

EVALUACIÓN Y MODELAMIENTO DE LAS PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN EN
DISTRIBUCIÓN DE LA MEZCLA
GASOLINA - ETANOL ANHIDRO AL 10% V/V

CAROLINA ACERO LAGUADO
SANDRA MARITZA ROJAS BOHÓRQUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2004

EVALUACIÓN Y MODELAMIENTO DE LAS PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN EN
DISTRIBUCIÓN DE LA MEZCLA
GASOLINA - ETANOL ANHIDRO AL 10% V/V

CAROLINA ACERO LAGUADO
SANDRA MARITZA ROJAS BOHÓRQUEZ

Tesis de Grado

Director
Mg. Crisóstomo Barajas Ferreira
Co-Director
Ing. Jaime Augusto Torres Novoa

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO - QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA
2004

Dedicado a mi Familia
Rafael, Amparo, Juan Y Manuel,
POR Y PARA USTEDES.

CARITO

Dedicado:

A mi mamita:

Por su infinito amor,
apoyo y comprensión que me brindó,
en los buenos y malos momentos,
a pesar de las dificultades.

A mi papito, Nana y Ninis:

por tener un espacio para mí,
en su corazón.

A Eduardo:

Por dar siempre
las mejores respuestas
a mis preguntas.

MARIS.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, quien hizo todo posible.

Agradecemos entidades, personas, familiares y amigos que hicieron posible la realización del presente proyecto:

Al Ingeniero Jaime Augusto Torres por orientación, formación y dedicación. A Crisóstomo Barajas Ferreira M.Sc por su dirección del proyecto.

José Luis Sarmiento y Francisco Cala por su valiosa colaboración. Enrique Torres por su apoyo incondicional.

Al área Directiva y Técnica del Laboratorio de Crudos y Plantas Piloto del Instituto Colombiano del Petróleo.

Alejandro Niño y Jhon Fernando Suárez muchas gracias.

De Caro a: Mita, Fuan, Mo, Tiqui y Sandris M.

De Maritza a: Mi mami, Ewuario, Karola, Bibis, Pochito, Mario Martínez y al Profe Rafael Isaacs.

Por su compañía, dedicación, apoyo y comprensión, muchas gracias.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	3
1. MARCO TEÓRICO	6
1.1 MEZCLA GASOLINA – ETANOL	6
1.1.1 Biocombustibles	7
1.1.2 Reformulación de gasolinas en Colombia	8
1.1.3 Reglamentación para combustibles oxigenados	11
1.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MEZCLA ETANOL-GASOLINA	16
1.2.1 Volatilidad	16
1.3 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV's)	21
1.3.1 Mecanismos de reacción	24
1.3.2 Reactividad atmosférica	27

1.4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES EVAPORATIVAS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	31
1.4.1 Causas de emisión en tanques de almacenamiento	32
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	36
2.1 DESARROLLO PRUEBAS EXPERIMENTALES	36
2.1.1 Descripción del Equipo Debutanizador o Despojador	37
2.1.2 Pruebas preliminares	38
2.1.3 Diseño experimental	39
2.1.4 Muestreo en Carrotanque	44
3. RESULTADOS EXPERIMENTALES	47
3.1 PRUEBA DE DEBUTANIZACIÓN	47
3.1.1 Gasolina Regular GCB	47
3.1.2 Determinación de las Curvas de COV's vs. Pérdida de R.V.P	56
3.1.3 Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	57
3.1.4 Gasolina Extra GCB	67
3.1.5 Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	70
3.1.6 Gasolina Regular GRC	79

3.1.7 Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	82
3.1.8 Gasolina Extra GRC	91
3.1.9 Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	94
3.2 PERFILES DE TEMPERATURA	103
3.2.1 Recorridos en Bucaramanga y zona metropolitana	104
3.2.2 Recorridos en carretera	111
3.2.3 Balance de calor	115
3.3 PROYECCIONES PARA LAS GASOLINAS OXIGENADAS	120
CONCLUSIONES	122
RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFÍA	126
ANEXO A	129
ANEXO B	153
ANEXO C	160

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Requisitos de calidad del etanol anhidro grado carburante, como componente oxigenante para producción gasolinas oxigenadas	13
Tabla 2. Requisitos de calidad de las gasolinas básicas que se utilicen para producir gasolinas oxigenadas	14
Tabla 3. Requisitos de calidad de las gasolinas oxigenadas con etanol anhidro que se distribuyan para consumo en ciudades con población mayor de 500.000 habitantes	15
Tabla 4. Constante de Velocidad k_n [ppm-min] a 298 K para reacciones químicas	26
Tabla 5. Coeficientes fotolíticas según el ángulo Cenit	26
Tabla 6. Reactividades k de hidrocarburos livianos en unidades de $\text{cm}^3 \text{molecula}^{-1} \text{s}^{-1}$	30
Tabla 7. Caracterización de las Gasolinas Base y oxigenadas, GCB y GRC.	43
Tabla 8. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Gasolina Regular GCB	47
Tabla 9. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Gasolina Regular GCB	48
Tabla 10 Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Gasolina Regular GCB	48

Tabla 11 Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Gasolina Regular GC B	48
Tabla 12. Cromatografía de Gases: Bolsa 1 de la Prueba 1 de la Gasolina Regular GCB	49
Tabla 13. Cromatografía de Gases: Bolsa 2 de la Prueba 1 de la Gasolina Regular GCB	50
Tabla 14. Cuantificación de COV's Prueba 1 Gasolina Regular GCB	54
Tabla 15. Cuantificación de COV's Prueba 2 Gasolina Regular GCB	55
Tabla 16. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Regular GCB	56
Tabla 17. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	57
Tabla 18. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Regular GCB –Etanol anhidro (10% v/v)	58
Tabla 19. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	58
Tabla 20. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Regular GCB –Etanol anhidro (10% v/v)	58
Tabla 21. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	59

Tabla 22. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P Comparación por Componentes Gasolina Regular GCB con Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	62
Tabla 23. Aumento Porcentual de los Índices de Emisión por componentes de la mezcla Gasolina Regular GCB– Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Regular GCB	65
Tabla 24. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Gasolina Extra GCB	67
Tabla 25. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Gasolina Extra GCB	68
Tabla 26. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Gasolina Extra GCB	68
Tabla 27. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Gasolina Extra GCB	68
Tabla 28. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Extra GCB	69
Tabla 29. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10 % v/v)	70
Tabla 30. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	70
Tabla 31. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	70
Tabla 32. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	71

Tabla 33. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	71
Tabla 34. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P Comparación por Componentes Gasolina Extra GCB con Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	74
Tabla 35. Aumento Porcentual de los Índices de Emisión por componentes de la mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Extra GCB.	78
Tabla 36. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Gasolina Regular GRC	80
Tabla 37. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Gasolina Regular GRC	80
Tabla 38. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Gasolina Regular GRC	80
Tabla 39. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Gasolina Regular GRC	81
Tabla 40. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Regular GRC	82
Tabla 41. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	82
Tabla 42. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	82
Tabla 43. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	83

Tabla 44. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Regular GRC –Etanol anhidro (10% v/v)	
Tabla 45. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	83
Tabla 46. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P Comparación por Componentes. Gasolina Regular GRC con Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	86
Tabla 47. Aumento porcentual de los Índices de Emisión para cada compuesto de la mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Regular GRC	90
Tabla 48. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Gasolina Extra GRC	92
Tabla 49. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Gasolina Extra GRC	92
Tabla 50. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Gasolina Extra GRC	92
Tabla 51. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Gasolina Extra GRC	92
Tabla 52. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Extra GRC	93
Tabla 53. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	94
Tabla 54. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	94

Tabla 55. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	95
Tabla 56. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	95
Tabla 57. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	96
Tabla 58. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Comparación por Componentes. Gasolina Extra GRC con Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	97
Tabla 59. Aumento porcentual de los índices de emisión por componentes de la mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol Anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Extra GRC	102
Tabla 60. Dimensiones y Especificaciones del Carro tanque Terpel	104
Tabla 61. Datos Significativos Recorrido 1 Terpel Chimitá – Estación “La Rosita”	106
Tabla 62. Pérdida de R.V.P por transporte para el Recorrido Terpel Chimitá – Estación “La Flora”	107
Tabla 63. Datos Significativos Recorrido Terpel Chimitá – Estación “La Flora”	109
Tabla 64. Pérdida de R.V.P por transporte para el Recorrido Terpel Chimitá – Estación “La Flora”	109
Tabla 65. Datos Significativos Recorrido Terpel Chimitá – Estación “Río Frío”	110

Tabla 66. Pérdida de R.V.P por transporte para el Recorrido Terpel Chimitá – Estación “Río Frío”	111
Tabla 67. Datos Significativos Recorrido Terpel Chimitá – Estación “Ayacucho”	111
Tabla 68. Pérdida de R.V.P por transporte para el Recorrido Terpel Chimitá – Estación “Ayacucho”	112
Tabla 69. Datos Significativos Recorrido Terpel Chimitá – Estación San Gil	114
Tabla 70. Pérdida de R.V.P por transporte para el Recorrido 2 Terpel Chimitá – San Gil	115
Tabla 71. Proyección del valor de Pérdida de R.V.P para las Gasolinas Oxigenadas a partir de su correspondiente Gasolina Base.	121

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Principal fuentes de COV's sin incluir vehículos e industrias	23
Figura 2. Mecanismos de reacción general de Seinfeld	25
Figura 3. Diagrama Despojador de Gasolinas.	37
Figura 4. Especificaciones Generales Despojadora de Gasolinas.	39
Figura 5. Parte Superior Debutanizador: Disposición y función de Válvulas	40
Figura 6. Parte Inferior Debutanizador: Disposición y función de Válvulas	41
Figura 7. Diagrama del Carrotanque	45
Figura 8. Índices de Emisión de COV's Vs. Δ RVP. Repetibilidad Gasolina Regular GCB	57
Figura 9. Índices de Emisión de COV's vs. Δ RVP. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol Anhidro (10% v/v)	60
Figura 10. Índices de Emisión de COV's vs. Δ RVP. Comparación Gasolina Regular GCB con Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol Anhidro (10% v/v)	61
Figura 11. Comparación por Componentes Gasolina Regular GCB con Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol Anhidro (10% v/v): Propano – Propileno	62

Figura 12. Comparación por Componentes Gasolina Regular GCB con Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol Anhidro (10% v/v): Butanos	63
Figura 13. Comparación por Componentes Gasolina Regular GCB con Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol Anhidro (10% v/v): Butenos (1)	63
Figura 14. Comparación por Componentes Gasolina Regular GCB con Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol Anhidro (10% v/v): Butenos (2)	64
Figura 15. Comparación por Componentes Gasolina Regular GCB con Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol Anhidro (10% v/v): Pentanos – Penteno	64
Figura 16. Comparación por Componentes Gasolina Regular GCB con Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol Anhidro (10% v/v): Hexanos +	65
Figura 17. Comparación por componente de los índices de Emisión por pérdida de 1 psi en R.V.P de la mezcla Gasolina Regular GCB– Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Regular GCB	66
Figura 18. Índices de Emisión de COV's vs. Δ RVP. Repetibilidad Gasolina Extra GCB	69
Figura 19. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	72
Figura 20. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Comparación Gasolina Extra GCB con Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)	73
Figura 21. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Propano – Propileno	75

Figura 22. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Butanos	75
Figura 23. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (1)	76
Figura 24. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (2)	76
Figura 25. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Pentanos – Penteno	77
Figura 26. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Hexanos +	77
Figura 27. Comparación por componente de los índices de Emisión por pérdida de 1 psi en R.V.P de la mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Extra GCB	79
Figura 28. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Regular GRC	81
Figura 29. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	84
Figura 30. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Comparación Gasolina Regular GRC con Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	85
Figura 31. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Propano – Propileno	87

Figura 32. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butanos	87
Figura 33. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (1)	88
Figura 34. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (2)	88
Figura 35. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Pentanos – Penteno	89
Figura 36. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Hexanos +	89
Figura 37. Comparación por componente de los índices de Emisión por pérdida de 1 psi en R.V.P de la mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Regular GRC	90
Figura 38. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Extra GRC	93
Figura 39. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	96
Figura 40. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Comparación Gasolina Extra GRC con Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)	99
Figura 41. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Propano – Propileno	99

Figura 42. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butanos	99
Figura 43. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (1)	100
Figura 44. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (2)	100
Figura 45. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Pentanos – Penteno	101
Figura 46. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Hexanos +	101
Figura 47. Comparación por componente de los índices de Emisión por pérdida de 1 psi en R.V.P de la mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Extra GRC	102
Figura 48. Perfil de Temperatura. Recorrido Terpel Chimitá – Estación “El Bosque”	105
Figura 49. Perfil de Temperatura, Recorrido 1 Terpel Chimitá – Estación “La Rosita”	106
Figura 50. Perfil de Temperatura, Recorrido 2 Terpel Chimitá – Estación “La Rosita”	107
Figura 51. Perfil de Temperaturas, Recorrido Terpel Chimitá – Estación “La Flora”	108

Figura 52. Perfil de Temperatura, Recorrido Terpel Chimitá – Estación “Río Frío”	110
Figura 53. Perfil de Temperatura, Recorrido Terpel Chimitá – Estación “Ayacucho”	112
Figura 54. Perfil de Temperatura, Recorrido 1 Terpel Chimitá – San Gil	113
Figura 55. Perfil de Temperatura, Recorrido 2 Terpel Chimitá – San Gil	114

TITULO: EVALUACIÓN Y MODELAMIENTO DE LAS PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN EN VEHÍCULOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA MEZCLA GASOLINA - ETANOL ANHIDRO AL 10% V/V *

AUTORES: ACERO, Laguado Carolina y ROJAS, Bohórquez Sandra Maritza **

PALABRAS CLAVES: Mezcla gasolina-etanol, evaporación, presión de vapor reid.

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

El presente proyecto muestra los resultados del cálculo de las pérdidas por transporte en distribución de las mezclas de gasolina con etanol anhidro al 10% v/v, haciendo énfasis en la cuantificación y cualificación de los compuestos livianos de mayor reactividad para la producción de contaminación y de ozono troposférico.

El estudio se llevó a cabo en dos etapas. La primera consta de pruebas de laboratorio utilizando un equipo despojador de gasolina, que por medio de burbujeo de nitrógeno por la parte inferior del tanque son liberados los componentes livianos y recolectados posteriormente en una bolsa para su análisis y cuantificación. Según el tiempo de burbujeo, se encontró una relación de la disminución de RVP con respecto a la cantidad de componentes orgánicos volátiles que se desprenden obteniendo la variación entre las gasolinas base, extra y regular, provenientes de la Gerencia Complejo de Barrancabermeja y Gerencia Refinería de Cartagena con sus respectivas mezclas con etanol. En segunda instancia, se presentan las pruebas realizadas en el vehículo de distribución, donde se observa el descenso del RVP en el transporte de gasolinas base, para así proyectarlo a las gasolinas oxigenadas para tener la estimación de las pérdidas.

Estudios realizados y reportados en la literatura afirman, que las emisiones de COV's, NO_x y CO en la combustión de la mezcla gasolina – etanol anhidro al 10% v/v, se reducen. En el siguiente proyecto se observa que las emisiones por evaporación son mayores que en las gasolinas base, lo que indica que el manejo de la mezcla debe ser más consciente y controlado.

* Proyecto de Pregrado

** Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Ingeniería Química.
Director: Mg. Crisóstomo Barajas Ferreira

TITLE: EVALUATION AND MODELING OF LOSSES BY EVAPORATION IN THE DISTRIBUTION VEHICLES OF THE MIXTURE OF GASOLINE AND ANHYDROUS ETHANOL AT 10% V/V[†]

AUTHORS: ACERO, Laguado Carolina y ROJAS, Bohórquez Sandra Maritza ^{**}

KEYWORDS: Mixture gasoline-ethanol, evaporation, Reid vapour pressure.

ABSTRACT

The following project shows the results of the measurement of the losses because of transport distribution of the mixture of gasoline with anhydrous ethanol at 10% v/v, making emphasis in the quantification and qualification of light compounds of greater reactivity in the production of contaminants and tropospheric ozone.

The study was carried out in two stages. The first stage was done by lab trials with a gasoline stripping equipment. By means of nitrogen bubbling from the inferior part of the tank the light components were released and collected in a bag for their analysis and quantification. The data of the bubbling time shows a relation of the diminution of RVP with respect to the amount of volatile organic components that are given off obtaining the variation between base, regular, and extra gasoline and the one originated at Barrancabermeja and at the management refinery of Cartagena and their respective mixtures with ethanol. In the second stage, we present the tests done in the distribution vehicle, where we can observe a reduction of the RVP in the base gasoline transport, and project this result to the oxygenated gasoline in order to obtain an estimate of the losses.

Studies made and reported in the literature affirm that the emissions of COV's, NO and CO in the combustion of the mixture of gasoline and anhydrous ethanol at 10% v/v are reduced. In this project, it is observed that the emissions by evaporation are greater than on base gasoline which indicates that the handling of the mixture should be more conscious and controlled.

[†] Undergraduate Project

^{**} School Chemistry Engineering.
Director: Mg. Crisóstomo Barajas Ferreira

INTRODUCCION

El impacto que ha generado la contaminación ambiental a escala mundial debido al incremento desmedido de la población y la necesidad que acarrea el consumo de los hidrocarburos, conlleva a adquirir una conciencia sobre el futuro y nos conduce a buscar nuevas fuentes de energía que puedan suplir estas necesidades. Sumado a esto las fuentes petrolíferas con que se contaba en un inicio han ido disminuyendo de tal forma que las reservas ya tienen una proyección muy pobre, unas se han agotado como es el caso de Estados Unidos, sin contar con Alaska que en unión con las del mar del norte, prosperas regiones productoras de hidrocarburos hace 20 años, disminuyen paulatinamente. Al problema de orden natural, se adicionan los problemas de orden social que estropean la producción y flujo de crudo como es el caso que hoy por hoy se observa en países como Venezuela y Nigeria, llegando a un punto crucial de violencia con una guerra inminente en el Medio Oriente.

