.00
	km/h	119.98	105.10	103.86	115.38
<b>CONDICIONES</b>					
T-ambiente	°C	20.15	23.98	26.64	18.92
T-aspiración	°C	11.75	14.22	16.30	10.90
H-aire	%	46.35	32.08	23.60	47.28
p-aire	hPa	717.90	718.40	717.90	718.40

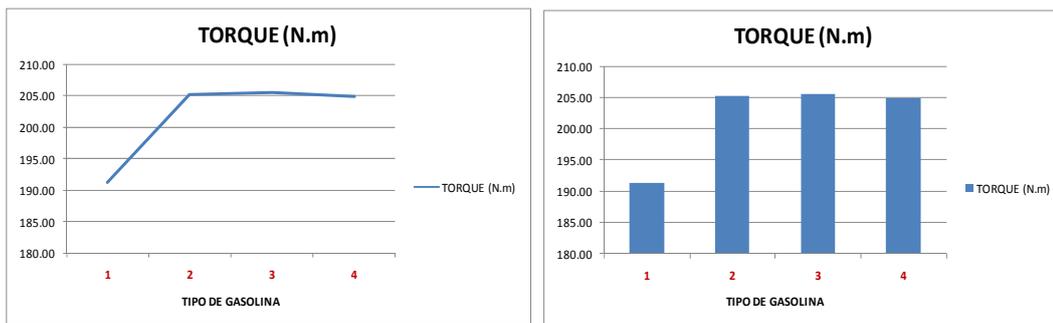


**Figura 66.** Resumen de Potencia y Torque para las gasolinas.

En las figuras 66, 67 y 68 se puede observar la variación de Potencia y Torque con la variación de la calidad de gasolina utilizada en el vehículo. Las figuras siguientes se evidencia que la Potencia y Torque incrementan significativamente con el cambio de Gasolina 1 por Gasolina 2, sin embargo, estas permanecen prácticamente constantes con el uso de las Gasolinas 2, 3 y 4.

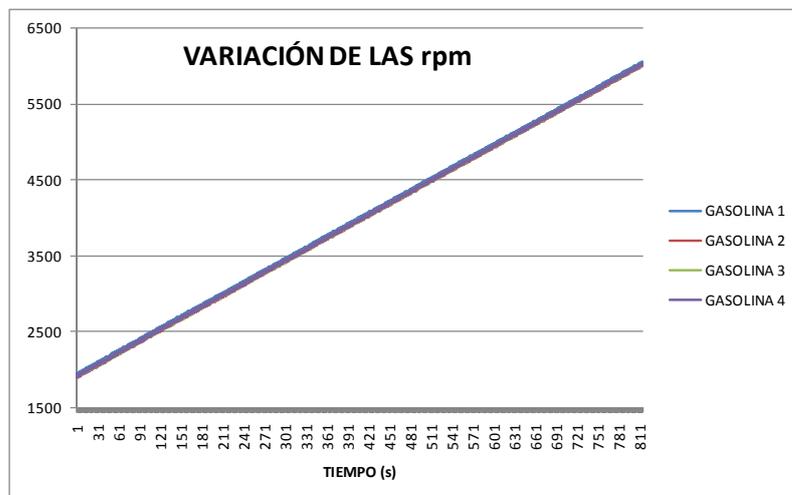


**Figura 67.** Potencia para los diferentes tipos de gasolina.



**Figura 68.** Torque para los diferentes tipos de gasolina.

En las figuras 69 a 73 se muestra la variación de potencia y torque en el tiempo para los diferentes tipos de combustible utilizado, incluyen variación de las revoluciones por minuto, potencia normal, de rueda y de arrastre, así como el torque normal.



**Figura 69.** Variación de las RPM para los diferentes tipos de gasolina.

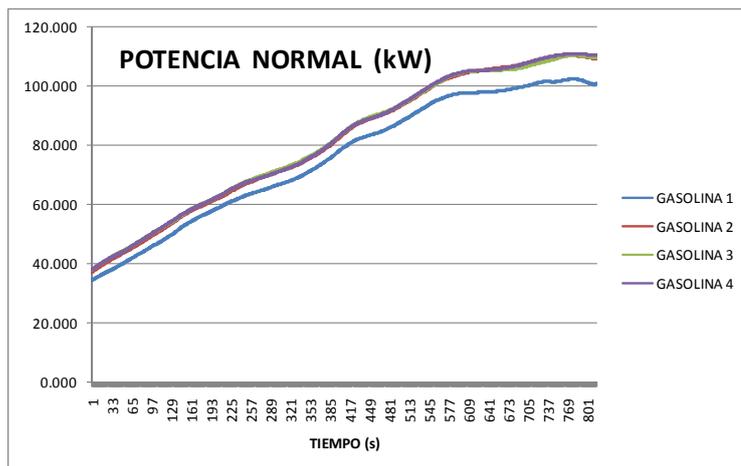


Figura 70. Potencia normal para los diferentes tipos de gasolina.

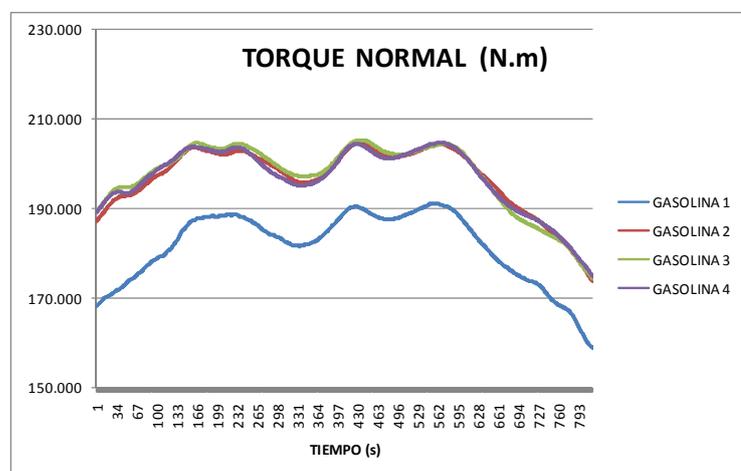


Figura 71. Torque normal para los diferentes tipos de gasolina.

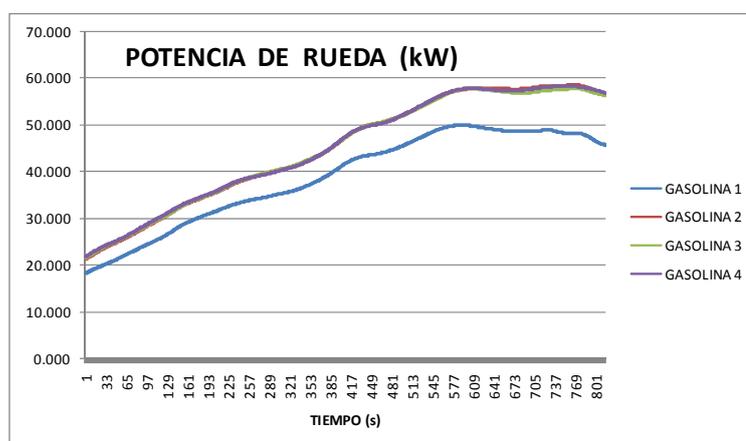
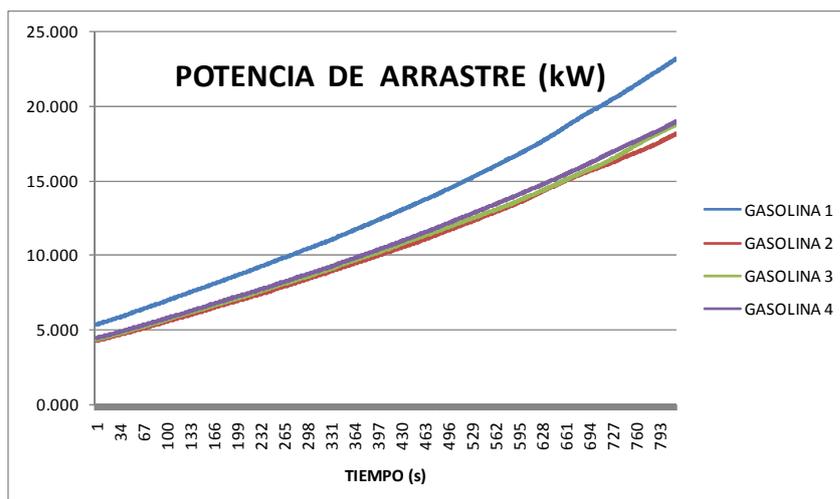


Figura 72. Potencia de rueda para los diferentes tipos de gasolina.



**Figura 73.** Potencia de arrastre para los diferentes tipos de gasolina.

#### 4.12 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DIESEL

La tabla 77 resume el contenido de azufre de cada tipo de diesel utilizado y la cantidad de dióxido de azufre emitido calculado.

La tabla 78 muestra las emisiones de los principales contaminantes emitidos a la atmósfera por cada tipo de diesel.

**Tabla 77.** Contenido de azufre y emisiones de SO<sub>2</sub> por tipo de diesel.

CONTENIDO DE:	DIESEL (mg/kg)		
	1	2	3
Azufre (S)	3510.00	530.00	95.00
SO <sub>2</sub>	7020.00	1060.00	190.00

**Tabla 78.** Resumen de las emisiones para los tipos de diesel.

RUTA REAL	DIESEL		
	1	2	3
PARÁMETRO			
NO <sub>x</sub> (ppm)	301.33	269.29	222.65
HC (ppm)	55.70	30.63	24.70
CO (%)	0.0655	0.0539	0.0446
CO <sub>2</sub> (%)	5.9257	5.2906	4.7624
O <sub>2</sub> (%)	17.587	16.541	15.661
PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	9.292	4.455	3.125

a) El efecto del azufre sobre las emisiones de NO<sub>x</sub>, HC y CO

Como se puede observar en la tabla 80, las emisiones de NO<sub>x</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> disminuyen al disminuir el contenido de azufre en el combustible.

**Tabla 79.** Contenido de azufre y emisiones para los tipos de diesel.

DIESEL		1	2	3
EMISIONES	NO <sub>x</sub> (ppm)	301.33	269.29	222.65
	HC (ppm)	55.70	30.63	24.70
	CO (%)	0.0655	0.0539	0.0446
CONTENIDO DE AZUFRE EN EL COMBUSTIBLE	Azufre (ppm)	3510.00	530.00	95.00

#### 4.13 CÁLCULO DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES (DIESEL)

##### 4.13.1 REDUCCIÓN EMISIONES RESPECTO AL DIESEL 1 Y 2

A continuación, en las tablas 80 y 81 se presentan los cálculos de la reducción de las emisiones comparando el uso de un tipo de diesel con otro.