Con esta idea y la mentalidad del mejoramiento continuo a nivel de combustibles se implemento el uso de combustibles reformulados. Tras la crisis energética de los años setenta, comenzó el uso de alcoholes para los motores de combustión, como una alternativa para la gasolina, pero no duro mucho ya que pasada la euforia de su novedad, su uso fue relegado, llegando al punto que en la actualidad, no se considera como un sustituto total, sino como un aditivo para mejorar sus propiedades. La ventajas que presenta el uso de esta clase de combustibles es notoria; el uso de hidrocarburos disminuye el nivel de contaminación, ya que en la combustión se puede reducir las emisiones en un 15% y lo mejor de todo es que los productos utilizados para la reformulación son un recurso renovable, y su consecución no es tan limitada.

La presencia no sólo del etanol como componente oxigenado ha sido clave para este proyecto, se cuentan con otros como el metanol, el ter butil alcohol (TBA) y otras combinaciones, especialmente metil ter butil éter (MTBE). Para autos de alto desempeño se cuenta con el metanol, que en este caso si se utiliza puro, pero para los autos de uso normal además del etanol se trabaja con el MTBE como mezcla de los combustibles base.

Hoy en día desplazado por el etanol ya que los niveles de contaminación a nivel del suelo y por consecuencia el nivel freático, son catastróficos y a medida que pasa el tiempo a sido desplazado. Por ejemplo, el carburante de los carros que circulan por Estados Unidos, la Unión Europea y Brasil, entre otros lugares, contiene etanol, pero la cantidad de éste no supera generalmente el 10% de la mezcla total.

El 19 de setiembre del 2001 el congreso de la República de Colombia, expidió la ley 693, por la cual, dictaron las normas sobre el uso de alcoholes carburantes como combustibles, estableciendo que las gasolinas que se utilicen en el país en centros urbanos de mas de 500.000 habitantes a partir del 2005 tendrán que contener componentes oxigenados como lo son los dichos alcoholes, en la cantidad y calidad que estableciese el Ministerio de Minas y Energía, según la reglamentación sobre el control de emisiones derivados del uso de estos combustibles y los requerimientos ambientales establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente, hoy conocido como el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, para cada región del país.

Por este motivo en el Instituto Colombiano del Petróleo se iniciaron los estudios sobre las mezclas de las Gasolinas Base que actualmente se distribuyen actualmente en nuestro país, con Etanol Anhidro para determinar con precisión las características y el comportamiento del combustible para ser utilizado en Colombia. El presente trabajo es parte de la investigación realizada sobre la influencia del etanol anhidro en los combustibles producidos en las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena, específicamente en las emisiones evaporativas en el transporte y distribución del combustible.

En el capítulo 1 se expone las características de la utilización de la mezcla gasolina-etanol, las ventajas de su utilización en automotores, y las implicaciones ambientales que conlleva el consumo de este combustible, como el aumento de emisiones de compuestos orgánicos volátiles con sus respectivas consecuencias para la atmósfera, Se resume la investigación realizada por el Instituto Colombiano del Petróleo de la mezcla en los combustibles colombianos y se explican las posibles causas de emisión a la atmósfera de componentes livianos de los combustibles por su almacenamiento en tanques.

En el capítulo 2, Desarrollo Experimental, se explican las pruebas practicadas a las gasolinas y a la mezcla con etanol con el objetivo de encontrar los índices de emisión en (gr/lt) de compuestos orgánicos volátiles a medida que se disminuye su presión de vapor Reid. Además se describe como se adquirieron los datos necesarios para calcular la acumulación de calor en el carrotanque durante los recorridos típicos de distribución de combustibles a estaciones de servicio. Se define el procedimiento de toma de muestras de gasolina antes y después del recorrido para obtener las propiedades de densidad y presión de vapor Reid, con las que se calcula la pérdida de compuestos livianos del combustible.

En el capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos después de seguir los procedimientos descritos en el capítulo 2, se tabulan los datos obtenidos en las pruebas experimentales y los cálculos necesarios para cuantificar las pérdidas de livianos de las gasolinas durante las pruebas. Se muestran los resultados para las gasolinas base colombianas y se comparan con la mezcla al adicionar etanol.

Se exponen los comportamientos del combustible a diferentes condiciones de transporte, como hora de recorrido, la cual determina las condiciones climáticas, y por lo tanto la cantidad de calor que puede ser transferido al tanque del vehículo, aumentando la evaporación de los compuestos más livianos. Con los datos de pérdidas de presión Reid de la gasolina base obtenidos en los recorridos se predice la posible pérdida de presión de vapor Reid que presentaría la mezcla gasolina-etanol y en consecuencia, la pérdida de compuestos orgánicos volátiles, si el combustible transportado es la gasolina oxigenada.

En el balance del impacto ambiental que provoca la introducción de los combustibles reformulados, en este caso la mezcla gasolina – etanol, se encuentra que se reducen las emisiones en combustión, sin embargo las emisiones por evaporación aumentan de la forma que se muestra en el desarrollo de la investigación. Aunque este hecho suceda, la introducción de estos combustibles es favorable para el medio ambiente. Para garantizar el éxito del consumo de este combustible, su manejo debe ser consciente y responsable, para disminuir los efectos negativos que pueda ocasionar que se exponen en el presente trabajo.

1. MARCO TEÓRICO

En vista de la inminente disminución de los recursos energéticos del planeta y la contaminación ambiental, el mejoramiento y la renovación de los combustibles, se introducen al mercado los combustibles reformulados como una de las mejores propuestas para la solución de este problema.

1.1 MEZCLA GASOLINA – ETANOL

La reformulación de combustibles consiste en añadir combustibles oxigenados, como alcoholes: metanol, etanol y ter butil alcohol (TBA) y otras combinaciones, especialmente MTBE (metil ter butil Eter) a las gasolinas, permitiendo un aumento en el octanaje de los combustibles, equivalente a un mejor funcionamiento de los vehículos. A pesar que el número de octano aumenta, los combustibles oxigenados disminuyen las emisiones de hidrocarburos por combustión, en especial los componentes aromáticos que se consideran como uno de los compuestos más tóxicos y los óxidos de nitrógeno. En comparación con las gasolinas base, la EPA (Environmental Protection Agency) estima que la gasolina reformulada disminuye en un 15% las emisiones de hidrocarburos [1].

La ventaja del etanol es que puede ser producido a partir de productos naturales o biomasa celulósica. El metanol, MTBE y TBA son usualmente extraídos del gas natural, siendo éstos los de mayor aceptación en la industria, a esto se le suma el fácil manejo en comparación con el alcohol.

La implementación de la mezcla gasolina etanol como combustible no es sólo una estrategia para reducir los niveles de CO₂ y CO en la atmósfera, también es una alternativa para el uso sensato de la energía y extender nuestros recursos petrolíferos por más tiempo. En un futuro se podría eliminar el uso de los combustibles usando energía renovable que conduciría a un balance energético sostenible sin producir cambios climáticos [2]

1.1.1 Biocombustibles. Una de las energías renovables y limpias son los biocombustibles (bioaceites y bioalcoholes) obtenidos de las especies vegetales como la remolacha, el girasol y la caña de azúcar. A diferencia de los combustibles tradicionales (petróleo, carbón y gas natural), éstos no se encuentran almacenados en la tierra, sino que proceden de las plantas, que obtienen sus constituyentes del CO₂ de la atmósfera a través del proceso de la fotosíntesis (este CO₂ es el mismo que desprenden los motores como producto de la combustión).

Los bioalcoholes utilizados como fuente de energía son el etanol y el metanol. El uso de alcoholes en los motores como reemplazo de la gasolina, se propuso y se realizó a gran escala tras la crisis energética de principios de los años setenta, pero pasada la euforia inicial, su uso decayó progresivamente y en la actualidad se proponen como aditivos de la gasolina y no como sustitutivos de ésta. Por ejemplo, el carburante de los carros que circulan por Estados Unidos, la Unión Europea y Brasil, entre otros lugares, contiene etanol, pero la cantidad de éste no supera generalmente el 10% de la mezcla total.

1.1.1.1 Ventajas y desventajas de los biocombustibles. Las ventajas y desventajas que se presentan, unidos a los aspectos ambientales, sociales y a escala industrial [3], son las siguientes. Las ventajas son:

- No incrementan los niveles de CO₂ en la atmósfera, con lo que se reduce el peligro del efecto de invernadero.
- Proporcionan una fuente de energía renovable por lo tanto, inagotable.
- Revitalizan las economías rurales y generan empleo al favorecer la puesta en marcha de un nuevo sector en el ámbito agrícola.

- Se podrían reducir los excedentes agrícolas que se han registrado en las últimas décadas.
- Mejoran el aprovechamiento de tierras con poco valor agrícola y que en ocasiones, se abandonan por la escasa rentabilidad de los cultivos tradicionales.
- Mejora la competitividad al no tener que importar fuentes de energía tradicionales.

Las desventajas que presentan son:

- El costo de producción de los biocombustibles dobla, aproximadamente, al del de la gasolina o gasóleo (sin aplicar impuestos). Por ello, no son competitivos sin ayudas públicas.
- Se necesitan grandes espacios de cultivo, dado que del total de la plantación sólo se consigue un 7% de combustible.
- Potenciación de monocultivos intensivos con el consiguiente uso de pesticidas y herbicidas.
- El combustible precisa de una transformación previa compleja. Además, en los bioalcoholes, la destilación provoca, respecto a la gasolina o al gasóleo, una mayor emisión en dióxido de carbono.

1.1.2 Reformulación de gasolinas en Colombia. La Unidad de Producción Minero Energética (UPME) ha desarrollado proyectos con relación al medio ambiente. El proyecto de la gasolina reformulada o de la adición de etanol anhidro a la gasolina comienza con una etapa preliminar en el año 1995 y la consultoría del mismo término en el año 1996. Su objetivo era analizar el impacto en la eficiencia ambiental, ya que se disminuyen las sustancias contaminantes, como los gases de invernadero en las ciudades colombianas, y la eficiencia energética que implica la adición de alcohol etílico a la gasolina el cual, se traduce en un mejor rendimiento ambiental y energético para la

mezcla de gasolina-etanol que se va a utilizar en ciudades con más de 500.000 habitantes.

La propuesta en nuestro país se inicia con la implementación y montaje de varias plantas para la producción de etanol anhidro; hay propuestas que hablan de 10 a 12 plantas en diferentes sectores que tienen vocación de caña de azúcar y el compromiso adquirido por el Ministerio de Agricultura que promulga la generación de 140.000 empleos directos en el campo. En este momento hay pequeñas plantas en el sector occidente del país como Cali, otras en Boyacá y la Costa Atlántica para la producción de alcohol etílico anhidro y la gasolina que llegue a ese sector se le hace la adición en el área geográfica de influencia de la central mayorista de combustible.

La producción de alcohol se hará a partir de la caña de azúcar, producto que hace parte del grupo de materias primas azucaradas, que sigue un proceso de fermentación y una posterior destilación con el objetivo de retirar el agua para convertirlo en etanol anhidro o etanol al 99.5% de pureza. Esto asegura que al hacer la mezcla con la gasolina no se formen fases acuosas que dañen la calidad del combustible y produzca daño en el funcionamiento de los vehículos. Además, de que existen diseños ya definidos para las plantas productoras de alcohol etílico, se cuenta también, con la implementación de cultivos mejorados de caña de azúcar y una mejor selección de las especies y un tratamiento industrial de acuerdo con las mejores tecnologías de punta que existen en el mundo [1].

Ahora, desde el punto de vista ambiental, en la combustión se verá una reducción de partículas contaminantes en la atmósfera como el CO_2 (dióxido de carbono), causante del cambio climático, el SO_2 (Óxido de azufre) y el CO (Monóxido de carbono), asociado con problemas de salud por toxicidad y de fenómenos fotoquímicos generadores de smog y neblinas en las ciudades. La adición de 10% en volumen de etanol a las gasolinas genera una mejora en la calidad de los combustibles, no sólo por la presencia de oxígeno dentro la mezcla que ayuda a mejorar la combustión, sino porque se tienen reducciones de los contenidos de azufre, aromáticos y olefinas, básicamente por el efecto de dilución que se presenta con el etanol [5].

En el año 1998 se hablaba de un incremento del 4% en los precios para los consumidores finales, el caso es que si este aumenta se verá una disminución en el consumo de petróleo y este es el resultado de utilizar un recurso energético renovable y colombiano. Complementario a este hecho, el impacto ambiental se verá disminuido, por lo tanto, si se pone en una balanza, los beneficios obtenidos son muchos por un precio relativamente bajo [1].

1.1.2.1 Definiciones. De acuerdo con la resolución 181687 expedida el 17 de Junio del 2003 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se expide la regulación técnica planteada en la Ley 693 de 2001, donde se especifica la comercialización de mezclas de gasolina con etanol para centros urbanos con mas de 500.000 habitantes. Para efectos de aplicación y generalización para el consumo y manejo se utilizan las siguientes definiciones.

Alcohol Carburante. Compuesto orgánico líquido de naturaleza diferente a los hidrocarburos, que tiene en su molécula un grupo hidroxilo (OH) enlazado a un átomo de carbono. Para los efectos de la resolución se entiende como alcohol carburante al etanol anhidro obtenido a partir de biomasa. Los alcoholes que como el etanol anhidro son derivados de la biomasa se denominan como “compuestos oxigenantes” que buscan al mezclarlo con combustibles, mejorar las características antidetonantes en el caso de la gasolina y al mismo tiempo reducen las emisiones contaminantes generadas en la combustión en los motores. El etanol anhidro se caracteriza por tener muy bajo contenido de agua y ser compatible con gasolinas en cualquier proporción para producir un combustible oxigenado con mejores características.

Combustibles Básicos. Son mezclas de hidrocarburos derivados del petróleo que han sido diseñadas como combustibles de motores de combustión interna, ya sean solas o en mezcla con componentes oxigenantes, para reformular combustibles con mejores

características de combustión. En el presente trabajo, los combustibles básicos serán la "gasolina regular" y la "gasolina extra".

Combustibles Oxigenados. La mezcla resultante de los combustibles básicos derivados del petróleo con alcoholes carburantes en una proporción reglamentada, se llaman combustibles oxigenados. Sus especificaciones de calidad técnica y ambiental son reglamentadas por los Ministerios de Minas y Energía y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, según sus competencias. En este caso será "gasolina regular oxigenada" y "gasolina extra oxigenada".

1.1.3 Reglamentación para combustibles oxigenados. El impacto que ha generado la contaminación ambiental a escala mundial conlleva a adquirir una conciencia sobre el futuro, de buscar soluciones principalmente en áreas de mayor densidad de población humana y por consiguiente vehicular, influenciada por la localización geográfica y sus correspondientes factores climáticos, zonas donde los índices de contaminación son mayores. En vista de todo esto, se hizo necesario tomar medidas respecto a la calidad técnica y con la calidad ambiental de los combustibles, tendientes a mitigar el impacto ambiental por las emisiones de contaminantes producidos por los vehículos automotores.

El 19 de septiembre del 2001 el congreso de la República de Colombia expidió la ley 693, por la cual dictaron las normas sobre el uso de alcoholes carburantes como combustibles, estableciendo que las gasolinas que se utilicen en el país en centros urbanos de más de 500.000 habitantes. A partir del 2005 tendrán que contener componentes oxigenados como lo son los dichos alcoholes, en la cantidad y calidad que estableciese el Ministerio de Minas y Energía según la reglamentación sobre el control de emisiones derivados del uso de estos combustibles y los requerimientos ambientales establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente, hoy conocido como el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, para cada región del país.

Se elaboraron una serie de estudios para evaluar las mezclas de las gasolinas básicas con alcohol carburante, de tal forma que se pudiera determinar con mayor precisión las

características de la mezcla deseada, a través de la Empresa Colombiana del Petróleo – ECOPETROL, desarrollados por medio del Instituto Colombiano del Petróleo – ICP. El trabajo se desarrolló en diferentes etapas, para cumplir con el objetivo deseado:

- Obtención de los componentes de la mezcla.
- Caracterización de las gasolinas base (regular y extra) y el etanol anhidro.
- Determinación de las curvas de presión de vapor Reid (R.V.P) de las gasolinas base vs. La R.V.P de la mezcla (5%, 10% y 15% en volumen de etanol)
- Determinación de las curvas de índice antidetonante de la gasolina base vs. el índice antidetonante de las mezclas (5%, 10% y 15% en volumen de etanol).
- Determinación del máximo contenido de agua permisible de las mezclas óptimas de gasolina con 10% en volumen de etanol.
- Caracterización fisicoquímica de las mezclas óptimas de gasolina con 10% en volumen de etanol anhidro.

En el estudio se destacó la determinación de las curvas de presión de vapor Reid y el índice antidetonante de la mezcla, ya que con estas dos propiedades se puede determinar la variación. Según el porcentaje añadido de etanol anhidro, con las que se obtuvo como conclusión, que la mezcla gasolina con 10% de etanol anhidro es la óptima y que se amolda a los requerimientos establecidos nacional e internacionalmente.

Finalmente el 14 de abril del 2003 los Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y de Minas y Energía, mediante la Resolución 447 del mismo año, establecieron los requisitos de calidad técnicos y ambientales de los alcoholes carburantes y los combustibles oxigenados, para su distribución en el país a partir del año 2005.

1.1.3.1 Especificaciones de la Gasolina Base, el Alcohol Carburante y la Gasolina Oxigenada. Como resultado, se publicó la resolución que presenta la calidad requerida del alcohol carburante, las gasolinas base utilizadas para la producción de las gasolinas oxigenadas, y la de las gasolinas oxigenadas que se produzcan, importen o sean distribuidas por cualquier persona para el consumo dentro del territorio colombiano.

Etanol anhidro grado carburante. La Tabla 1 muestra las características y propiedades que debe poseer un alcohol para ser de grado carburante y ser utilizado en la mezcla con gasolina, como componente oxigenado. El etanol anhidro producido se le debe agregar una sustancia desnaturante o una sustancia que lo convierta en no potable, deber de los productores antes de ser despachado hacia las plantas de abastecimiento.