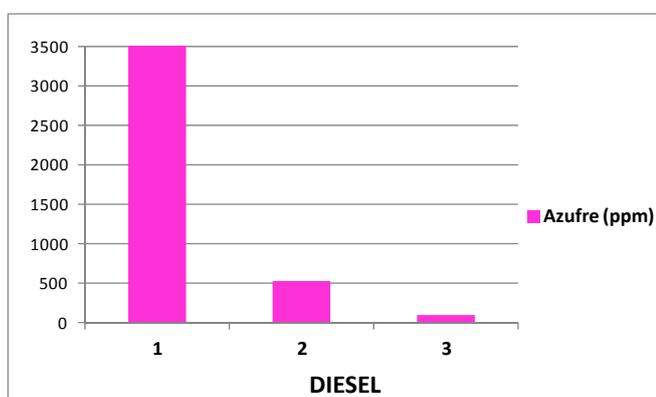
**Tabla 80.** Porcentaje reducción de contaminantes con respecto al Diesel 1.

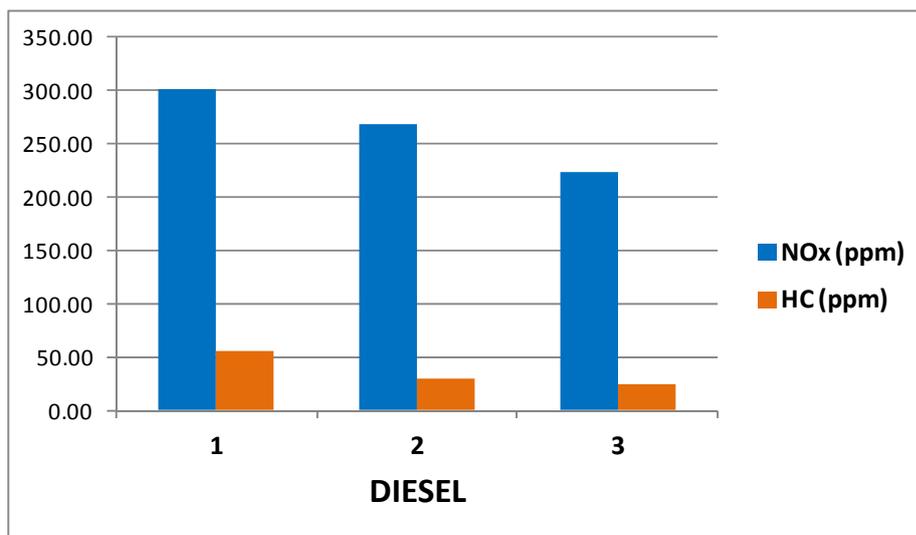
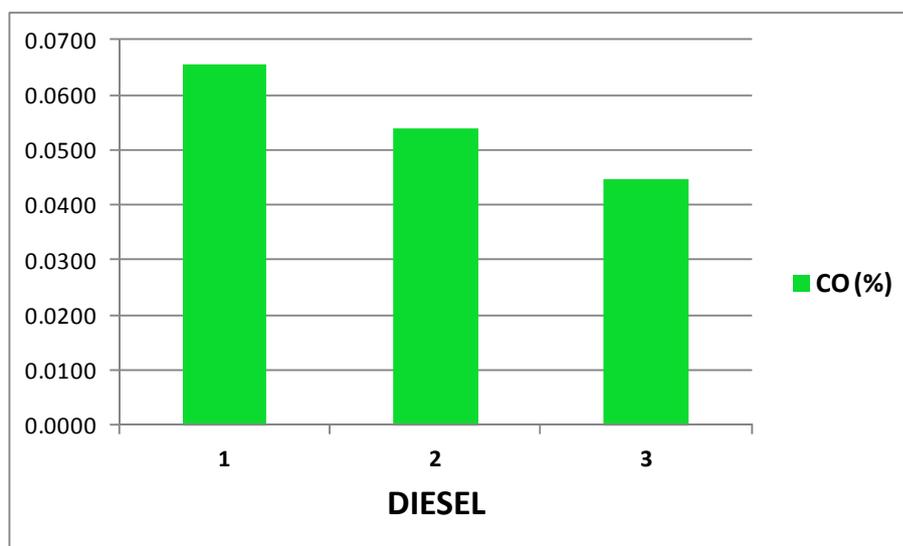
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN		
EMISIONES	DIESEL	
	2	3
NO <sub>x</sub>	11	26
HC	45	56
CO	18	32
CO <sub>2</sub>	11	20
O <sub>2</sub>	6	11
PM <sub>10</sub>	52	66

**Tabla 81.** Porcentaje reducción de contaminantes con respecto al Diesel 2.

PORCENTAJE DE REDUCCIÓN	
EMISIONES	DIESEL
	3
NO <sub>x</sub>	17
HC	19
CO	17
CO <sub>2</sub>	10
O <sub>2</sub>	5
PM <sub>10</sub>	30

En las figuras 74, 75 y 76 podemos observar la variación de las emisiones con el tipo de diesel utilizado, se evidencia que las emisiones disminuyen considerablemente con la reducción del contenido de azufre en el combustible.

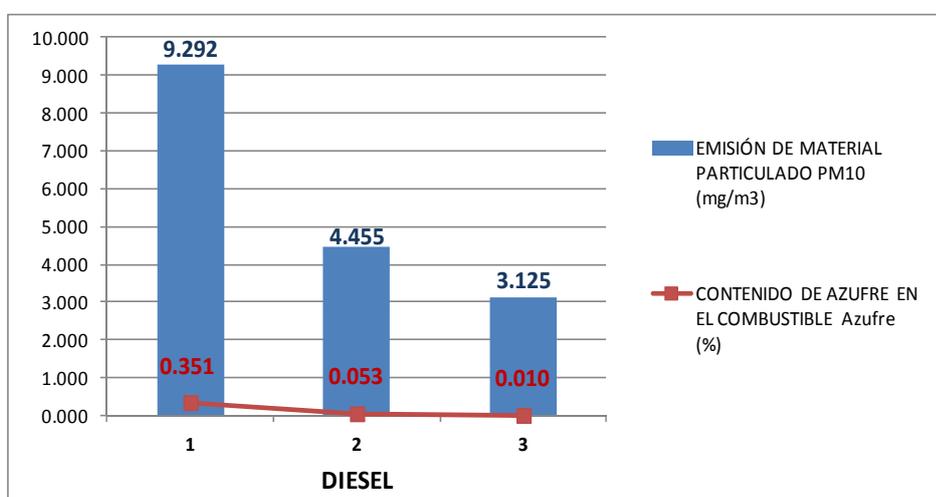


**Figura 74.** Contenido de azufre para los tipos de diesel.**Figura 75.** Contenido de NOx, HC para los tipos de diesel.**Figura 76.** Contenido de CO para los tipos de diesel.**b) El efecto del azufre sobre las emisiones de PM<sub>10</sub>**

El contenido de azufre en el combustible también contribuye significativamente a las emisiones de partículas (material particulado), mediante la formación de sulfatos y descarga de vapor. En la figura 77 y tabla 82 podemos observar esta tendencia.

**Tabla 82.** Emisiones de PM y contenido de azufre para los tipos de diesel.

<b>DIESEL</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO</b>	<b>PM<sub>10</sub> (mg/m<sup>3</sup>)</b>	9.292	4.455	3.125
<b>CONTENIDO DE AZUFRE EN EL COMBUSTIBLE</b>	<b>Azufre (%)</b>	0.351	0.053	0.010

**Figura 77.** Emisiones de PM y contenido de azufre para los tipos de diesel.

La contribución del azufre del diesel sobre el material particulado se debe a que el azufre se oxida durante la combustión para formar SO<sub>2</sub>, que es el compuesto primario del sulfuro emitido por el motor. Parte del SO<sub>2</sub> es oxidado para formar sulfato (SO<sub>4</sub>). El sulfato asociado con agua forma un núcleo de carbón de particulado.

## 4.14 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE COMBUSTIBLES

### 4.14.1 CASO GASOLINAS:

Para realizar los cálculos del costo del incremento de la calidad de combustibles, se consideraron varios casos utilizando combinaciones de los diferentes tipos de gasolinas preparadas, es así que se obtuvieron 5 casos de análisis en los cuales se comercializan dos tipos de gasolinas con octanajes de las combinaciones indicadas en la tabla 83.

**Tabla 83.** Casos de análisis con dos tipos de gasolina cada uno.

DENOMINACIÓN DEL CASO	OCTANAJE DE LA GASOLINA 1	OCTANAJE DE LA GASOLINA 2
CASO BASE	81	90
CASO 85-90	85	90
CASO 87-90	87	90
CASO 81-92	81	92
CASO 85-92	85	92
CASO 87-92	87	92

Se ha utilizado como Caso Base las gasolinas que se comercializan hasta el año 2011, Gasolina Extra de 81 octanos y Gasolina Super de 90 octanos.

Los datos de volumen se tomaron de los balances de productos de cada refinería del país, así como de los diferentes terminales, para el año 2011, incluyendo naftas de producción propia y nafta importada de alto octano.

En cuanto a costos, la nafta tratada de Refinería Esmeraldas es considerada con un precio de la nafta de alto octano importada por poseer un octanaje similar, las otras naftas que intervienen en las mezclas son de bajo octano, por tanto, en su costo así se las considera. Los costos de importaciones y exportaciones detallados en la tabla 84, son datos promedio del año 2011 y 2012, oficializados por la Coordinación de Planificación de EPPETROECUADOR.

**Tabla 84.** Precios reales de importación/exportación de gasolina 2011/2012, (Planificación de la EP Petroecuador, 2011-2012).

<b>PRECIOS REALES DE IMPORTACIÓN/EXPORTACIÓN DE PRODUCTOS</b>			
<b>CASO</b>	<b>PRODUCTOS</b>	<b>COSTO (USD/BLS)</b>	
		<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>IMPORTACIÓN</b>	<b>NAFTA DE ALTO OCTANO</b>	131.86	143.91
<b>EXPORTACIÓN</b>	<b>NAFTA DE BAJO OCTANO</b>	103.74	109.59

En las tablas 85 y 86 se detallan los volúmenes de naftas que intervinieron en el pool de mezcla para preparar los dos tipos de gasolinas para cada caso, así como el precio real de compra de nafta de alto octano y de venta de nafta de bajo octano, durante el año 2011 y 2012.

Adicionalmente se detalla la diferencia de los costos de cada uno de los casos comparado con el caso base.