Tabla 0. Requisitos de calidad del etanol anhidro grado carburante, como componente oxigenante para producción gasolinas oxigenadas

	Característica	Unidad	Especificación	Métodos de Prueba
			Fecha de vigencia Septiembre 2005	
1	Color		Incoloro	Visual
2	Aspecto		[1]	Visual
3	Acidez total (como ácido acético), máximo	mg/100 mL	3	ASTM D 1613
4	Conductividad eléctrica, máxima	S/m	500	ASTM D 1125
5	Masa específica a 20 °C, máximo	Kg/m ³	791,5	D 4052
6	% de etanol, mínimo [2]	% volumen	99,5	D 5501
7	% alcohólico, mínimo	°NPM	99,5	ABNT/NBR 5992 [3]
8	Contenido de cloro, máximo	mg/kg	0,03	
9	Materia no volátil, máximo	mg/kg	0,01	
10	Contenido de Cobre, máximo	mg/kg	0,07	ABNT/NBR 10893 [3]
11	Alcalinidad		Negativo	
12	Humedad, máximo	% masa	0,2	
13	Residuo fijo, máximo	mg/100 mL	5	

[1] Limpio, claro, sin color y libre de impurezas y de material en suspensión.

[2] Requerido cuando el alcohol no ha sido producido por vía fermentación a partir de caña de azúcar.

[3] Métodos de la Asociación Brasileira de Normas Técnicas / Normas Brasileiras. Se utilizarán mientras el Instituto Colombiano de Normas Técnicas, Icontec, desarrolla normas nacionales para este producto.

(Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución 447 del 2003)

Gasolinas Base. En el estudio realizado por Ecopetrol – ICP, se definieron los requisitos de calidad de las gasolinas básicas presentados en la Tabla 2, para asegurar las propiedades de la mezcla con etanol anhidro y el ajuste de las especificaciones indicadas por el Ministerio de Minas y Energía, y por consiguiente de salubridad por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para la producción de las gasolinas oxigenadas.

Tabla 2. Requisitos de calidad de las gasolinas básicas que se utilicen para producir gasolinas oxigenadas

	Característica	Unidad	Especificación		Métodos ASTM
			Fecha de vigencia		
			Abril 1° 2001	Enero 1° 2005	
1	Índice Antidetonante, mínimo [1]				
	Gasolina corriente		81	81	D2699 y D 2700 o IR [4]
	Gasolina extra		87	87	
2	Plomo, máximo	g/l	0,013	0,013	D3237 o D5059
3	RVP, máximo [2]	kPa (psia)	58 (8.5)	55 (8.0)	D5191
4	Índice de Cierre de Vapor (ICV), máximo	kPa	98	98	[3]
5	Aromáticos, máximo				
	Gasolina corriente	% volumen	28	25	D5580 o D1319 o Método Piano
	Gasolina extra	% volumen	35	30	
6	Benceno, máximo				
	Gasolina corriente	% volumen	1	1	D5580 o D3606 o Método Piano
	Gasolina extra	% volumen	2	1,5	
7	Azufre, máximo	% en masa	0,1	0,03	D4294 o D2622
8	Corrosión al Cobre, 3h a 50°C, máximo	Clasificación	1	1	D130
9	Contenido de Gomas, máximo	mg/100 mL	5	5	D381
10	Estabilidad a la Oxidación, mínimo	minutos	240	240	D525
11	Destilación		Mín Máx	Mín Máx	
	10% volumen evaporado	°C	70	70	D 86
	50% volumen evaporado	°C	121	121	
	90% volumen evaporado	°C	190	190	
	Punto final de ebullición	°C	225	225	

[1] Índice Antidetonante: IAD = (RON + MON)/2

[2] Índice de Cierre de Vapor: ICV = P + 1.13(A); en donde P = presión de vapor en kilopascales (kPa) y A = % volumen evaporado a 70°C

[3] Los tipos y dosis de aditivos serán los que establezca el Ministerio de Minas y Energía en la regulación respectiva.

[4] El método de prueba será aquel que establezca el Ministerio de Minas y Energía, en la regulación respectiva.

(Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución 447 del 2003)

Gasolinas Oxigenadas. Los requisitos de calidad de la Tabla 3 para gasolinas oxigenadas, se cumplirán en concordancia con el programa de oxigenación de combustibles definido por el Ministerio de Minas y Energía.

Tabla 3. Requisitos de calidad de las gasolinas oxigenadas con etanol anhidro que se distribuyan para consumo en ciudades con población mayor de 500.000 habitantes

		Especificación	
Característica	Unidad	Fecha de Vigencia Septiembre 2005	Métodos de prueba
1 Índice Antidetonante, mínimo [1]			
Gasolina corriente oxigenada		84	D2699 y D 2700
Gasolina extra oxigenada		89	
2 Plomo, máximo	g/l	0,013	D3237 o D5059
3 RVP, máximo	kPa (psia)	65 (9.3)	D4953
4 Índice de Cierre de Vapor (ICV), máximo	kPa	124	[2]
5 Aromáticos, máximo			
Gasolina corriente oxigenada	% volumen	25	D5580 o D1319
Gasolina extra oxigenada	% volumen	30	
6 Benceno, máximo			
Gasolina corriente oxigenada	% volumen	1	D5580 o D3606
Gasolina extra oxigenada	% volumen	1,5	
7 Azufre, máximo	% en masa	0,03	D4294 o D2622
8 Corrosión al Cobre, 3h a 50°C, máximo	Clasificación	1	D130
9 Contenido de agua, máximo	% volumen	0,04	D 6422
10 Contenido de Gomas, máximo	mg/100 mL	5	D381
11 Oxígeno, máximo	% masa	3,5	D4815
12 % de etanol	% volumen	10±0.5	
13 Aditivos, mínimo [5]	% en masa	[3]	[4]
14 Estabilidad a la oxidación, mínimo	minutos	240	D525
15 Destilación		Mín.	
10% volumen evaporado	°C	70	D86
50% volumen evaporado	°C	121	
90% volumen evaporado	°C	190	
Punto final ebullición	°C	225	
Residuo de la destilación, máximo	% volumen	2	

[1] Índice Antidetonante: $IAD = (RON + MON)/2$

[2] Índice de Cierre de Vapor: $ICV = P + 1,13(A)$; en donde P = presión de vapor en kilopascales (kPa) y A = % volumen evaporado a 70°C

[3] Los tipos y dosis de aditivos serán los que establezca el Ministerio de Minas y Energía en la regulación respectiva.

[4] El método de prueba será aquel que establezca el Ministerio de Minas y Energía en la regulación respectiva.

(Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución 447 del 2003)

Conforme a lo establecido en el artículo 1° de la Ley 693 de 2001, los requisitos de calidad señalados deberán ser cumplidos por aquellos centros urbanos que tengan mas de 500.000 habitantes, como son Bogotá D.C., Cali, Medellín y Barranquilla y sus áreas metropolitanas, a más tardar el 27 de Septiembre del 2005. De igual manera, se señaló que las ciudades de Bucaramanga, Cartagena, Cúcuta y Pereira, e igualmente sus áreas metropolitanas deberán comenzar el uso de las gasolinas oxigenadas en el 2006, a mas tardar el 27 de Septiembre de mismo año.

1.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MEZCLA ETANOL-GASOLINA

Las propiedades de un combustible son aquellas características a partir de cuyo conocimiento se puede formar una idea de bondad de él y su adaptabilidad para ser quemado en un motor. Las propiedades que se tienen en cuenta más frecuentemente se presentan a continuación:

Volatilidad. Es una de las propiedades más importantes de las mezclas gasolina-etanol debido a su influencia en el desempeño del motor, la economía de combustible y las emisiones por evaporación o COV's [6].

Las principales características de desempeño de los motores que están relacionadas con la volatilidad son: arranque en frío y en caliente, calentamiento, aceleración, potencia, economía, cierre de vapor, marcha irregular en caliente y formación de hielo en el carburador.

La selección de la volatilidad más apropiada, para lograr un mejor efecto sobre las características antes mencionadas, debe corresponder a un cuidadoso balance, pues se encuentra en forma general, que al variar la volatilidad en un sentido se favorecen algunas características pero al mismo tiempo se perjudican otras. Adicionalmente, la elección del valor de volatilidad debe estar regulada por factores tales como la temperatura y la presión atmosférica de las zonas de consumo, las características de

diseño de los vehículos que conforman el parque automotor y las regulaciones sobre emisiones al medio ambiente.

Existen varios métodos para medir la volatilidad de las mezclas gasolina-etanol siendo los más comunes y las que se van a trabajar en la presente investigación:

- Destilación
- Presión de vapor Reid (R.V.P)

1.2.1.1 Destilación. La gasolina por ser una mezcla de gran cantidad de hidrocarburos, se evapora en un amplio rango de temperaturas, las cuales se encuentran normalmente entre 30° C y 225° C.

Esta prueba se realiza según la norma desarrollada por la American Society for Testing and Materials (ASTM), designada como ASTM D-86 [7]. Colocando una cantidad exacta de la mezcla gasolina-etanol (100 ml) en un balón de destilación, el cual se acopla a un sistema de condensador y probeta de condensado, se aplica calor al balón de destilación de una manera regular y controlada para producir la evaporación. La primera gota de destilado corresponde al punto inicial de ebullición (PIE). La temperatura se registra periódicamente para una cantidad determinada de destilado recogido en la probeta. La máxima temperatura observada a la cual sale la última gota de destilado se define como punto final de ebullición (PFE).

El volumen recogido en la probeta graduada se conoce como “recuperado”, y el volumen del combustible que queda en el balón como “residuo”, la diferencia entre el volumen inicial de la muestra y la suma del recuperado y el residuo es la “pérdida”. La suma del recuperado y las pérdidas se conoce como el “evaporado”. Con base en los valores

obtenidos a partir de esta prueba se construye una curva de destilación en la cual se distinguen tres zonas:

- **Rango inicial de ebullición:** Comprendido entre la temperatura del punto inicial de ebullición y 70° C.
- **Rango medio de ebullición:** Comprendido entre 70 °C y 150 °C.
- **Rango final de ebullición:** Comprendido entre 150 °C y la temperatura final de ebullición.

1.2.1.2 Presión de Vapor Reid (R.V.P). Esta propiedad se determina mediante el método expuesto en la norma ASTM 323-99^a [8] desarrollada para crudos livianos y productos volátiles del petróleo, grupo en que se ubica la gasolina.

En una bomba cerrada dispuesta en dos cámaras, una de ellas ubicada en la parte superior con aire atmosférico y la segunda inferior, en donde se deposita la muestra líquida con capacidad volumétrica de $\frac{1}{4}$ de la superior, se sumergen en un baño de calentamiento a una temperatura constante de 37,8 °C, donde la muestra se evapora a una presión constante observada equivalente al valor de R.V.P. A mayores valores de R.V.P, más volátil es la mezcla y por lo tanto mayor será la posibilidad de pérdidas por evaporación.

La presión de vapor Reid, junto con las características de la zona de rango inicial de ebullición son los factores principales de la facilidad de arranque en frío o en caliente y del cierre de vapor. Al igual que la destilación, el valor óptimo de la R.V.P depende de las condiciones climáticas y de las características de los vehículos.

1.2.1.3 Cierre de Vapor. Se produce cuando una gasolina es sometida a temperaturas elevadas o presiones bajas, pueden evaporarse rápidamente formando burbujas de vapor en puntos críticos del sistema de combustión de los vehículos, alterando su suministro normal al carburador, ocasionando fallas en el funcionamiento del motor, tal como dificultad de arranque en caliente, marcha irregular, mínimo inestable en caliente, pérdida de eficiencia en la aceleración, pérdida de potencia a alta velocidad y en casos extremos parada del motor.

1.2.1.4 Número de Octano. El número de octano proviene de medir la capacidad para resistir la detonación en el motor, por tanto, el poder antidetonante se expresa en número de octano, que es la misma medida de la resistencia del carburante a una explosión prematura en el cilindro. También se puede definir, como el porcentaje de isooctano (2,2,4-trimetilopentano) en una mezcla de isooctano y n-heptano que iguala la intensidad de detonación del combustible bajo ensayo, cuando ambos combustibles operan en una misma máquina estándar del laboratorio.

El número de octano puede ser cuantificado por el método de investigación (research) o por el método motor, teniendo como fin caracterizar la calidad antidetonante de una gasolina. Aunque los dos proporcionan un valor del número de octano, el resultado es diferente para cada gasolina, la diferencia entre estos dos se denomina sensibilidad.

Número de octano - Método Motor (MON). Determina cuantitativamente las características antidetonantes de combustibles de motor de ignición en términos del Número Octano Motor. La prueba se realiza colocando la muestra en un motor de un cilindro, cuatro tiempos, relación de compresión variable, con carburador de acuerdo con unas condiciones de operación definidas. La escala de número de octano se define por la composición volumétrica de mezclas de combustibles primarios de referencia. La

intensidad de detonación de la muestra se compara con la de una o más mezclas de referencia para determinar el número de octano.

Los combustibles comerciales de motor típicos están en el rango de 80 a 90 MON y los combustibles de aviación en el rango de 98 a 102 MON.

Número de Octano – Método Research (RON). El número de octano, se determina por comparación de su tendencia a detonar, con la tendencia a detonar de mezclas de combustibles de referencia ASTM D-2699, de número de octano conocido bajo condiciones estándar de operación [9].

La muestra se somete en el motor a una relación de compresión variable hasta obtener la intensidad de detonación estándar la cual se mide por medio de un medidor de detonación. Con las condiciones estándar de detonación obtenidas, se obtiene un estimativo del número de octano tomando la lectura de un micrómetro y se compara con el valor de la detonación con el valor de la muestra estándar de referencia a la misma relación de compresión. Finalmente el número de octano se determina por interpolación lineal de los valores de detonación.

Índice Antidetonante IAD. El índice antidetonante se expresa como el promedio entre el número de octano método motor (RON) y el número de octano método research (MON).

$$IAD = \frac{RON + MON}{2} \quad (1)$$

1.2.1.5 Contenido de Agua en la Muestra. El etanol con el agua forma puentes de hidrógeno, enlaces muy fuertes, donde el componente mayoritario rodea al minoritario como una especie de burbuja. Para el caso de la mezcla gasolina - etanol se debe controlar el contenido de agua, pues el agua es insoluble en la gasolina, por este motivo si su contenido en la mezcla aumenta demasiado, hará que las moléculas de agua rodeen las del etanol haciendo interaccionar el agua con la gasolina y por ende formando dos fases en la mezcla. El máximo contenido de agua permisible en la mezcla, indica la máxima cantidad de agua que la gasolina con el etanol puede solubilizar sin formar separación de fases, esta tolerancia está limitada por el factor temperatura.

En los sistemas terminales de distribución el almacenaje de los tanques, los camiones cisternas y los tanques subterráneos de las estaciones de servicios, se requiere un procedimiento de secado antes de la adición de la mezcla etanol – gasolina, con el fin de evitar la separación de fases. Al existir separación de fases se puede presentar suciedad en el carburador y producir corrosión a las partes del sistema de combustión.

1.3 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV's)

En el término Compuestos Orgánicos Volátiles COV's se agrupan todas aquellas sustancias de base carbono presentes en la atmósfera, que tengan una presión de vapor superior a 18,66 kPa a una temperatura de 25°C (77°F). Generalmente tienen un número de átomos de carbono entre C2 y C12.

Los COV's están presentes en la atmósfera desde que la aparición de plantas y microorganismos posibilitó la transformación de determinados gases, procedentes de procesos geológicos, en moléculas orgánicas. El ser humano ha ido modificando gradualmente el balance natural. A partir de la revolución industrial del siglo XIX, la cantidad de residuos emitidos por actividades antropogénicas ha aumentado hasta el punto en que sus efectos se han notado de forma evidente.

Estos compuestos orgánicos forman la mayor parte de las emisiones de los procesos industriales, se encuentran presentes en bajas concentraciones en las corrientes de salida de gases y son considerados contaminantes atmosféricos debido a su toxicidad y a los malos olores que producen. La figura 1 muestra en porcentajes, fuentes de COV's que son de igual importancia pero en menor cantidad [10].

Las fuentes de COV's más importantes y de mayor impacto son:

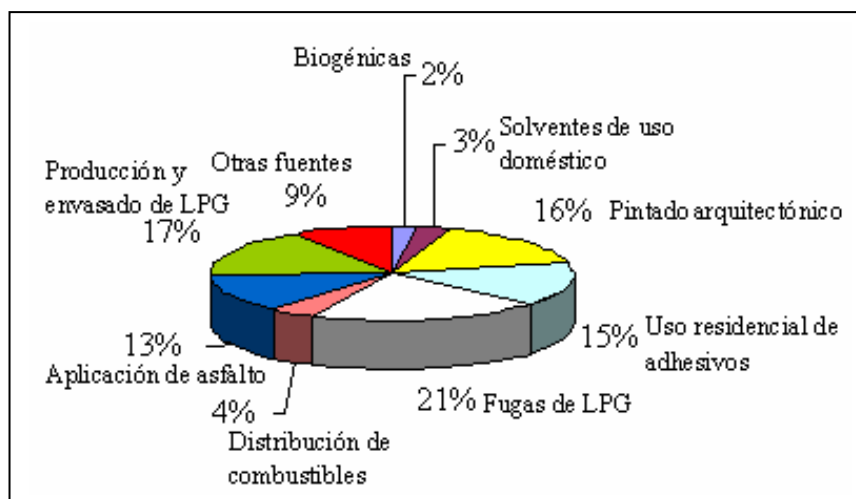
- Fuentes móviles: tráfico rodante principalmente.
- Refinación, almacenamiento y distribución de productos petrolíferos.
- Evaporación de disolventes orgánicos.
- Residuos.
- Agricultura e industria alimentaria.
- Fuentes naturales.

Se identifican compuestos como son el benceno y el 1,3-butadieno con alta toxicidad y son de gran preocupación puesto que son sustancias carcinógenas reconocidas, como la leucemia que es producida por el benceno. Mientras tanto, existen otros que son nocivos debido a que ellos juegan parte importante en la formación fotoquímica de ozono en la atmósfera. El ozono a nivel atmosférico, afecta el sistema respiratorio del cuerpo y produce una inflamación de las vías respiratorias que puede persistir hasta por 18 horas después de la exposición al smog.

Las partículas suspendidas menores de 2.5 micrómetros o $PM_{2.5}$ es un contaminante del aire constituido por material sólido o líquido con diámetro menor de 2.5 milésimas de milímetro. Aunque son invisibles a simple vista, son capaces de dispersar la luz y

disminuir la visibilidad a distancia; permanecen en la atmósfera mucho tiempo y recorren grandes distancias antes de ser removidas.