**Tabla 85.** Diferencia de costos entre cada caso de estudio de gasolina con el caso base usando precios 2011.

<b>AÑO 2011</b>					
<b>CASO*</b>	<b>NAFTAS</b>	<b>VOLUMEN** (BLS)</b>	<b>COSTOS** (USD/BARRIL)</b>	<b>COSTO TOTAL (USD)</b>	<b>DIFERENCIA DE COSTO CON EL CASO BASE (USD/AÑO)</b>
<b>CASO BASE 81-90</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	7 311 547.63	103.74	758 499 951.03	<b>0.00</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	13 836 894.28	131.86	1 824 532 879.54	
	TOTAL	21 148 441.91	-	2 583 032 830.57	
<b>CASO 85-90</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	5 108 112.76	103.74	529 915 617.34	<b>61 960 588.62</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	16 040 329.15	131.86	2 115 077 801.85	
	TOTAL	21 148 441.91	-	2 644 993 419.19	
<b>CASO 87-90</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	4 092 344.91	103.74	424 539 860.67	<b>90 523 980.54</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	17 056 097.00	131.86	2 249 016 950.44	
	TOTAL	21 148 441.91	-	2 673 556 811.11	
<b>CASO 81-92</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	6 894 822.36	103.74	715 268 871.37	<b>11 718 314.63</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	14 253 619.55	131.86	1 879 482 273.83	
	TOTAL	21 148 441.91	-	2 594 751 145.20	
<b>CASO 85-92</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	4 691 387.48	103.74	486 684 537.68	<b>73 678 903.25</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	16 457 054.42	131.86	2 170 027 196.14	
	TOTAL	21 148 441.91	-	2 656 711 733.82	
<b>CASO 87-92</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	3 550 602.05	103.74	368 339 457.11	<b>105 757 789.56</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	17 597 839.85	131.86	2 320 451 163.02	
	TOTAL	21 148 441.91	-	2 688 790 620.13	

\*SE REFIERE AL OCTANO DE CADA TIPOS DE GASOLINA COMERCIALIZADA EN EL PAÍS.

\*\*DATOS DE PRODUCCIÓN Y PRECIOS DEL INFORME OFICIAL DE LA COORDINACIÓN DE PLANIFICACIÓN DE EPPETROECUADOR.

**Tabla 86.** Diferencia de costos entre cada caso de estudio de gasolina con el caso base usando precios 2012.

<b>AÑO 2012</b>					
<b>CASO*</b>	<b>NAFTAS</b>	<b>VOLUMEN** (BLS)</b>	<b>COSTOS** (USD/BARRIL)</b>	<b>COSTO TOTAL (USD)</b>	<b>DIFERENCIA DE COSTO CON EL CASO BASE (USD/AÑO)</b>
<b>CASO BASE 81-90</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	8 214 320.31	109.59	900 207 362.59	<b>0.00</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	15 545 365.69	143.91	2 237 133 576.88	
	TOTAL	23 759 686.00	-	3 137 340 939.47	
<b>CASO 85-90</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	5 738 822.54	109.59	628 917 562.39	<b>84 959 083.34</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	18 020 863.46	143.91	2 593 382 460.41	
	TOTAL	23 759 686.00	-	3 222 300 022.81	
<b>CASO 87-90</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	4 597 635.63	109.59	503 854 888.54	<b>124 124 618.21</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	19 162 050.37	143.91	2 757 610 669.14	
	TOTAL	23 759 686.00	-	3 261 465 557.68	
<b>CASO 81-92</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	7 746 141.06	109.59	848 899 598.96	<b>16 067 911.74</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	16 013 544.94	143.91	2 304 509 252.26	
	TOTAL	23 759 686.00	-	3 153 408 851.21	
<b>CASO 85-92</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	5 270 643.30	109.59	577 609 798.76	<b>101 026 995.08</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	18 489 042.71	143.91	2 660 758 135.79	
	TOTAL	23 759 686.00	-	3 238 367 934.55	
<b>CASO 87-92</b>	NAFTAS BAJO OCTANO	3 989 002.61	109.59	437 154 795.82	<b>145 012 903.47</b>
	NAFTAS ALTO OCTANO	19 770 683.39	143.91	2 845 199 047.12	
	TOTAL	23 759 686.00	-	3 282 353 842.94	

\*SE REFIERE AL OCTANO DE CADA TIPOS DE GASOLINA COMERCIALIZADA EN EL PAÍS.

\*\*DATOS DE PRODUCCIÓN Y PRECIOS DEL INFORME OFICIAL DE LA COORDINACIÓN DE PLANIFICACIÓN DE EPPETROECUADOR.

Los costos netos de importaciones de derivados de hidrocarburos aumentan a medida que se incrementan las especificaciones de octano, complicándose en los casos en que va aumentando el octanaje, pues no se pueden cumplir las especificaciones sin recurrir a la importación de etanol en caso de requerir una gasolina de 95 o más octanos.

De los resultados obtenidos podríamos decir que incrementar de 81 a 85 octanos la Gasolina Extra, tendría un costo adicional de 62 y 85 millones de dólares aproximadamente, así en el caso en que se requiera cambiar el octano de las dos gasolinas de 81 a 87 y de 90 a 92 octanos de tendría un costo adicional de 106 y 145 millones de dólares, usando precios reales de los años 2011 y 2012 respectivamente.

Todos los casos consideran datos reales de los años 2011 y 2012 respectivamente, incluyendo volúmenes reales de gasolinas preparadas y precios de las mismas, en caso de requerir este análisis para años posteriores, se deberá contar con el pronóstico de la demanda nacional de estos combustibles, lo que permitirá calcular a su vez la producción.

#### 4.14.2 CASO DIESEL:

Para realizar los cálculos del costo del incremento de la calidad de combustibles, se consideraron varios casos utilizando los diferentes tipos de diesel preparado, es así que se obtuvieron 3 casos de análisis que se muestran en la tabla 87.

**Tabla 87.** Casos de análisis con un tipo de diesel cada uno.

DENOMINACIÓN DEL CASO	CONTENIDO DE AZUFRE EN EL DIESEL (ppm)
CASO BASE	7 000
CASO 1	3 510
CASO 2	530
CASO 3	95

Se ha utilizado como Caso Base el Diesel para el sector automotriz con un contenido de azufre de hasta 7.000 ppm, comercializado en todo el país hasta marzo del año 2012, exceptuando las ciudades donde se comercializaba Diesel Premium para este fin.