Figura 1 Principales fuentes de COV's sin incluir vehículos e industrias



(Fuente: EUSKADI. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's))

Algunas $PM_{2.5}$ se emiten directamente a la atmósfera, como son las provenientes de la combustión de vehículos diesel y de gasolina. Las $PM_{2.5}$ se forman también a partir de reacciones químicas de gases emitidos a la atmósfera formando aerosoles de nitratos y sulfatos y de compuestos orgánicos. En menor proporción contribuyen las fuentes geológicas (suelo) y biológicas (polen) [11].

Estas partículas lo suficientemente pequeñas para ser aspiradas también tienen el potencial de afectar la salud, las más finas pueden penetrar profundamente en los pulmones e interferir en el sistema respiratorio, llevando en ciertas ocasiones hasta la muerte [12].

1.3.1 Mecanismos de reacción. En la atmósfera los componentes que participan en la formación de ozono, son degradados mediante fotólisis, lo que quiere decir que sufren un rompimiento de sus enlaces transformándose en estructuras más pequeñas y estables. Estas reacciones llamadas reacciones fotolíticas se lleva a cabo por la presencia de los rayos ultravioleta provenientes de la luz solar. Posteriormente, los productos de los rompimientos reaccionan con radicales hidroxilo OH, sufriendo un proceso de ozonólisis. Para algunos compuestos, el radical hidroxilo reacciona en los procesos de reducción predominantes en la atmósfera. [13]

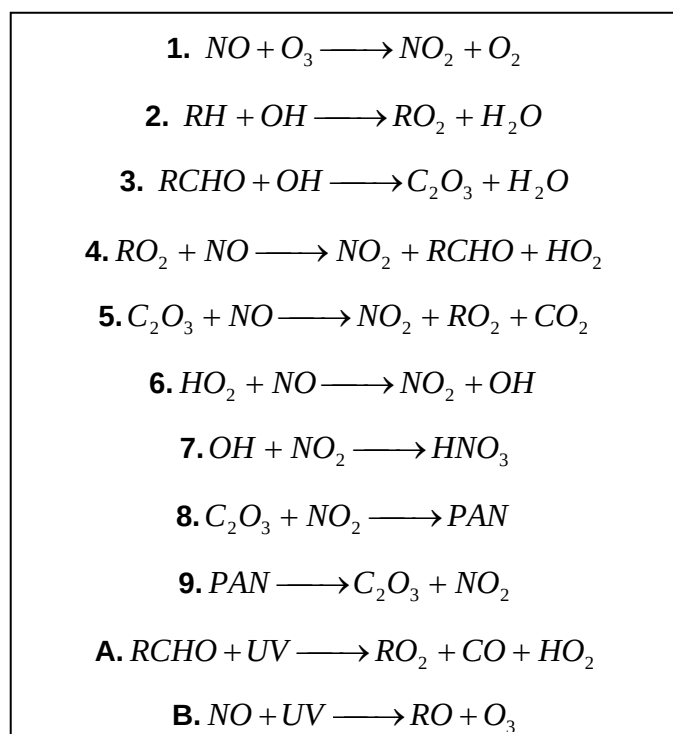
Los óxidos de nitrógeno emitidos desde fuentes estacionarias tienen un alto potencial para formar ozono troposférico e interactuar con los COV's, en áreas propensas a la polución. Una manera de describir las transformaciones que conlleva a esta situación es a través de múltiples mecanismos de reacción que simulan el proceso.

En general los mecanismos de reacción dados por Seinfeld [14] son usados para describir las reacciones que envuelven óxidos de nitrógeno y COV's, que promueven la formación del ozono. Los compuestos que intervienen en este mecanismo son. Oxido nítrico (NO), ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), ácido nítrico (HNO_3), aldehídos (RCHO), hidrocarburos (RC), peroxiacil nitrato (PAN), radicales hidroxilo (OH), radicales hidroperóxidos (HO_2), radicales peroxialquilo (RO_2), radicales peroxiacil (C_2O_3).y los rayos ultravioleta (UV) provenientes del sol. El mecanismo de Seinfeld simplifica asumiendo que el NO_2 se fotoliza directamente a NO y O_3 , sin incluir el paso intermedio que incluye el átomo de oxígeno.

El mecanismo fotoquímico del smog incluye las nueve reacciones químicas y las dos fotolíticas mostradas en la Figura 2 Pleim and Ching (1993) y Gillani and Pleim (1996) [16], describieron que es posible observar las tres etapas del desarrollo químico del *plume* o espacio en el aire donde se encuentran los agentes contaminantes o COV's emitidos. Las etapas son:

- Primera Etapa – Se caracteriza por altas concentraciones de NO_x , cerca de las fuentes donde el ozono y los radicales libres están agotados.
- Etapa Intermedia – Donde las concentraciones de NO_x disminuyen y los COV's junto con los radicales son arrastrados por y entre los bordes del *plume* o zona contaminada, produciendo ozono en exceso y radicales libres en esta zona en forma de M.
- Etapa Madura – Donde la concentración del ozono llega a un máximo en el centro *plume*. Esta última etapa se ha observado para distancias del orden de 100 Km.

Figura 2. Mecanismos de reacción general de Seinfeld.



(Fuente: American Meteorological Society)

Tabla 4. Constante de Velocidad k_n [ppm-min] a 298 K para reacciones químicas

Reacción (Rx)	Constante de velocidad
K1	2,659E+01
K2	3,775E+03
K3	2,341E+01
K4	1,214E+04
K5	1,127E+04
K6	1,127E+04
K7	1,613E+04
K8	6,893E+03
K9	2,143E-02

(Fuente: American Chemical Society)

Los coeficientes fotolíticos ver Tabla 4, son función de la radiación solar y depende del ángulo cenit, este ángulo se define entre el punto situado en la cabeza de un observador y un objeto, que en este caso sería el sol. Por esta razón en la tabla se muestran los coeficientes para dos de los valores existentes definidos por el ángulo cenit Tabla 5. [16]

Tabla 5. Coeficientes fotolíticos según el ángulo Cenit

Angulo Cenit	Coeficientes Fotolíticos, minE-1	
	JA	JB
15°	0,533	1,91E-04
75°	0,181	-

(Fuente: American Meteorological Society)

En las reacciones anteriores se observa, producción de NO que por la interacción con la luz solar se convierte en dióxido de nitrógeno NO₂, caracterizado por ser un gas de color marrón que a niveles elevados de inmisión puede contribuir a la aparición de nieblas

urbanas. Sin embargo, el problema más importante aparece cuando el NO_2 absorbe la luz solar y se rompe parcialmente para dar lugar a la aparición de átomos de oxígeno que se combinan con el O_2 presente en el aire para producir ozono O_3 . Este es un potente agente oxidante y un gas tóxico.

Es conocido que los niveles naturales de ozono en atmósferas limpias son de 10 a 15 ppb. Pero por efecto del incremento de las concentraciones de hidrocarburos y NO en la atmósfera, los científicos consideran que los niveles de ozono en el aire limpio nunca deben de ser inferiores a 30 ppb.

Como conclusión, la necesidad de controlar las concentraciones de COV's en la atmósfera de deriva fundamentalmente a:

- Su propia toxicidad
- El papel clave que los más reactivos juegan en la formación de oxidantes fotoquímicos
- Su importancia como precursores de partículas finas en áreas urbanas, especialmente los hidrocarburos aromáticos y sus productos de oxidación.

1.3.2 Reactividad atmosférica. El cálculo de la reactividad atmosférica sirve para contrastar el efecto de los controles de emisión sobre la aparición de contaminantes secundarios como el ozono y los óxidos de nitrógeno NO_2 [13]:

- $\text{NO}_x \rightarrow \text{NO} + \text{NO}_2$ + una fracción pobremente definida de otras especies nitrogenadas presentes en la atmósfera no determinadas mediante los analizadores convencionales.
- $\text{NO}_y \rightarrow \text{NO}_x + \text{HNO}_3$ + nitratos orgánicos + nitratos inorgánicos $\rightarrow \text{NO}_x + \text{NO}_z$

- $NO_z \rightarrow$ Productos de la oxidación de los $NO_x \rightarrow NO_y (1 - \frac{NO_x}{NO_y})$

La relación matemática existente entre los hidrocarburos no metálicos NMOC, los óxidos de nitrógeno NO_x y el NO_y a primera hora de la mañana es uno de los parámetros más importantes dentro de los sistemas de reacción fotoquímica. La razón matemática expresa y caracteriza la eficacia en el proceso de formación de ozono dentro de mezclas de aire - NMOC - NO_x .

Para relaciones de bajo nivel (< 5ppb C/ppb NO_y) la formación del ozono es lenta y muy poco eficiente, limitada por la ausencia de hidrocarburos. Cuando comienza el descenso en las concentraciones de NO_2 comienza un incremento en la formación del ozono.

Para relaciones de alto nivel (< 15ppb C/ppb NO_y) la aparición de ozono se encuentra limitada por la disponibilidad de NO_2 más que por la presencia de hidrocarburos. Cuando se sobrepasa este estado la aparición de un episodio es inevitable aunque se intente el establecimiento de controles sobre las emisiones de precursores. Las relaciones entre 5 y 15 se consideran como un estado de transición donde los controles sobre las emisiones de NO y NMOC resultan sumamente efectivos.

Finalmente, las concentraciones de carbono pueden ser utilizadas como indicadoras del potencial de formación de ozono, al actuar como trazadores de las emisiones urbanas. En la Tabla 6 se muestran los valores de reactividad para los COV's de los combustibles líquidos mas representativos, como es la gasolina. La abundancia relativa de los contaminantes químicos más reactivos como las olefinas o el xileno tienden a reducirse a lo largo del día, mientras aparece por fotólisis especies químicas menos reactivas pertenecientes a la familia de las parafinas. También son sumamente útiles en este tipo de cálculos la obtención de la relación orto, meta y para xileno / etilbenceno ó benceno / tolueno. La relación existente entre ambos grupos permite conocer con un cierto grado de precisión la edad de la masa de contaminantes presentes en el punto de muestreo:

- Edad fotoquímica = Fracción inicial de las emisiones de NO_x que no han sufrido todavía el proceso de foto oxidación.

$$= \text{productos} / \text{total} = \frac{NO_z}{NO_y} = 1 - \frac{NO_x}{NO_y}$$

Habitualmente en los sistemas de gestión de calidad del aire se calcula en las épocas estivales la expresión conocida como coeficiente de reactividad de Carter, coeficiente desarrollado y publicado en 1994 [17].

$$R_C = \frac{[O_3]}{[NO]} * \frac{gO_3}{gc} * \frac{1}{48} * \frac{PmCOVs}{n^{\circ}cCOVs} \quad (2)$$

Graham Johnson desarrolló en 1984 un algoritmo obtenido directamente de las cámaras de producción de smog. El propósito de esta formulación es determinar la sensibilidad de la formación de ozono en función de los cambios en las concentraciones de NO_x , ozono, NO, y NO_x (o NO_y) para calcular finalmente el potencial de formación de smog.

$$SP(t) = [O_3(t) - O_3(0)] + [NO(0) - NO(t)] \quad (3)$$

donde: $SP(t)$ - Cantidad smog

$O_3(t) - O_3(0)$ - ozono producido

$NO(0) - NO(t)$ - NO oxidado

El coeficiente SP responde de manera lineal a la acumulación del flujo luminoso y consecuentemente cuenta en la codependencia NO – ozono, este coeficiente es

consistente con los procesos fundamentales de química de la atmósfera

$$dSP/dtqK_{Rx,O_2} [NO]$$

$$SP_{\text{máx}} = (b(NO_x(i))) \quad (4)$$

Máxima producción de smog por $\mu\text{g NO}_x$

$$E = SP(t)/SP_{\text{máx}} \quad (5)$$

Si $E \geq 1$, se entra en una fase de generación limitada de NO_2

Si $E > 0,7$, se entra en una fase de transición.

Si $E \geq 0$, Se entra en un régimen de limitación de COV's.

Los coeficientes de reacción para los radicales OH y un gran número de COV's han sido medidos (Atkinson 1994), sin embargo los coeficientes de reacción de muchos de los productos de oxidación como los monoterpenos, isoprenos son menos conocidos, sobre todo en zonas donde estos COV's son emitidos desde masas forestales.

1.3.2.1 Coeficientes de Reacción. Los coeficientes de reacción o reactividades de la Tabla 1.6, se determinan utilizando técnicas competitivas dentro de atmósferas simuladas. Las mezclas sintéticas de aire contienen al nivel de mg cantidades de prueba de diferentes sustancias y sustratos de referencia junto a una fuente de radicales que se producen por fotólisis de nitrito de metilo en presencia de NO. Las reacciones son monitoreadas mediante cromatografía de gases combinada con detección a partir de ionización de llama.

Tabla 6. Reactividades k de hidrocarburos livianos en unidades de $\text{cm}^3 \text{molecula}^{-1} \text{s}^{-1}$

	$10^{12} k$	
Metano	0.00851 - 0.00027	0.013 + 0.00053
Etano	0.22 - 0.03	0.34 + 0.01
Etileno	7.3 - 1	10 + 1.7
1 Propano	0.83 - 0.17	2.2 + 0.6
1 Propileno	5 - 1.7	30 + 5
N Butano	1.68 - 0.23	4.22 + 0.17
I Butano	1.73 - 0.25	3.6 + 0.9
1 Buteno	15 - 1	40,8
I Buteno	50.7 - 5.1	64,6
T Buteno	59.9 - 3.1	71,4
C2 Buteno	42.2 - 1.9	61,2
1,3 Butadieno	61.6 - 1.5	68.8 + 2.2
N Pentano	4.06 - 0.08	6,55
I Pentano	2.9 - 0.6	3.87 + 0.1
1 Penteno	28.7 - 1.3	42,5

(Fuente: Chemical Review)

Volúmenes conocidos de una mezcla de gases se introducen en una cámara y se atrapan criogénicamente antes de ser inyectados en forma de flash sobre una columna capilar. Con posterioridad se estiman los coeficientes de reacción de los radicales OH sobre los diferentes sustratos y los tiempos de vida media de los subproductos al nivel de la troposfera.

1.4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES EVAPORATIVAS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los tanques de almacenamiento de hidrocarburos líquidos son una fuente importante de emisiones de COV's a causa de la aireación como resultado de las variaciones de

temperatura y presión en los tanques, por procesos de vaciado, transporte y carga, o por accesorios según su diseño. Dichas emisiones de hidrocarburos expuestas a la luz ultravioleta del sol son precursores de la formación de oxidantes fotoquímicos u ozono de la troposfera, que es la capa de la atmósfera desde el nivel del suelo hasta 11 kilómetros de altura aproximadamente. [18]

El ministerio del Medio Ambiente de Colombia, en el decreto 948 de 1995 propone realizar un inventario de emisiones contaminantes al aire y acepta una metodología desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para la estimación de emisiones evaporativas basada en los Factores de Emisión AP – 42. Los factores de emisión se basan en un registro histórico acumulado de mediciones directas, balances de masa y estudios de ingeniería.

El monitoreo de tanques de almacenamiento se realiza por largos periodos de tiempo en atmósferas controladas para una fuente individual, los valores tomados sólo pueden ser aplicables en condiciones existentes en el tiempo de prueba por monitoreo, este el método más costoso y sofisticado de estimación de las emisiones. Los balances de materia son apropiados para usar en casos donde un alto porcentaje de material es perdido a la atmósfera, pero las emisiones evaporativas anuales en algunos casos, son menores del uno por ciento.

El uso de los factores de emisión es apropiado al hacer estimaciones específicas en una amplia área por categorías de fuentes para largos periodos de tiempo a condiciones normales de operación y con grandes volúmenes de producto por año. Es el método mas rápido y económico pero con limitaciones de precisión para periodos cortos de tiempo.

1.4.1 Causas de emisión en tanques de almacenamiento. Los líquidos poseen valores de presiones de vapores finitos, dependientes de la temperatura de superficie y la composición del líquido, que son los que producen la tendencia del mismo a evaporarse. Estos tienden a estabilizar una concentración de equilibrio entre el líquido y el vapor conduciendo a un punto en que la evaporación ya no se lleva a cabo.

En tanques se registran emisiones principalmente por la naturaleza del líquido orgánico que se dispone a almacenar, las especificaciones y el diseño del tanque, unido a las condiciones en que se encuentra y las condiciones atmosféricas según su posición geográfica. Los tanques fijos están expuestos a condiciones dinámicas que perturban el equilibrio, que contribuyen a una evaporación adicional, teniendo como resultado una evaporación continua, dando como resultado las pérdidas y emisiones a la atmósfera [19]

1.4.1.1 Emisiones por aireación. Suceden por aumento de temperatura en la superficie del líquido almacenado, la energía es mayor en las áreas donde la pintura es pobre o está desgastada por el paso del tiempo y consecuencia de la corrosión, ó el mal estado de las paredes y el techo, y dependen del venteo a presión del vacío. El venteo a la presión de vacío evita el desahogo esporádico de vapores cuando ocurren ligeras diferencias de presión interna. Los tanques subterráneos no presentan estas emisiones.

Varios mecanismos están involucrados en las pérdidas por evaporación en el almacenamiento. La fuerza primaria que dirige las pérdidas en tanques fijos es el ciclo diario de calor, que es el causante de que la temperatura del vapor en el tanque se incremente durante las horas del día y decrezca en las horas de la noche, este ciclo hace que la mezcla aire-vapor se expanda e incremente la presión sobre los venteos, que esta ubicados en el techo de los tanques y son los encargados de controlar la ventilación del equipo para evitar daños por sobrepresión o vacío. Del mismo modo dichos venteos son los que liberan las emisiones por evaporación por almacenamiento.

En las horas del día los tanques son expuestos al calor del ambiente, el sol y el intercambio de calor por convección de las corrientes de aire transfiriendo calor al líquido y aumentando la temperatura dentro y aumentando por consiguiente la presión de vapor sobre la superficie del líquido, ya en la noche como es lógico el balance de calor se hará sólo por la convección del aire. Así el ciclo de calor tiene vida y la temperatura del vapor dentro del tanque es dependiente de él, por lo tanto el grado de saturación el venteo depende de la transferencia de masa desde la superficie del líquido al vapor confinado por convección y difusión.

1.4.1.2 Emisiones por trabajo. Se presentan durante el llenado y vaciado del tanque, cuando el vapor es liberado del tanque. Al ser llenado el tanque con el líquido, este desplaza al vapor existente en el tanque o simplemente la nueva mezcla aire – vapor producido por la carga ofrece un aumento de presión que debe ser liberado por los venteos según su diseño, en caso inverso al vaciarse el tanque se debe equilibrar dicha propiedad con aire según se requiera.

Tanques de techo flotante, interno o externo. Los tanques de techo flotante externo, son tanques sin techo fijo con una cubierta que flota sobre el líquido, al contrario de los anteriores los tanques de techo flotante interno, si poseen techo fijo. Otros tipos de emisiones a causa de aumento de accesorio por su diseño son:

1.4.1.3 Emisiones por sellos. Se presentan pérdidas de producto por el borde de los sellos, dependiendo del tipo de sello que va entre la cubierta flotante y la pared del tanque.

1.4.1.4 Emisiones por descarga ó trabajo. Son aportes del líquido evaporado, parecidas a las pérdidas ocasionadas en los tanques de techo fijo, que se adhiere a la pared interior y a las columnas internas del tanque, cuando desciende o asciende el nivel del tanque y la evaporación del líquido en el espacio debajo de la cubierta flotante.

1.4.1.5 Emisiones por accesorios. Varían según la forma como están instalados en la cubierta y según su cantidad. Los accesorios de la cubierta flotante tienen funciones operacionales, monitoreo del producto y mantenimiento del tanque.

1.4.1.6 Emisiones por la costura de la cubierta. Esta clase de pérdidas se presentan en tanque de cubierta flotante de techo apernado.

En tanques presurizados ocurren emisiones durante el llenado y vaciado en operaciones a bajas presiones de 1,5 a 2,5 psi (10.37 – 17.23 KPa) en tanques con venteo a la atmósfera sin sistemas de recuperación de vapores. Los tanques a presiones mayores son considerados herméticos, virtualmente no existe pérdidas. No es correcto estimar por correlaciones las pérdidas en tanques presurizados.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

La primera parte del desarrollo experimental para el análisis de las pérdidas por evaporación de la mezcla Gasolina – Etanol al 10%, se realizó utilizando un equipo debutanizador de gasolina que representa el fenómeno de evaporación. El equipo al cargarse con el combustible es burbujeado con nitrógeno desde abajo, produciendo el desprendimiento de los componentes livianos, para luego ser recogidos en bolsas especiales y llevarlos a un respectivo análisis a través de una cromatografía de gases. Además, se tomo una muestra del combustible liquido residual burbujeado para hacer la medición de su RVP y así obtener una relación de COV's por litro de gasolina en la prueba.

Las condiciones de trabajo para estas pruebas se definieron por una serie de pruebas preliminares y se mantuvieron constantes durante todas las pruebas para cada una de las gasolinas Base y Oxigenadas.

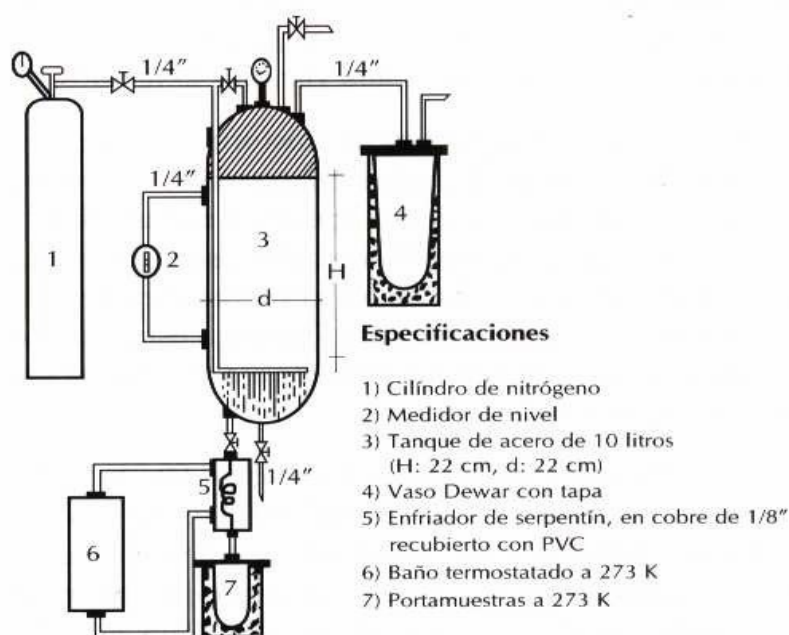
La segunda parte se compone de un muestreo realizado en un carro tanque de la empresa Terpel, para un seguimiento de las condiciones internas y externas a las que se expone el tanque del vehículo al transportar combustible a sus respectivas estaciones de servicio. Además se hace una toma de muestras del combustible para medir su R.V.P y observar el comportamiento del líquido en los diferentes recorridos dentro y fuera de la ciudad, para extrapolar los datos a las gasolina oxigenadas.

2.1 DESARROLLO PRUEBAS EXPERIMENTALES

Se definieron las condiciones de trabajo a través de una serie de pruebas preliminares y luego se llevo a cabo el desarrollo de las pruebas para cada uno de los combustibles con las condiciones halladas.

2.1.1 Descripción del Equipo Debutanizador o Despojador. El equipo despojador de gasolina fue diseñado y construido por el ICP, para un proyecto denominado “Estudio de la Mezcla Gasolina con 10% de Etanol Anhidro y Evaluación de sus propiedades fisicoquímicas” en convenio con la Universidad Industrial de Santander[25]. Para el objetivo de su proyecto definieron las condiciones de trabajo y especificaciones del mismo.

Figura 3. Diagrama Despojador de Gasolinas.



(Fuente: Estudio de la Mezcla Gasolina con 10% de Etanol Anhidro y Evaluación de sus propiedades fisicoquímicas)

El despojador de gasolina, posee siete partes fundamentales mostrados en su diagrama de la Figura 7, donde se puede identificar:

- En la parte central, un tanque de acero (3) con capacidad de 10 litros donde se deposita la muestra. La cantidad de muestra necesaria para la prueba es del 70 a

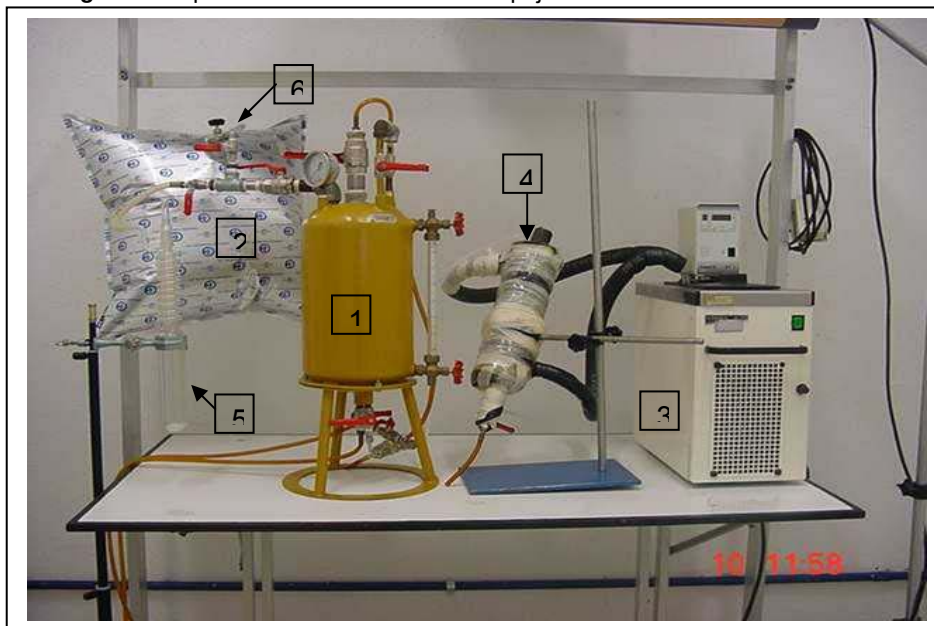
80% (7-8 litros) de su capacidad esto con el fin de tener espacio vacío suficiente para contener los livianos y alcanzar un equilibrio para luego burbujear nitrógeno a una presión constante de 20.68 kPa y por un período de tiempo de 180 segundos.

- Medidor de nivel (2) de vidrio con una escala volumétrica hecha por la calibración del equipo.
- Cilindro de nitrógeno (3) que suministra la cantidad necesaria para liberar los componentes livianos por burbujeo en la muestra. El nitrógeno debe ser industrial y es introducido por un conducto ubicado en la parte superior y conducido hacia el centro del tanque para lograr dicha condición de burbujeo en el combustible.
- El vaso Dewar con tapa (4), encargado de recolectar los livianos a 213 K (-60 °C).
- En la parte inferior del equipo, se ubica el sistema recolector de muestra líquida, compuesto por un serpentín (5) conectado a un baño refrigerante (6) con una temperatura de 273 K (0 °C), que mantendrá la muestra para evitar pérdidas en el momento de la toma de muestra. La muestra será recogida en el portamuestra (7), que tendrá una temperatura de 273 K (0 °C).

2.1.2 Pruebas preliminares. Se verificó la ausencia de fugas que conllevaran a pérdidas de muestra o nitrógeno, en el tanque o mangueras, y pudieran representar una disminución de presión del sistema.

Las pruebas preliminares se realizaron a las mismas condiciones de trabajo expuestas anteriormente. Al terminar el acoplamiento del debutanizador, el objetivo era encontrar un mecanismo por el cual se facilitara la cuantificación y calificación de los COV's, motivo por el cual se cambió el vaso Dewar por una bolsa para la recolección de los componentes livianos de fácil manipulación y que pudiera ser pesada.

Figura 4. Especificaciones Generales Despojadora de Gasolinas.



1. Tanque de Acero
2. Bolsa Recolectora de Tedlar
3. Baño de enfriamiento a 273 K
4. Enfriador de Serpentin
5. Vaso Dejar con tapoa
6. Conexión hacia la bolsa de Tedlar

Por esta razón se añadió una conexión (6) como lo muestra la Figura 4, que permite el paso a una bolsa especial de polímero inerte para compuestos hidrocarburos, llamado Tedlar (2). El resto del equipo se dejó igual, reforzando el aislamiento del serpentín de cobre para evitar la transferencia de calor a la muestra, y evitar las pérdidas de livianos.

Se determinó que la presión del nitrógeno debía ser menor para disminuir su paso y evitar que el exceso innecesario en la bolsa, ya que con una presión de 13.79 kPa y 540 segundos (9 minutos) de burbujeo por bolsa, se obtuvo una cantidad de arrastre de compuestos livianos suficiente para las pruebas y el intervalo deseado en la disminución del RVP de las muestras líquidas apropiado para hacer la relación de gramos por litro de COV's por disminución de R.V.P. para cada gasolina se completaran 1080 segundos que equivale a trabajar con dos bolsas recolectoras de livianos.

2.1.3 Diseño experimental. Las pruebas se dividen en tres etapas, la primera etapa es la preparación de la muestra y la bolsa; la muestra es depositada a través de la válvula 1

Figura 5, en el tanque del equipo debutanizador hasta que ocupe el 70-80% del debutanizador; las válvulas 2, 3 y 4 deben estar abiertas para recoger los vapores en la bolsa que puedan ser liberados en este proceso. Las bolsas son previamente purgadas con nitrógeno y con ayuda de una bomba vacío, se extraen todos los vapores que contenga de componente liviano de la prueba anterior. Se utilizan dos bolsas por prueba previamente pesadas antes de iniciar.

La primera etapa experimental finaliza permitiendo que el sistema se estabilice el tiempo suficiente - más o menos 2 horas -, asegurándose que todas las válvulas estén cerradas para que alcance un equilibrio a la temperatura del laboratorio (aproximadamente 22°C).

Figura 5. Parte Superior Debutanizador: Disposición y función de Válvulas



1. Carga de Muestra
2. Salida de componentes livianos del tanque del debutanizador
3. Entrada a la bolsa de componentes livianos
4. Cierre en la bolsa
5. Entrada de livianos al vaso Dejar
6. Entrada de nitrógeno para burbujeo
7. Entrada de nitrógeno para purga en el equipo

Luego del tiempo de estabilización, se hace una toma de muestra del combustible líquido; Para esto se abren las válvulas 2, 3 y 4 con el fin de recoger los componentes volátiles que se desprendieron durante la estabilización. Luego se abre la válvula 11 Figura 6, que permite el paso de la muestra a través del baño de enfriamiento, el cual disminuye la temperatura a 273 K (0°C) y se recoge en un recipiente de vidrio de 180 ml con su respectiva tapa, para ser llevada a refrigeración a la misma temperatura y evitar pérdida de R.V.P. Se toman 2 muestras para realizar la prueba por duplicado. Se cierran

las válvulas de la parte superior y la válvula 11 inferior y se abre la 12, esto hace que los residuos de muestra sean desalojados por gravedad y posteriormente este conducto se purga con nitrógeno, introduciéndolo por la parte inferior del baño de enfriamiento que conduce la muestra al exterior.

Luego de tomar las muestras iniciales, se prosiguió con la segunda etapa experimental. Se abren las válvulas 2, 3 y 4 nuevamente y se burbujea nitrógeno a través de la válvula 6, durante 180 segundos (3 minutos). Al cabo de este tiempo se cierran las válvulas para dejar estabilizar. La bolsa de recolección de volátiles es pesada al finalizar el burbujeo. Luego del burbujeo se hace una toma de muestra de la misma forma explicada al inicio del procedimiento.

Este procedimiento se realizó para cada burbujeo, se utilizaron dos bolsas por prueba y para cada una de ellas su tiempo de burbujeo es de 540 segundos (9 minutos), además al finalizar la prueba en cada bolsa se tomó otra muestra para hacer una prueba de PIANO o cromatografía de líquido.

Figura 6. Parte Inferior Debutanizador: Disposición y función de Válvulas



- 10. Descarga de muestra líquida del tanque
- 11. Descarga del debutanizador
- 12. Descarga del conducto para la toma de muestra

Las bolsas se mantuvieron dentro del laboratorio, a una temperatura constante para evitar la expansión de los componentes livianos y posteriormente posible ruptura de las bolsas. Terminado el procedimiento, las bolsas son llevadas para el correspondiente análisis cromatográfico. El tratamiento de la muestra y el procedimiento, es exactamente igual para todas las gasolinas y sus respectivas mezclas.

Terminado el tiempo de burbujeo el tanque es desocupado y purgado con nitrógeno. Como tercera y última etapa, se hace el análisis de presión de vapor para las muestras obtenidas de las pruebas, para esto se mide la presión de vapor Reid RVP en el equipo Herzog - Lauda con el seguimiento de la norma ASTM 323-99^a[8]

Obtención de gasolinas y mezclas con etanol anhidro. Para el estudio se utilizó gasolina “regular” y “extra”, sin compuestos oxigenados ni aditivos, obtenidas de las refinerías: Gerencia Complejo Industrial de Barrancabermeja (GCB) y Gerencia Refinería de Cartagena (GRC).

La caracterización de forma típica Tabla 7, de las gasolinas base GCB y GRC y sus respectivas mezclas con Etanol Anhidro, se realizó de acuerdo a las normas ASTM.

El etanol utilizado es de tipo anhidro industrial, tal como se especifica en la Tabla 1 y proviene de la licorera de Cundinamarca. Las gasolinas y el etanol anhidro, fueron mantenidos en un cuarto frío a temperaturas por debajo de los 0°C, para evitar cambios en su composición y pérdida de volátiles por evaporación.

La preparación de las mezclas se realizó según las especificaciones de la resolución 0447 del 2003 desarrollada por el Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial, donde se exponen las condiciones y porcentajes de alcohol carburante para los combustibles oxigenados. El contenido de alcohol anhidro será de 10% v/v, donde las mezclas se prepararon a partir del peso calculado a través de su densidad y volumen establecido según la cantidad que sea necesaria en la práctica. Al igual que las gasolinas base, las gasolinas oxigenadas se refrigeraron para evitar pérdida de volátiles.

Tabla 7. Caracterización de las Gasolinas Base y oxigenadas, GCB y GRC.