Los datos de volumen de producción se tomaron de los balances de productos de cada refinería del país para el año 2011 y 2012, para el caso de las importaciones, se realizan los cálculos de interpolación para determinar el precio de un diesel de hasta 3.500 ppm y 100 ppm de contenido de azufre, utilizando como base los precios de compra de los diesel de hasta 7000 ppm y 500 ppm de contenido de azufre de las importaciones realizadas en el año 2011 y 2012, tabla 88, estos son datos promedio oficializados por la Coordinación de Planificación de EPPETROECUADOR.

**Tabla 88.** Precios reales de importación/exportación de diesel 2011/2012, (Planificación de la EP Petroecuador, 2011-2012).

<b>PRECIOS REALES DE IMPORTACIÓN DE PRODUCTOS</b>			
<b>CASO</b>	<b>PRODUCTOS</b>	<b>COSTO (USD/BLS)</b>	
		<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>IMPORTACIÓN</b>	<b>DIESEL</b>	130.23	135.45
<b>IMPORTACIÓN</b>	<b>DIESEL PREMIUM</b>	133.75	136.41

En la tabla 89 se detalla los volúmenes de diesel importado y producido para cubrir los despachos a los diferentes sectores, durante el año 2011 y 2012.

**Tabla 89.** Volúmenes de importación/exportación de diesel 2011/2012.

<b>PRODUCCIÓN E IMPORTACIÓN EN BARRILES/AÑO</b>		
<b>PRODUCTOS</b>	<b>2012</b>	<b>2011</b>
DIESEL 2	10334503	23651285
DIESEL PREMIUM	18709081	4146401
<b>TOTAL</b>	<b>29043585</b>	<b>27797686</b>

En condiciones normales, los despachos de Diesel Premium eran cubiertos en su totalidad con producción propia de la Refinería Esmeraldas, aunque esto significaba reducir la producción de Diesel 2, incrementando así la necesidad de importar este producto.

En el escenario actual, todo el despacho del Diesel 2 del sector automotriz pasó a ser parte del despacho de Diesel Premium, disminuyendo la necesidad de importar Diesel 2 y a su vez incrementado sustancialmente el requerimiento de Diesel Premium importado.

A continuación, en la tabla 90 y 91, se detalla la diferencia de los costos de cada uno de los casos comparado con el caso base usando precios 2011 y 2012.

Tabla 90. Diferencia de costos usando precios 2011.

CÁLCULOS CON PRECIOS 2011						
CASO*	DIESEL (ppm de S)	VOLUMEN REAL (BLS)	VOLUMEN RESTADO EL INCREMENTO DE LA DEMANDA (BLS)***	COSTOS** (USD/BARRIL)	COSTO TOTAL (USD)	DIFERENCIA COSTO C CASO B (USD/A
<b>CASO BASE (2011)</b>	DIESEL 2 (HASTA 7 000)	23 651 285	-	130.23	3 080 106 857	
	DIESEL PREMIUM (500)	4 146 401	-	133.75	554 581 118	-
<b>CASO 1</b>	DIESEL 2 (HASTA 7 000)	10 334 503	9 891 178	130.23	1 288 128 160	<b>19 337</b>
	DIESEL AUTOMOTRIZ (3 500)	18 709 081	17 906 508	132.13	2 365 897 316	
<b>CASO 2</b>	DIESEL 2 (HASTA 7 000)	10 334 503	9 891 178	130.23	1 288 128 160	<b>48 435</b>
	DIESEL AUTOMOTRIZ (500)	18 709 081	17 906 508	133.75	2 394 995 391	
<b>CASO 3</b>	DIESEL 2 (HASTA 7 000)	10 334 503	9 891 178	130.23	1 288 128 160	<b>52 303</b>
	DIESEL AUTOMOTRIZ (100)	18 709 081	17 906 508	133.97	2 398 863 196	

\*SE REFIERE AL CONTENIDO DE AZUFRE DE CADA TIPO DE DIESEL

\*\*EL COSTO DE DIFERENTES TIPOS DE DIESEL SE OBTUVIERON INTERPOLANDO LOS PRECIOS DE DIESEL DE HASTA 7000 ppm Y 500 ppm DE AZUFRE

\*\*\*PARA EFECTOS DE COMPARACIÓN CON EL AÑO 2011 NO SE DEBE TOMAR EN CUENTA EL INCREMENTO DE LA DEMANDA EN 4.29% RESPECTO AL 2011

Tabla 91. Diferencia de costos usando precios 2012.

CÁLCULOS CON PRECIOS 2012					
CASO*	DIESEL (ppm S)	VOLUMEN REAL (BLS)	VOLUMEN RESTADO EL INCREMENTO DE LA DEMANDA (BLS)***	COSTOS** (USD/BARRIL)	C
<b>CASO BASE (2011)</b>	DIESEL 2 (HASTA 7 000)	23 651 285	-	135.45	3 200 000 000
	DIESEL PREMIUM (500)	4 146 401	-	136.41	564 000 000
<b>CASO 1</b>	DIESEL 2 (HASTA 7 000)	10 334 503	9 891 178	135.45	1 399 000 000
	DIESEL AUTOMOTRIZ (3 500)	18 709 081	17 906 508	135.97	2 550 000 000
<b>CASO 2</b>	DIESEL 2 (HASTA 7 000)	10 334 503	9 891 178	135.45	1 399 000 000
	DIESEL AUTOMOTRIZ (500)	18 709 081	17 906 508	136.41	2 550 000 000
<b>CASO 3</b>	DIESEL 2 (HASTA 7 000)	10 334 503	9 891 178	135.45	1 399 000 000
	DIESEL AUTOMOTRIZ (100)	18 709 081	17 906 508	136.47	2 550 000 000