Parámetros	Unidad	ASTM	Gasolina				Gasolina + 10% EtOH			
			GCB		GRC		GCB		GRC	
			Regular	Extra	Regular	Extra	Regular	Extra	Regular	Extra
Densidad (15°C)	kg/lt	D-4052	0,7444	0,7449	0,7337	0,7388	0,7482	0,7486	0,7398	0,744
Gravedad API (15.6°C)		D-4052	58,525	58,4	61,3	59,975	57,55	57,45	59,7	58,6125
Presión de Vapor Reid (37.8°C)	kPa	D-323	53,16	56,67	51,46	52,61	57,92	58,61	62,19	54,33
% p/p de Azufre	%	D-4294	0,047	0,054	0,087	0,052	0,042	0,056	0,078	0,05
Corrosión en Lámina de Cobre (50°C)	clasificación	D-130	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A
RON		D-2699	84,9	92,8	84,4	87,2	90	95,6	89	92,2
MON		D-2700	78,9	80,6	78,1	79,8	80,7	82,5	80,4	81,9
Indice Antidetodante (RON+MON)/2			81,9	86,7	81,25	83,5	85,35	89,05	84,7	87,05
índice de cierre de Vapor ICV (°)	kPa		78,02	102,79	74,54	67,34	92,12	111,41	102,33	90,75
Poder Calorífico	MJ/kg	D-240	45,993	46,075	46,514	46,07	44,495	43,951	44,581	44,774
Destilación		D-86								
Punto Inicial de Ebullición	K		310,15	308,65	310,25	311,25	312,5	310,55	312,65	315,25
10%	K		330,75	325,85	30,65	337,95	326,85	323,65	326,95	331,65
50%	K		378,25	370,05	378,75	931,55	366,05	348,05	367,35	385,55
90%	K		447,95	447,75	434,85	447,25	445,55	445,95	432,75	446,75
Punto Final de Ebullición	K		484,95	481,55	481,15	490,25	484,35	483,45	485,25	493,35
% v/v a 70°C	%		22,00	40,84	20,43	13,04	30,45	45,05	40,43	30,18
% v/v a 90°C	%		46,19	50,51	45,25	33,56	51,88	57,82	53,31	44,07
% v/v a 190°C	%		94,94	95,41	96,89	94,85	94,97	95,17	96,99	94,53
Pérdidas	ml		1,1	1,1			1,2	1,3		
Residuo	ml		1	0,9	1,2	1,3	0,9	0,6	0,5	0,9
Cromatografía % v/v	% v/v	D-6623								
Parafinas			12,17	6,06	12,64	11,88	10,85	5,39	11,29	10,53
Isoparafinas			30,16	27,77	31,37	29,45	26,9	24,78	28,07	26,37
Aromáticos			21,40	23,78	15,16	13,67	19,16	2137	13,48	12,32
Benceno			0,77	0,7	0,56	0,42	0,69	0,63	0,51	0,37
Naftenos			11,88	7,39	12,19	10,48	10,57	6,61	10,90	9,34
Olefinas			19,35	29,66	23,30	28,81	17,48	26,62	21,14	21,55
Oxigenados			0,37	0,65	0,40	0,24	10,74	11,1	10,96	10,80
No Identificados			2,16	2,13	3,09	7,20	1,96	1,83	2,56	6,40
C12+			2,50	2,54	1,86	3,27	2,24	2,27	1,61	2,69
Cromatografía % v/v	% v/v	D-6623								
Parafinas			12,17	6,06	12,64	11,88	10,85	5,39	11,29	10,53
Isoparafinas			30,16	27,77	31,37	29,45	26,9	24,78	28,07	26,37
Aromáticos			21,40	23,78	15,16	13,67	19,16	2137	13,48	12,32
Benceno			0,77	0,7	0,56	0,42	0,69	0,63	0,51	0,37
Naftenos			11,88	7,39	12,19	10,48	10,57	6,61	10,90	9,34
Olefinas			19,35	29,66	23,30	28,81	17,48	26,62	21,14	21,55
Oxigenados			0,37	0,65	0,40	0,24	10,74	11,1	10,96	10,80
No Identificados			2,16	2,13	3,09	7,20	1,96	1,83	2,56	6,40
C12+			2,50	2,54	1,86	3,27	2,24	2,27	1,61	2,69
(°) ICV = Presión de Vapor Reid (kPa) + (1.13 * % w/v, Evaporado a 70°C)										
1a = Sustancia no Corrosiva										

El etanol requiere una cantidad mayor de oxígeno para que se lleve a cabo su combustión, cuando es quemado genera menos energía en forma de calor por galón que los hidrocarburos, por este hecho en la caracterización se observa la disminución del poder calorífico de las gasolinas oxigenas, pero la presencia de los átomos de oxígeno en la molécula permiten que la combustión sea mas completa y por lo tanto la disminución de los productos en este proceso.

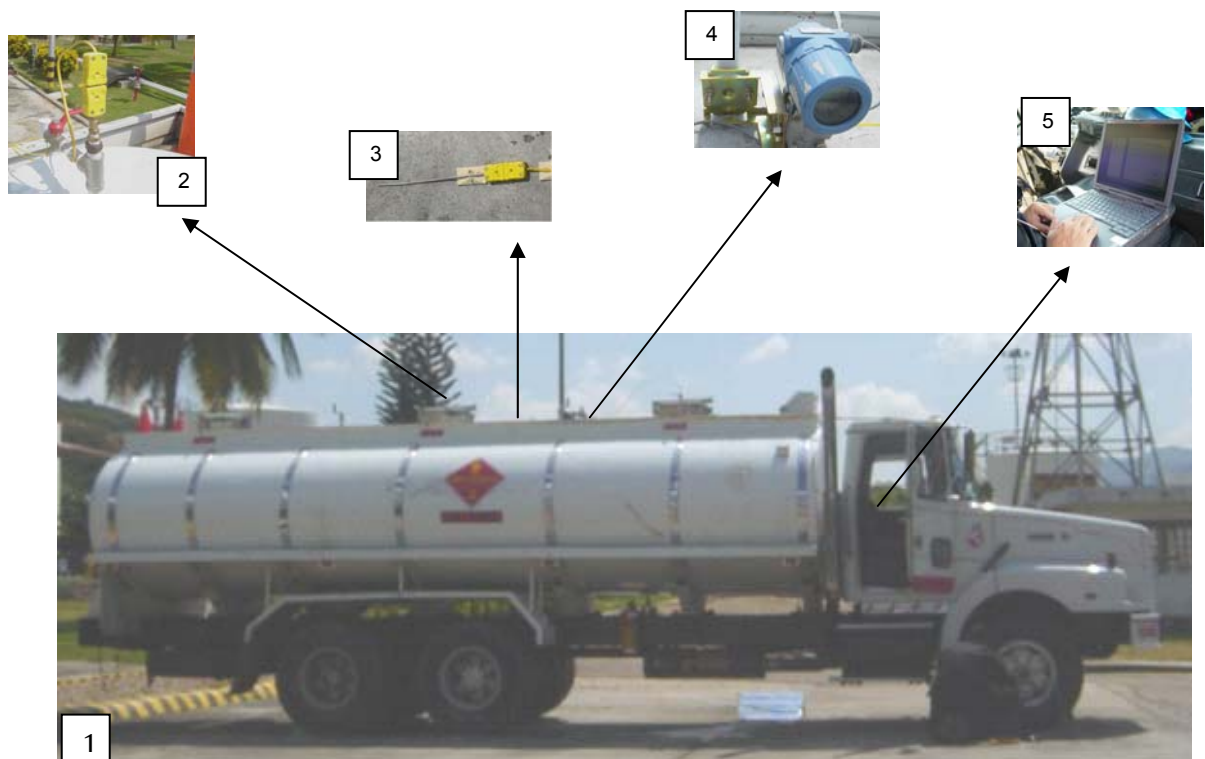
La mezcla gasolina etanol tiene un comportamiento no ideal, relacionado con los puentes de hidrógeno formados entre las moléculas de etanol. El etanol en estado puro puede existir en forma de tetrámero cíclico, cuatro moléculas de etanol son mantenidas por puentes de hidrogeno, así su presión de vapor es relativamente baja. Pero al ser mezclado con solventes no polares como la gasolina sus puentes de hidrógeno se debilitan disminuyendo su fuerza de enlace. Por este motivo el etanol se comporta como una molécula de bajo peso molecular, siendo más volátil y como resultado se obtiene una presión de vapor en la mezcla mayor.

2.1.4 Muestreo en Carrotanque. La toma de datos se realizó, para observar el comportamiento del combustible base, gasolina “regular” y “extra” GCB, en recorridos de la Zona Metropolitana de Bucaramanga y recorridos largos que cubren estaciones de las ciudades de San Gil y Barrancabermeja.

El equipo portátil de recepción de datos utilizado, esta compuesto por: los sensores de presión y temperatura, el transductor, que es un chasis para adecuación de señales de la Nacional Instrument referencia SCXI-1100, que recibe las señales de temperatura en mVoltios y las de presión en mA y transformándolas en señales digitales, conducidas por medio de una tarjeta o PC Card a un computador portátil con el software Labview para la adquisición y tratamiento de datos. La Figura 7 muestra las termocuplas o sensores que proporcionaron información sobre el comportamiento de las temperaturas en diferentes posiciones del carrotanque y el equipo de medición de presión diferencial para el recorrido. La adquisición de datos se hará una vez cada dos segundos, suficiente para recorridos cortos y largos de tres horas aproximadamente, según se analizó en los recorridos de prueba.

Las propiedades que se desean medir son las siguientes, según distribución y necesidades de cobertura en el estudio:

Figura 7. Diagrama del Carrotanque



1. Carrotanque de 5618 galones (21.27 m^3) de Capacidad (Terpel)
2. Termocupla y conexión para el vapor y el líquido
3. Termocupla para la superficie
4. Diferencial de presión
5. Software para adquisición de datos

- Temperatura de líquido, en ese caso de la gasolina se dispuso para el recorrido.
- Temperatura de vapor, dentro del tanque.

- Temperaturas de lámina; para esta parte del muestreo, los sensores dispusieron sobre el tanque en la zona superior, lateral e inferior, para tener un mayor conocimiento de comportamiento de la temperatura sobre la superficie.
- Temperatura del aire
- Temperatura ambiente
- Presión atmosférica y dentro del tanque
- Velocidad promedio del vehículo
- Tiempo en el recorrido.

Las temocuplas que están dentro del tanque, se introdujeron por los conductos de venteo en la parte superior, realizando una conexión Figura 7 en T para este fin.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

A continuación se presentan los datos experimentales que se obtuvieron durante el desarrollo de las prácticas descritas en el capítulo 2.

3.1 PRUEBA DE DEBUTANIZACIÓN.

Se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de debutanización para cada una de las gasolinas base y su respectiva mezcla con etanol anhidro (10% v/v).

3.1.1 Gasolina Regular GCB. En las tablas 8, 9, 10, y 11, se muestran los datos preliminares obtenidos en la prueba de debutanización. Se relaciona el peso ganado por la bolsa al burbujear nitrógeno por el tiempo indicado, la R.V.P. obtenida por duplicado y su respectivo promedio y el volumen remanente en el tanque luego de la toma de cada muestra.

Tabla 8. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Gasolina Regular GCB

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
	7,74	7,73	7,74			
Inicial	7,68	7,78	7,73	7	0	400,8
1	7,6	7,63	7,62	6,53	2	405,8
2	7,41	7,45	7,43	6,09	2	416
3	7,34	7,39	7,37	5,66	3	424,1
4	7,14	7,09	7,12	5,22	3	434,6

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 9. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Gasolina Regular GCB

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	7,14	7,09	7,12	5,22	0	338
5	6,64	6,63	6,64	4,72	4	358,3
6	6,5	6,41	6,46	4,22	4	378,7

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 10 Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Gasolina Regular GCB

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
	7,74	7,73	7,74			
Inicial	7,7	7,77	7,74	7,15	0	404,4
1	7,37	7,33	7,35	6,69	2	419,5
2	7,01	6,9	6,96	6,25	2	433,5
3	7	6,8	6,90	5,83	3	449,3

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 11 Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Gasolina Regular GC B

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	7	6,8	6,90	5,83	0	349,9
4	6,79	6,79	6,79	4,92	3	370,7
5	6,45	6,37	6,41	4,41	4	395,8
6	6,13	6,12	6,13	3,91	2,5	408,4

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

3.1.1.1 Análisis Cromatográfico. El contenido de las bolsas en las que se colectaron los compuestos más volátiles de la gasolina, desprendidos durante el burbujeo con nitrógeno en el tanque, fue analizado en el cromatógrafo de gases Hp 5890 el cual reporta la composición de la muestra en porcentaje molar para algunos hidrocarburos con menos de 6 carbonos, el contenido de otras especies como H₂, N₂, O₂, CO₂, CO y H₂S, y la sumatoria de la fracción molar de los hidrocarburos con mas de 6 carbonos.

Tabla 12. Cromatografía de Gases: Bolsa 1 de la Prueba 1 de la Gasolina Regular GCB

Ret time	Area	Type	Width	Ref #	Amount %	Name
0.482	* not found *			1		HIDROGENO
3.399	290479	MM	0.251	1	6.068	HEXANOS+
6.089	172	MM	0.156	1-R	0.0112	CO2
6.659	30840	BB	0.165	1	1.575	1 PROPANO
7.87	3575	BV	0.183	1	0.192	1 PROPILENO
8.435	44329	VB	0.236	1	2.021	I BUTANO
10.271	78382	BB	0.283	1-R	3.508	N BUTANO
11.937	* not found *			1		H2S
12.751	12891	BV	0.317	1	0.64	I BUTENO
13.257	14502	VB	0.351	1	0.619	1 BUTENO
14.802	23561	BV	0.356	1	1.055	T BUTENO
15.598	201207	VV	0.448	1	8.043	I PENTANO
16.474	23186	VV	0.427	1	1.017	C2 BUTENO
18.586	74266	PF	0.516	1	2.76	N PENTANO
20.561	339	MM	0.376	1	0.0165	1,3 BUTADIENO
23.776	15535	BBA	0.622	1	0.629	1 PENTENO
28.073	378	MF	0.29	1	0.0254	ETILENO
28.685	5085	FM	0.393	1	0.382	ETANO
29.747	5752	MF	0.154	1	0.369	OXIGENO
30.218	945768	FF	0.317	1	71.015	NITROGENO
32.037	574	FM	0.318	1	0.0545	METANO
32.85	* not found *			1		CO
Total amount = 91.7431						
Time Reference Peak		Expected RT		Actual RT		Diference
3		6.075		6.089		0.2%
7		10.261		10.271		0.1%

(Fuente: Cromatografía de Gases-ICP)

La Tabla 12 es una copia del resultado reportado por el cromatógrafo para la bolsa 1 de la prueba 1 de la debutanización de la gasolina regular GCB. Se observa una alta fracción de N₂, pues es el gas con el que se induce el desprendimiento de los compuestos más volátiles de la gasolina; el O₂ presente se asocia al aire que está contenido en el tanque antes de su carga con la gasolina; al igual que la cantidad de CO₂ detectada. En este, y en ninguno de los reportes, se encuentran H₂, H₂S o CO.

Dentro de los hidrocarburos se observa una alta concentración de pentanos, butanos, y de mayor importancia por su alta reactividad cuando están presentes en la atmósfera: los butenos, el 1 penteno y además el 1,3 butadieno por su alta toxicidad.

De forma similar la Tabla 13 presenta el resultado de la cromatografía de gases para la bolsa 2 de la prueba 1 de La gasolina regular GCB.

Tabla 13. Cromatografía de Gases: Bolsa 2 de la Prueba 1 de la Gasolina Regular GCB

Ret time	Area	Type	Width	Ref #	Amount %	Name
0.482	* not found *			1		HIDROGENO
3.402	287176	MM	0.252	1	6.126	HEXANOS+
6.075	* not found *			1-R		CO2
6.674	14963	BB	0.166	1	0.78	1 PROPANO
7.884	1530	BV	0.183	1	0.084	1 PROPILENO
8.451	33525	VB	0.234	1	1.561	I BUTANO
10.29	65934	BB	0.281	1-R	3.013	N BUTANO
11.937	* not found *			1		H2S
12.77	10448	BV	0.317	1	0.53	I BUTENO
13.276	11710	VV	0.353	1	0.511	1 BUTENO
14.825	20176	PV	0.355	1	0.923	T BUTENO
15.622	191493	VV	0.448	1	7.816	I PENTANO
16.498	20280	VV	0.426	1	0.908	C2 BUTENO
18.612	71720	VF	0.516	1	2.722	N PENTANO
20.582	279	MM	0.377	1	0.0138	1,3 BUTADIENO
23.809	14872	BBA	0.63	1	0.615	1 PENTENO
28.038	* not found *			1		ETILENO
28.663	512	MM	0.367	1	0.0393	ETANO
29.762	112	MM	0.125	1	0.00737	OXIGENO
30.23	969794	BB	0.323	1	74.353	NITROGENO
32.009	* not found *			1		METANO
32.85	* not found *			1		CO
Total amount = 89.8495						
Time Reference Peak		Expected RT		Actual RT		Diference
3		6.075		* not found *		
7		10.261		10.290		0.3%

(Fuente: Cromatografía de Gases-ICP)

Se conserva la tendencia en las composiciones con una clara disminución o ausencia de los compuestos más livianos, que seguramente ya han desaparecido en el líquido.

3.1.1.2 Cuantificación de Compuestos Orgánicos Volátiles. Con los resultados obtenidos en la cromatografía de la Tabla 12 y Tabla 13, y los datos obtenidos en las pruebas iniciales se preparó una hoja de cálculo para los valores de emisión de COV's en gramos por litro de cada una de las gasolinas, para su respectiva pérdida de R.V.P. Para fines de cálculo, se considera que los componentes presentes en la muestra son ideales, por lo tanto, la fracción volumétrica es igual a la fracción molar.

Para el balance de masa se tomó una base de cálculo de 1 mol de muestra, y se hallaron los gramos de cada uno de los componentes livianos desprendidos de la muestra de gasolina.

$$MC_i = gr_{COV's,i} = \frac{PM_i * (1 * \%m_i)}{100} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

donde MC_i - Masa total del componente i en la muestra = gr

PM_i - Peso Molecular del componente i en la muestra = $gr_i / mol \text{ de } i$

$\%m_i$ - Porcentaje molar del componente i

A partir del cálculo realizado, se desea encontrar la cantidad total de COV's en la prueba, restando la cantidad que corresponde a compuestos no hidrocarburos: H_2 , O_2 , CO y CO_2 de la masa total encontrada.

$$MC_{NH} = (MC_{H_2} + MC_{O_2} + MC_{CO_2} + MC_{CO}) \quad (7)$$

$$MC_L = \sum_i^n MC_i - MC_{NH} \quad (8)$$

donde MC_{NH} - Masa de componentes no hidrocarburos: H₂, O₂, CO y CO₂

MC_L - Masa de Total de COV's libres

$$\%m_{L,i} = \frac{gr_{COV's,i}}{gr_{COV's,Libres}} = \frac{MC_{L,i}}{MC_L} \quad (9)$$

la ecuación 7 muestra el porcentaje de COV's y posteriormente se cuantifican prueba, teniendo en cuenta el balance realizado para cada bolsa por separado, restando el peso de la bolsa vacía antes de comenzar la prueba y su peso al final de la misma. Al inicio de cada una de las corridas, se asegura que las bolsas estén libres de aire o residuos de vapores, sometiéndolas un proceso de extracción por vacío con ayuda de una bomba.

$$M_{CT,j} = PB_{I,j} - PB_{F,j} \quad (10)$$

donde j - Bolsa recolectora ($j = 1, 2, \dots, n$)

PB_I - Peso de la Bolsa j inicial

PB_F - Peso de la Bolsa j final

Con el resultado de la ecuación 11, se obtiene la masa total de componentes livianos recogidos en la prueba. Con la fracción másica de los componentes no hidrocarburos se realiza el cálculo para encontrar la masa de los COV's totales reales de la prueba.

$$COV's_{Totales,j} = 1 - \left(\frac{MC_{NH}}{MC_i} \right) * M_{COV's,T} \quad (11)$$

Como se requiere el valor de los COV's por litro de muestra, se hace el cálculo con el volumen promedio encontrado a partir de los valores del volumen remanente para cada tiempo de burbujeo reportados en las tablas de la prueba de debutanización en cada una de las bolsas.

$$\bar{V}_j = \frac{\sum V_b}{b} \quad (12)$$

$$M_{j,i} = \frac{COV's_{Totales} * \%m_{L,i}}{100 * \bar{V}_j} \quad (13)$$

Como resultado final se realiza la sumatoria de los COV's para la totalidad de la prueba, encontrando así el total de componentes orgánicos volátiles que se emitieron por causa del burbujeo de nitrógeno.

$$M_{T,COV's} = \sum_j \sum_i M_i \quad (14)$$

Los resultados para la gasolina regular GCB en cada una de las fases de la prueba, se reportan en las Tablas 14 y Tabla 15 para las bolsas 1 y 2 respectivamente.

Tabla 14. Cuantificación de COV's Prueba 1 Gasolina Regular GCB

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0	0	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	6,068	6,126	114	6,9175	6,9836	32,7321	35,4990	1,0089	1,5703	2,5791	34,3628
CO2	0,0112	0	44	0,0049	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1 PROPANO	1,575	0,78	44	0,6930	0,3432	3,2791	1,7445	0,1011	0,0772	0,1782	2,3747
1 PROPILENO	0,192	0,084	42	0,0806	0,0353	0,3816	0,1793	0,0118	0,0079	0,0197	0,2624
I BUTANO	2,021	1,561	58	1,1722	0,9054	5,5465	4,6022	0,1710	0,2036	0,3745	4,9900
N BUTANO	3,508	3,013	58	2,0346	1,7475	9,6275	8,8830	0,2967	0,3929	0,6897	9,1887
H2S	0	0	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,64	0,53	56	0,3584	0,2968	1,6959	1,5087	0,0523	0,0667	0,1190	1,5856
1 BUTENO	0,619	0,511	56	0,3466	0,2862	1,6402	1,4546	0,0506	0,0643	0,1149	1,5308
T BUTENO	1,055	0,923	56	0,5908	0,5169	2,7955	2,6274	0,0862	0,1162	0,2024	2,6964
I PENTANO	8,043	7,816	72	5,7910	5,6275	27,4015	28,6056	0,8446	1,2654	2,1099	28,1112
C2 BUTENO	1,017	0,908	56	0,5695	0,5085	2,6948	2,5847	0,0831	0,1143	0,1974	2,6299
N PENTANO	2,76	2,722	72	1,9872	1,9598	9,4030	9,9622	0,2898	0,4407	0,7305	9,7326
1,3 BUTADIENO	0,0165	0,0138	54	0,0089	0,0075	0,0422	0,0379	0,0013	0,0017	0,0030	0,0396
1 PENTENO	0,629	0,615	72	0,4529	0,4428	2,1429	2,2508	0,0660	0,0996	0,1656	2,2065
ETILENO	0,0254	0	28	0,0071	0,0000	0,0337	0,0000	0,0010	0,0000	0,0010	0,0138
ETANO	0,382	0,0393	30	0,1146	0,0118	0,5423	0,0599	0,0167	0,0027	0,0194	0,2580
METANO	0,0545	0	16	0,0087	0,0000	0,0413	0,0000	0,0013	0,0000	0,0013	0,0169
CO	0	0	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	0,369	0,00737	32	0,1181	0,0024	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	71,015	74,353	28	19,8842	20,8188	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			41,1409	40,4940	COV's (gr/lt)		3,0821	4,4235	7,5056	
	gr de COV's/mol			21,1337	19,6728						
	gr de COV's en la bolsa			18,8011	19,7729						

Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas

Tabla 15. Cuantificación de COV's Prueba 2 Gasolina Regular GCB

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0	0	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	6,005	6,238	114	6,8457	7,1113	33,1410	36,2497	1,1595	2,3256	3,4851	35,1498
CO2	0,0108	0	44	0,0048	0,0000	0,0230	0,0000	0,0008	0,0000	0,0008	0,0081
1 PROPANO	1,347	0,571	44	0,5927	0,2512	2,8692	1,2807	0,1004	0,0822	0,1826	1,8411
1 PROPILENO	0,161	0,0583	42	0,0676	0,0245	0,3274	0,1248	0,0115	0,0080	0,0195	0,1963
I BUTANO	1,91	1,402	58	1,1078	0,8132	5,3630	4,1451	0,1876	0,2659	0,4536	4,5745
N BUTANO	3,392	2,866	58	1,9674	1,6623	9,5243	8,4734	0,3332	0,5436	0,8768	8,8435
H2S	0	0	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,611	0,491	56	0,3422	0,2750	1,6564	1,4016	0,0580	0,0899	0,1479	1,4914
1 BUTENO	0,596	0,477	56	0,3338	0,2671	1,6158	1,3616	0,0565	0,0874	0,1439	1,4512
T BUTENO	1,024	0,884	56	0,5734	0,4950	2,7761	2,5235	0,0971	0,1619	0,2590	2,6124
I PENTANO	7,989	7,97	72	5,7521	5,7384	27,8466	29,2513	0,9743	1,8766	2,8509	28,7533
C2 BUTENO	0,993	0,882	56	0,5561	0,4939	2,6921	2,5177	0,0942	0,1615	0,2557	2,5790
N PENTANO	2,751	2,807	72	1,9807	2,0210	9,5889	10,3022	0,3355	0,6609	0,9964	10,0497
1,3 BUTADIENO	0,0164	0,0119	54	0,0089	0,0064	0,0429	0,0328	0,0015	0,0021	0,0036	0,0363
1 PENTENO	0,623	0,629	72	0,4486	0,4529	2,1715	2,3085	0,0760	0,1481	0,2241	2,2600
ETILENO	0,0159	0	28	0,0045	0,0000	0,0216	0,0000	0,0008	0,0000	0,0008	0,0076
ETANO	0,238	0,0177	30	0,0714	0,0053	0,3457	0,0271	0,0121	0,0017	0,0138	0,1395
METANO	0,0227	0	16	0,0036	0,0000	0,0176	0,0000	0,0006	0,0000	0,0006	0,0062
CO	0	0	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	0,118	0,00447	32	0,0378	0,0014	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	72,177	74,691	28	20,2096	20,9135	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			40,9084	40,5325	COV's (gr/lt)		3,4995	6,4155	9,9151	
	gr de COV's/mol			20,6563	19,6176						
	gr de COV's en la bolsa			22,6718	28,3138						

Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas

3.1.2 Determinación de las Curvas de COV's vs. Pérdida de R.V.P. Desarrollada la metodología de cálculo para determinar la pérdida de COV's, se determinan las curvas para predecir su emisión con respecto a la pérdida de R.V.P. Se desarrolló la ecuación 16 para calcular la masa de COV's por tiempo de burbujeo, basándose en los pesos y la dependencia en relación del tiempo de burbujeo para cada corte respecto al tiempo total.

$$P_{COV's,b} = P_{COV's,b-1} + \frac{\left[PB_b - PB_{b-1} - (M_{CT,j})^* \right] \frac{t_{b,j}}{t_{Tb,j}}}{V_b} \quad (15)$$

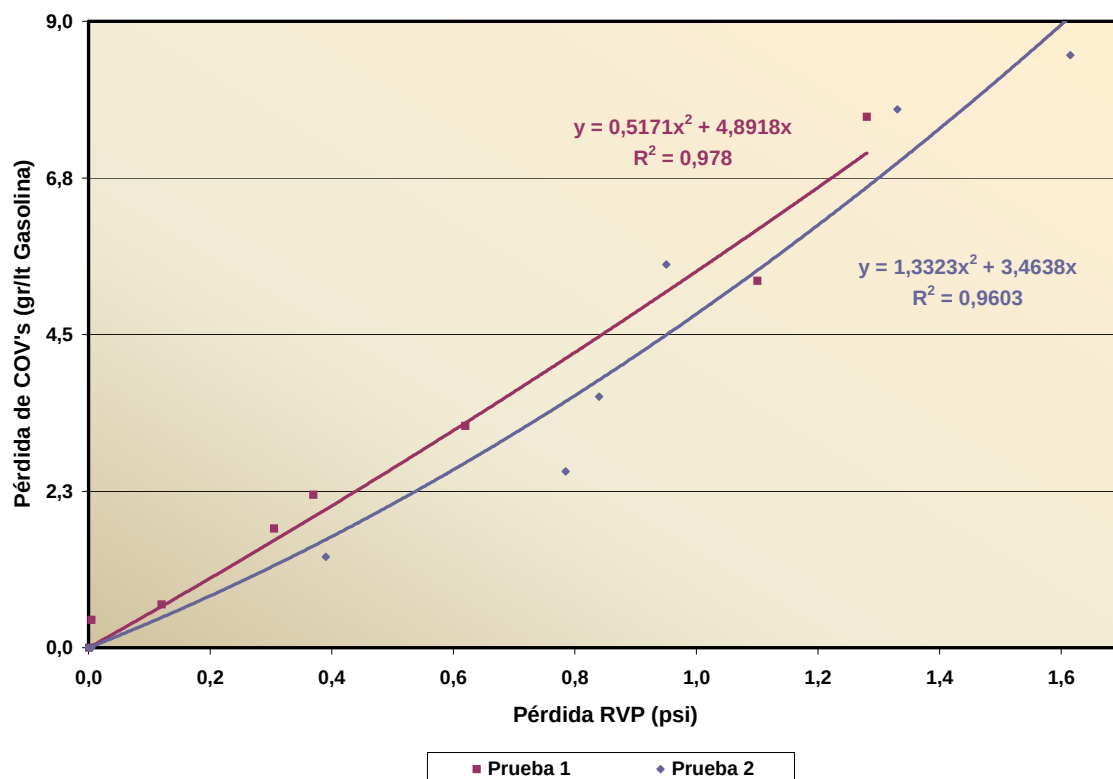
Repetibilidad. Para corroborar los resultados y asegurar la tendencia que presentan los índices de emisión de COV's determinados se realizaron las pruebas por duplicado como se muestra en la Figura 8 partiendo de los datos recolectados de la Tabla 16.

Tabla 16. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Regular GCB

PRUEBA 1		PRUEBA 2	
Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lit Gasolina)	Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lit Gasolina)
0,000	0,0000	0,000	0,0000
0,005	0,4000	0,005	0,0000
0,120	0,6206	0,390	1,3078
0,305	1,7109	0,785	2,5316
0,370	2,1986	0,840	3,6077
0,620	3,1872	0,950	5,5065
1,100	5,2711	1,330	7,7337
1,280	7,6258	1,615	8,5142

Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas

Figura 8. Índices de Emisión de COV's Vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Regular GCB



3.1.3 Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v). Los resultados obtenidos para la mezcla gasolina regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v) se presentan a continuación: prueba 1, Tablas 17 y 18 y para la prueba 2 Tablas 19 y 20, de forma análoga a la expuesta en la gasolina base:

Tabla 17. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
	8,34	8,4	8,37	7,25		349,7
Inicial	8,21	8,3	8,26	6,69	0	351,5
1	8,01	8,09	8,05	6,22	3	361
2	7,9	7,92	7,91	5,72	3	382,5
3	7,66	7,68	7,67	5,22	3	399,2

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 18. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	7,66	7,68	7,67	5,22	0	398,3
1	7,47	7,43	7,45	4,69	3	412,2
2	7,3	7,36	7,33	4,19	3	433,4
3	6,96	7	6,98	3,66	3	444

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 19. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
	8,34	8,4	8,37	7,25		405
Inicial	8,21	8,19	8,20	6,78	0	406
1	7,96	7,96	7,96	6,31	3	423,9
2	7,97	7,9	7,94	5,84	3	440,1
3	7,68	7,76	7,72	5,38	3	456

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 20. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	7,68	7,76	7,72	5,38	0	339,3
4	7,42	7,52	7,47	4,78	3	352,4
5	7,3	7,3	7,30	4,38	3	367,6
6	7,1	7,07	7,09	3,81	3	382,4

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Al comparar el cambio de peso en las bolsas se encuentra un aumento del 15% para la primer bolsa y de un 50% en la segunda para los mismos tiempos de burbujeo.

La pérdida de R.V.P. es relativamente igual para el mismo tiempo de burbujeo de nitrógeno. Se realizó un análisis similar al de la gasolina base para cuantificar los índices

de emisión de COV's que se encuentran en los Anexos A1.1 y A1.2, para la mezcla para su respectiva pérdida de R.V.P, obteniendo los resultados de la Tabla 21.

Tabla 21. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

PRUEBA 1		PRUEBA 2	
Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lit Gasolina)	Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lit Gasolina)
0,000	0,0000	0,000	0,0000
0,115	0,2691	0,170	0,1475
0,320	0,6050	0,410	1,7468
0,460	3,0682	0,435	3,1836
0,700	4,8478	0,650	4,6876
0,920	6,2091	0,900	5,9451
1,040	9,4751	1,070	7,7969
1,390	10,3178	1,285	9,8208

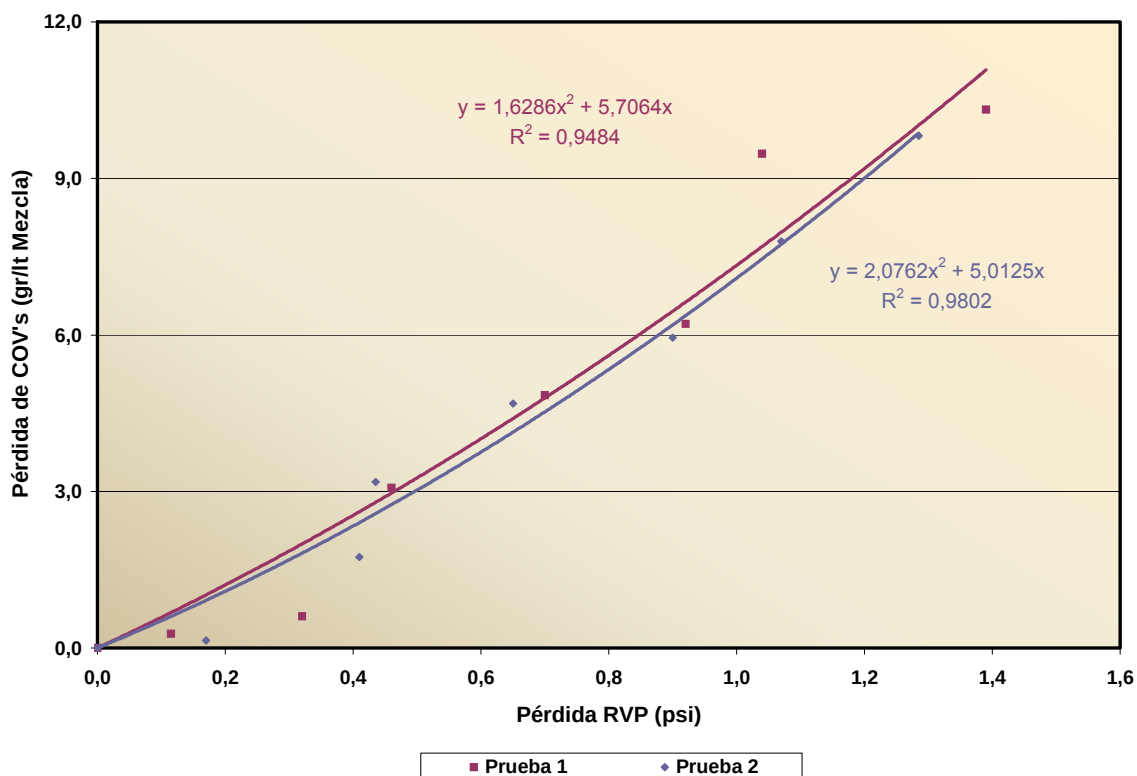
(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

La tendencia de los índices de emisión de COV's y la repetibilidad de la prueba, para la mezcla gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v) se reproducen en la Figura 9.

Con los resultados obtenidos para la gasolina regular GCB y su respectiva mezcla con etanol anhidro se compararon las curvas de índices de emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Se presentan en la Figura 10.

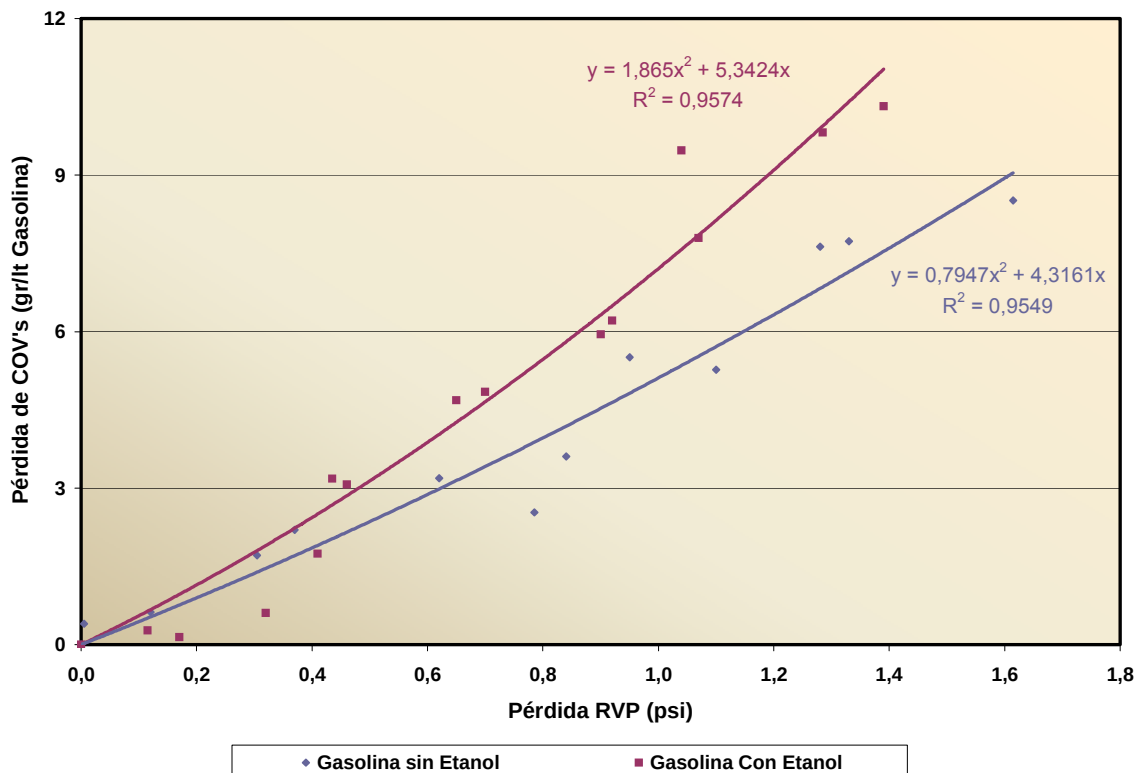
Se observa que para una pérdida de R.V.P. de 1 psi (6,89 KPa) y de acuerdo con la línea de tendencia de los índices de emisión, se obtiene una pérdida de 5,11 gr/lit para la gasolina sin etanol y de 7,21 gr/lit para la gasolina con etanol que se traduce en un incremento de un 41% de pérdida con la mezcla.