\*SE REFIERE AL CONTENIDO DE AZUFRE DE CADA TIPO DE DIESEL

\*\*EL COSTO DE DIFERENTES TIPOS DE DIESEL SE OBTUVIERON INTERPOLANDO LOS PRECIOS DE DIESEL DE HASTA 7000 ppm Y 500 ppm DE AZUFRE

\*\*\*PARA EFECTOS DE COMPARACIÓN CON EL AÑO 2011 NO SE DEBE TOMAR EN CUENTA EL INCREMENTO DE LA DEMANDA EN 4.29% RESPECTO AL 2011

Los costos netos de las importaciones aumentan a medida que se disminuye el contenido de azufre en el diesel requerido por el sector automotriz, complicándose en el caso de requerir un diesel con contenido de azufre inferior a los 100 ppm, no solo por el costo, sino porque se ha podido comprobar que un diesel de 10 ppm incrementa su contenido de azufre al ser almacenado, transportado y recibido a través de las mismas facilidades de refinerías, poliductos, terminales, etc., que se usan para productos con alto contenido de azufre.

De los resultados obtenidos podríamos decir que disminuir de 7000 a 3500 ppm de contenido de azufre en el diesel automotriz genera un costo adicional de 19 y 5 millones de dólares aproximadamente, en caso de disminuir el contenido de azufre a 500 ppm se tiene un costo de 48 y 13 millones de dólares aproximadamente y para el caso de disminuir a 100 ppm sería un costo de 52 y 14 millones de dólares aproximadamente, de acuerdo a los cálculos realizados para el año 2011 y 2012 respectivamente.

Todos los casos consideran datos reales del año 2011 y 2012, incluyendo volúmenes reales de diesel producido, comercializado e importado, así como los precios de los mismos, en caso de requerir este análisis para años posteriores, se deberá contar con el pronóstico de la demanda nacional de estos combustibles, lo que permitirá calcular a su vez la producción.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

##### 5.1.1 GASOLINAS

Se confirma la hipótesis planteada, al incrementar el octanaje en las gasolinas disminuyen las emisiones de contaminantes primarios, gracias al mejoramiento del rendimiento vehicular, es decir, al mejoramiento de la combustión.

En el caso de las emisiones de  $\text{NO}_x$  la reducción puede llegar hasta el 82% con el cambio en el uso de una gasolina de 81 octanos a una de 92, un 86% en las de CO y 18% en las de  $\text{CO}_2$ .

Sin embargo, al sobrepasar el valor de octanaje de 85-87 octanos no se puede apreciar un incremento significativo en la potencia del vehículo, lo que significa que a la altura de Quito, a pesar de incrementar el octanaje del combustible no se logra incrementar su rendimiento.

Las emisiones de HC incrementan hasta un 23% debido a que el oxígeno se convierte en el limitante en la reacción, quedando una cantidad de gasolina no combustionada.

La potencia de un vehículo liviano a gasolina incrementa con el aumento del octanaje hasta alcanzar un valor máximo, limitado por la cantidad de oxígeno presente capaz de oxidar el combustible utilizado.

Como se aprecia en los resultados, en la ciudad de Quito, un incremento del octanaje a más de 85-87 octanos no agrega beneficio significativo en la potencia del vehículo, sino tan solo un costo adicional, pudiendo generar una mayor contaminación al medio ambiente debido a que compuestos aromáticos son parte de la mezcla para obtener gasolinas con un nivel de octanaje mayor, cualquier exceso de octanaje aumenta innecesariamente la cantidad de compuestos aromáticos (entre ellos el benceno) presentes en los gases evacuados del cilindro, los cuales salen al exterior por el escape, aumentando la contaminación del aire.

Sabiendo que, las emisiones de  $\text{SO}_2$  están directamente relacionadas con el contenido de azufre en el combustible y por lo tanto con el consumo del mismo, las emisiones de este contaminante incrementan con el mejoramiento del octanaje, debido a la necesidad de usar nafta con mayor contenido de azufre, la cual tiene alto RON. Es así que la Gasolina 2 presenta un incremento en las emisiones de  $\text{SO}_2$  del 32% respecto a la Gasolina 1, las Gasolinas 3 y 4 presentan un incremento del 43% y 52% respectivamente.

Las provincias de Pichincha y Guayas presentan las mayores emisiones de  $\text{SO}_2$  debido a que son las mayores consumidoras de gasolina en el país.

### 5.1.2 DIESEL

Las emisiones de contaminantes primarios emitidos por un vehículo pesado a diesel, disminuyen con la disminución del contenido de azufre del combustible.

En el caso de las emisiones de  $\text{NO}_x$  la reducción puede llegar hasta el 26% con el cambio en el uso de un diesel de 3500 ppm de azufre a uno de 100, un 56% en las emisiones de HC, 32% en las de CO y 20% en las de  $\text{CO}_2$ .

En el caso de las emisiones de material particulado  $\text{PM}_{10}$ , se obtiene una reducción del 52% con el cambio en el uso de un diesel de 3500 ppm de azufre a uno de 500 ppm; y una reducción del 66% con el cambio de un diesel de 3500 ppm de azufre a uno de 100 ppm.

Las emisiones de  $\text{SO}_2$ , disminuyen considerablemente debido al mejoramiento de diesel en esta investigación, pues como se sabe, estas emisiones están directamente relacionadas con el contenido de azufre y el consumo de combustible, así mismo, las provincias de Guayas y Pichincha presentan el mayor porcentaje de emisiones de  $\text{SO}_2$  por presentar el mayor despacho de este combustible.

El Diesel 2 y 3 presenta una disminución del 86% y 97% en las emisiones de SO<sub>2</sub> respecto al Diesel 1, esto se debe a la gran diferencia en el contenido de azufre existente entre el Diesel 1 respecto al 2 y 3.

### 5.1.3 COSTO

En cuestión de las gasolinas, el caso más costoso es el caso 87-92, debido a que las Gasolinas Extra y Super incrementan el valor del octanaje al valor máximo planteado en esta investigación.

En cuestión del diesel, la diferencia de costos usando precios 2011 y 2012 se debe a que en el año 2011 la brecha entre el precio de un diesel de alto contenido de azufre con uno de bajo contenido de azufre es tres veces mayor a esta brecha en el año 2012.

Sin embargo, en los dos casos, con precios 2011 y 2012, mejorar el contenido del azufre en el diesel desde el caso 1 hasta el caso 2 representa un incremento en el costo del 150% aproximadamente respecto al costo del caso 1. Incrementar la calidad del diesel llevándolo hasta la calidad del caso 3 desde el caso 2, representa un incremento en el costo del 8% aproximadamente con respecto al costo del caso 2.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio similar usando los vehículos con las características más representativas en el parque automotor de la ciudad de Quito, a fin de verificar el límite de mejoramiento en el rendimiento con el incremento de octanaje.

En el caso del diesel, al disminuir de 500 a 100 ppm su contenido de azufre, no se observa un incremento significativo en los costos, sin embargo, se debe pensar inicialmente que las instalaciones que manejan este producto también manejan otros con un contenido de azufre mucho mayor, lo que seguramente daría como resultado la alteración del contenido de azufre inicial, por este motivo, mientras se utilicen las mismas instalaciones para productos con un contenido de azufre alto, se recomienda conservar la calidad de diesel con 500 ppm de contenido de azufre.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP). (Octubre de 2012). Economía de Refinación. Montevideo.
- American Society for Testing and Materials. (1999). Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel. *ASTM D-2699*. Conshohocken.
- American Society for Testing and Materials. (2010). Standard Test Method for sulfur in Petroleum and Petroleum Products by energy dispersive X-ray fluorescence Spectrometry. *ASTM D-4294*. Conshohocken.
- American Society for Testing and Materials. (2011). Standard Test Method for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels. *ASTM D-976*. Conshohocken.
- American Society for Testing and Materials. (2011). Standard Test Method for Determination of Individual Components in Spark Ignition Engine Fuels by 100–Metre Capillary (with Precolumn) High-Resolution Gas Chromatography. *ASTM D-6730*. Conshohocken.

- Asamblea Constituyente. (2013). Constitución del Ecuador. Quito: Asamblea Constituyente.
- Cerutti, A. (2001). *La Refinación del Petróleo* (Vol. 1). Buenos Aires: Instituto Argentino del Petróleo y del Gas.
- Gerencia de Comercialización de EP Petroecuador. (2011-2012). *Informe de Cumplimiento de la Demanda Nacional*. Quito: EP Petroecuador.
- Gerencia de Refinación de EP Petroecuador. (2011). Información técnica de refinerías. Quito, Pichincha: EP Petroecuador.
- Institute for global environmental strategies IGES. (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. (S. K. (Austria), Ed.) Hayama: Institute for global environmental strategies IGES.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 935:2010, Séptima Revisión. *NTE INEN 935:2010, Primera edición*, 6. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1489:2011, Quinta revisión. *NTE INEN 1489:2011, Primera edición*, 4. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 935:2012, Octava Revisión. *NTE INEN 935:2012, Primera edición*, 6. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- López, J. (2003). *Principios Básicos de la Contaminación Ambiental*. (D. d. Sociedad, Ed.) Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Municipio de Cuenca - Secretaría de Movilidad. (2012). *Cuenca Alcaldía*. (M. d.-S. Movilidad, Editor) Obtenido de <http://www.cuenca.gov.ec/?q=node/593>
- Municipio de Quito - Secretaría de Movilidad. (2012). *Secretaría de Movilidad*. (S. d. Movilidad, Editor) Recuperado el 2012, de <http://www.quito.gob.ec/el-municipio/secretarias/secretaria-de-movilidad.html>
- Ortuño, A. V. (1994). *Introducción a la Química Industrial*. Barcelona: Reverté.
- Planificación de EP Petroecuador. (2011 - 2012). *Informe Gerencial de EP Petroecuador*. Quito: EP Petroecuador.
- Secretaría de Ambiente. (2011). *Informe Anual de la Calidad del Aire*. Quito: Municipio de Quito - Secretaría de Ambiente.
- Secretaría de Ambiente. (2012). Manual de usuario de equipos. Quito.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2007). *Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares en Ciudades Mexicanas*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- US Environmental Protection Agency. (1991). IM240 Transient I/M Dynamometer Driving Schedule and the Composite I/M Test Procedure. *EPA -AA-TSS-91-1, NTIS No. PB92-104405*. Washington, D.C.
- Wauquier, J. (2004). *El Refino del Petróleo*. Madrid: Diaz de Santos.
- Wikipedia, Enciclopedia libre. (2012). *Control de Emisiones Vehiculares*. Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Control\\_de\\_emisiones\\_vehiculares](http://es.wikipedia.org/wiki/Control_de_emisiones_vehiculares)