Figura 9. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)



La comparación entre gasolinas se realizó para cada uno de los componentes reportados en la cromatografía, según el balance de masa mostrado en las Tablas 14 y 15 y siguiendo la metodología de la misma forma para la mezcla. Los resultados de la cuantificación de COV's perdidos por la gasolina regular GCB y su mezcla con etanol anhidro (10% v/v) se resumen en la siguiente Tabla 22, cuyos datos originan los gráficos de la tendencia de índices de emisión de COV's vs. Δ R.V.P para cada uno de los compuestos volátiles de interés.

Figura 10. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Comparación Gasolina Regular GCB con Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)



En cada una de las figuras siguientes se muestra el comportamiento de los compuestos teniendo en cuenta que presentan la variación de sus emisiones, con respecto a su mezcla para la gasolina: Figura 11: Propano y Propileno, Figura 12: Butanos, compuesto por el n-Butano y el 1-Butano, Figura 13: Butenos (1); 1-Buteno y el c2 Buteno, Figura 14: Butenos (2) formado por I-Buteno. T-buteno y el 1,3 Butadieno, Figura 15 presenta los Pentanos y Pentenos; n-Pentano, i-Pentano y 1-Penteno y por último la Figura 16 que presentan un grupo de compuestos de 6 carbonos y más.

Tabla 22. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P Comparación por Componentes Gasolina Regular GCB con Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

	Gasolina Regular GCB					Mezcla Gasolina Regular GCB - Etanol Anhidro 10% (v/v).				
Pérdida R.V.P.	0	0,62	0,835	1,275	1,61	0	0,65	0,7	1,285	1,39
	Pérdida COV'S gr / lt									
C	0	0,0013	0,0006	0,0013	0,0006	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C2	0	0,0167	0,0121	0,0194	0,0138	0	0,0127	0,0146	0,0139	0,0163
C2=	0	0,0010	0,0008	0,0010	0,0008	0	0,0007	0,0009	0,0007	0,0009
C3	0	0,1011	0,1004	0,1782	0,1826	0	0,1152	0,1202	0,1792	0,1922
C3=	0	0,0118	0,0115	0,0197	0,0195	0	0,0129	0,0136	0,0191	0,0209
N C4	0	0,2967	0,3332	0,6897	0,8768	0	0,3889	0,3935	0,7799	0,8215
I C4	0	0,1710	0,1876	0,3745	0,4536	0	0,2184	0,2226	0,4130	0,4381
1 C4=	0	0,0506	0,0565	0,1149	0,1439	0	0,0643	0,0654	0,1260	0,1335
C2 C4=	0	0,0831	0,0942	0,1974	0,2557	0	0,1072	0,1086	0,2202	0,2322
I C4=	0	0,0523	0,0580	0,1190	0,1479	0	0,0658	0,0672	0,1300	0,1377
T C4=	0	0,0862	0,0971	0,2024	0,2590	0	0,1109	0,1127	0,2247	0,2375
1,3 C4=	0	0,0013	0,0015	0,0030	0,0036	0	0,0018	0,0017	0,0034	0,0034
N C5	0	0,2898	0,3355	0,7305	0,9964	0	0,3929	0,3946	0,8532	0,8963
I C5	0	0,8446	0,9743	2,1099	2,8509	0	1,1401	1,1471	2,4522	2,5786
1 C5=	0	0,0660	0,0760	0,1656	0,2241	0	0,0867	0,0880	0,1886	0,1987
C6 +	0	1,0089	1,1595	2,5791	3,4851	0	1,8186	1,8226	3,9829	4,2047
Total		3,0821	3,4987	7,5056	9,9143		4,5371	4,5733	9,5870	10,1124

(Fuente : Carolina Acero / Maritza Rojas)

Figura 11. Comparación por componentes Gasolina Regular GCB con mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Propano – Propileno

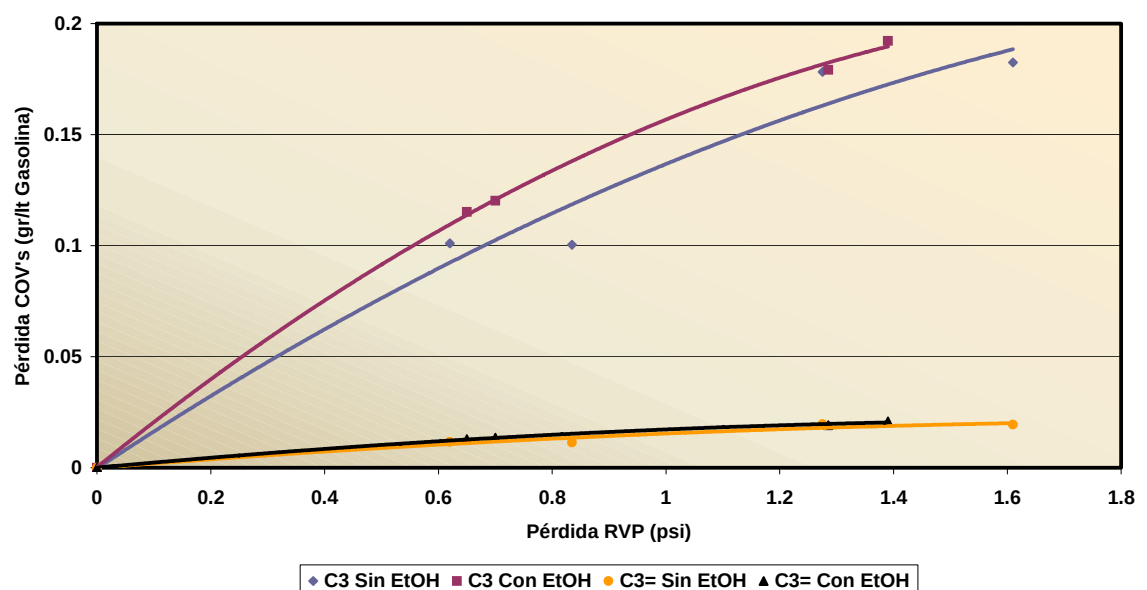


Figura 12. Comparación por componentes Gasolina Regular GCB con mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Butanos

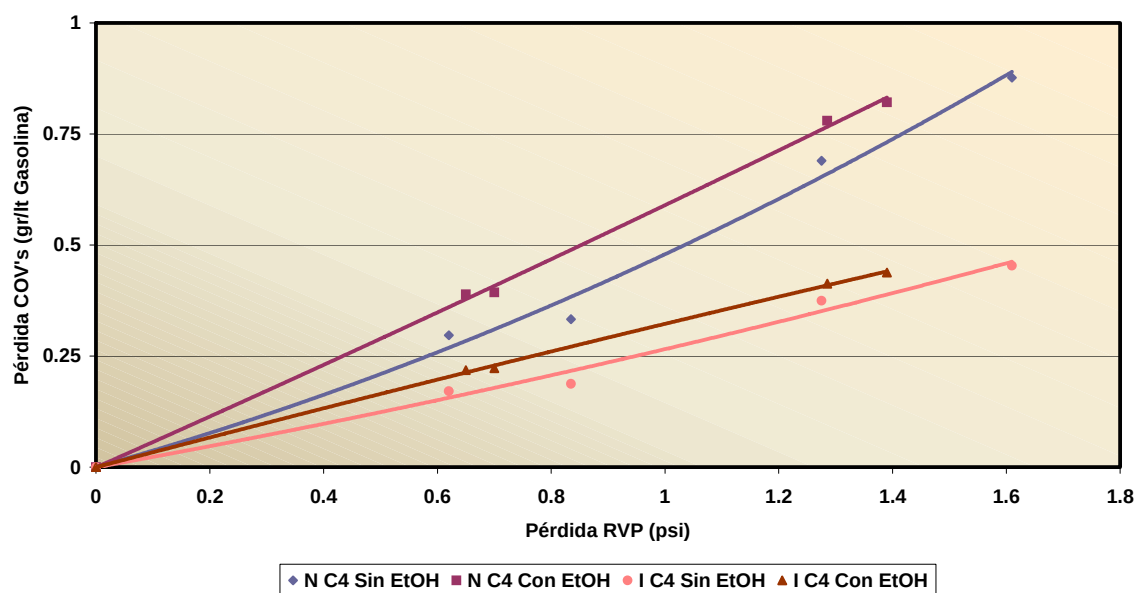


Figura 13. Comparación por componentes Gasolina Regular GCB con mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (1)

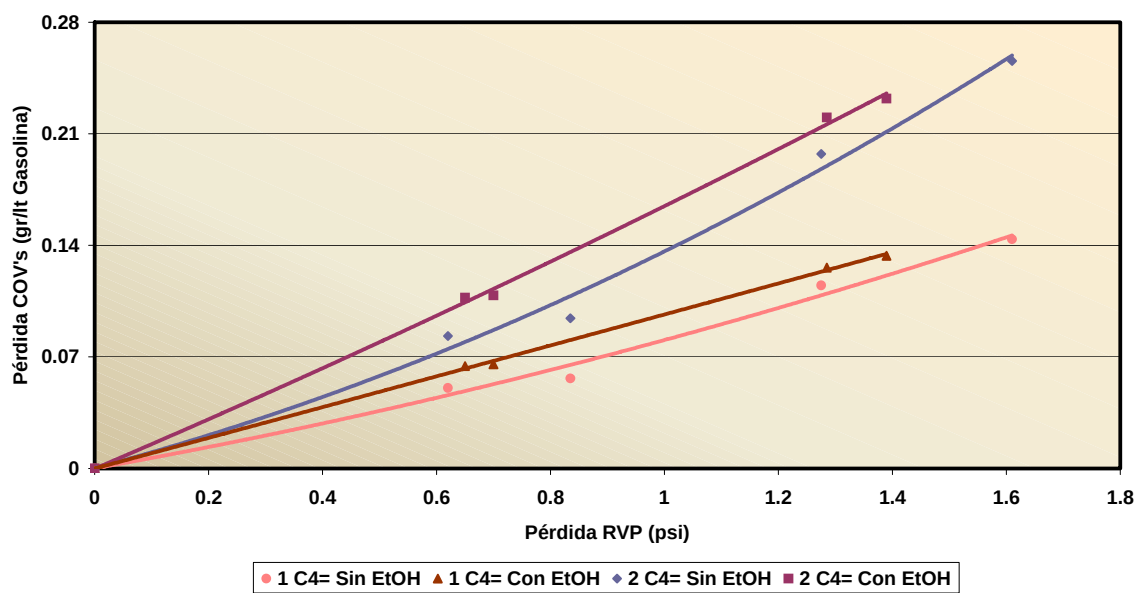


Figura 14. Comparación por componentes Gasolina Regular GCB con mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (2)

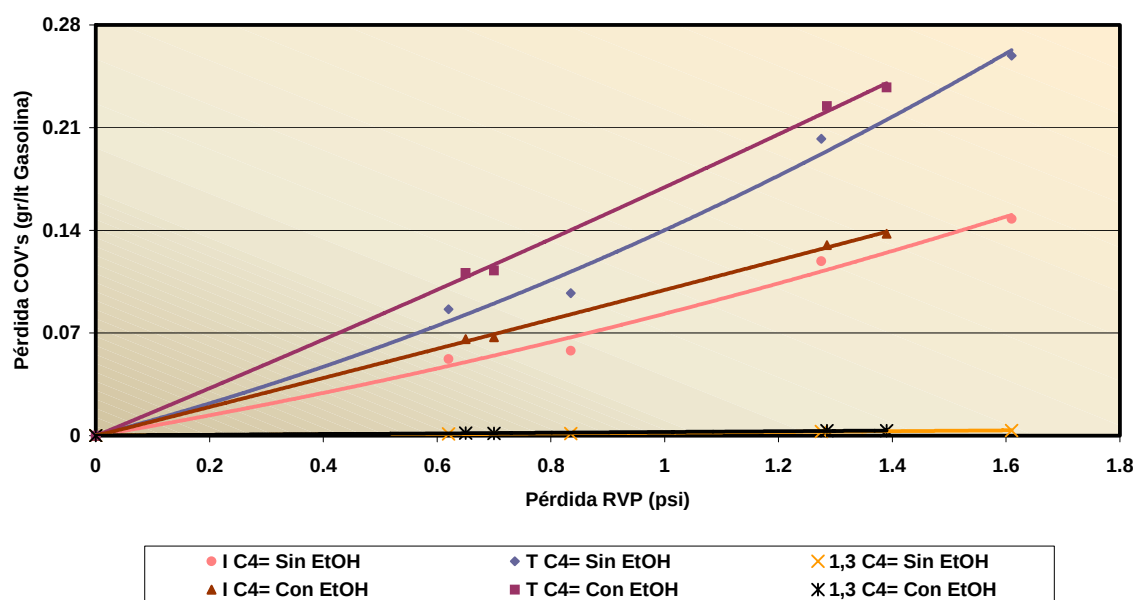


Figura 15. Comparación por componentes Gasolina Regular GCB con mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Pentanos – Penteno

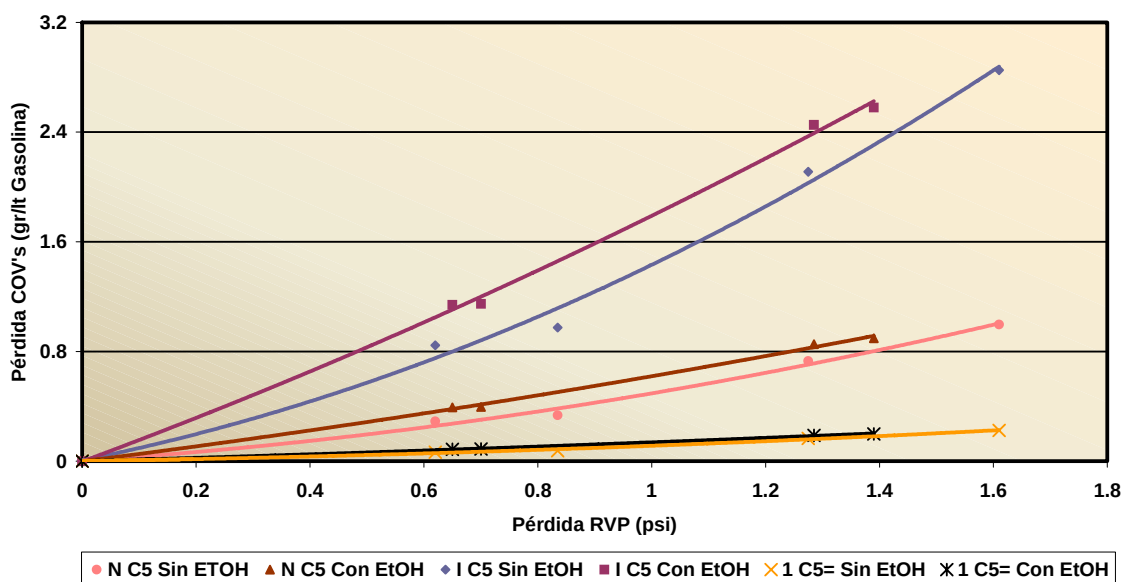


Figura 16. Comparación por componentes Gasolina Regular GCB con mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Hexanos +

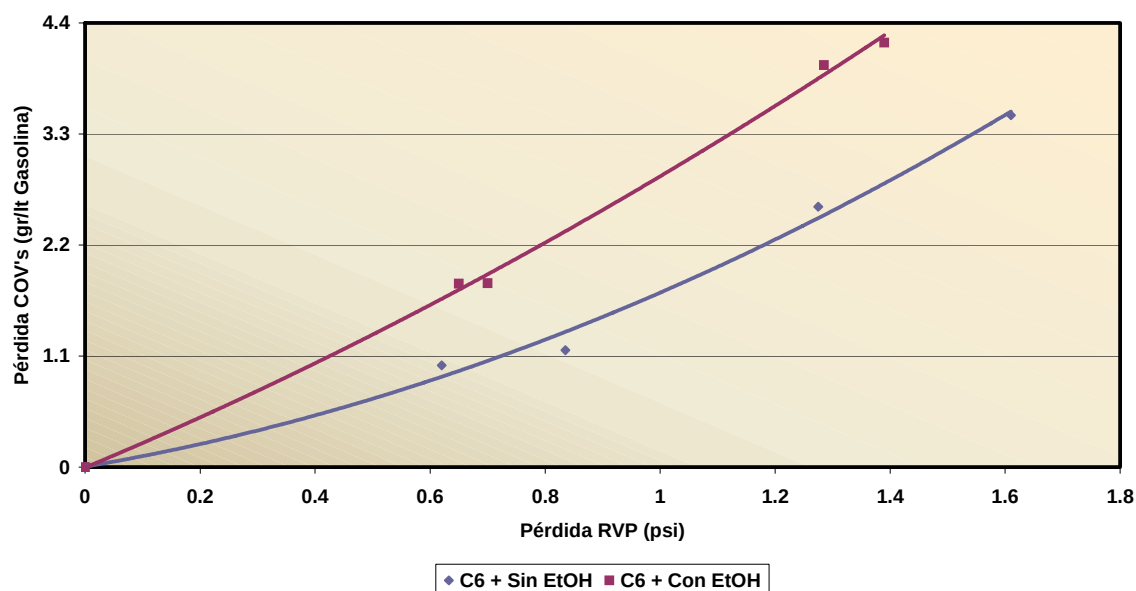


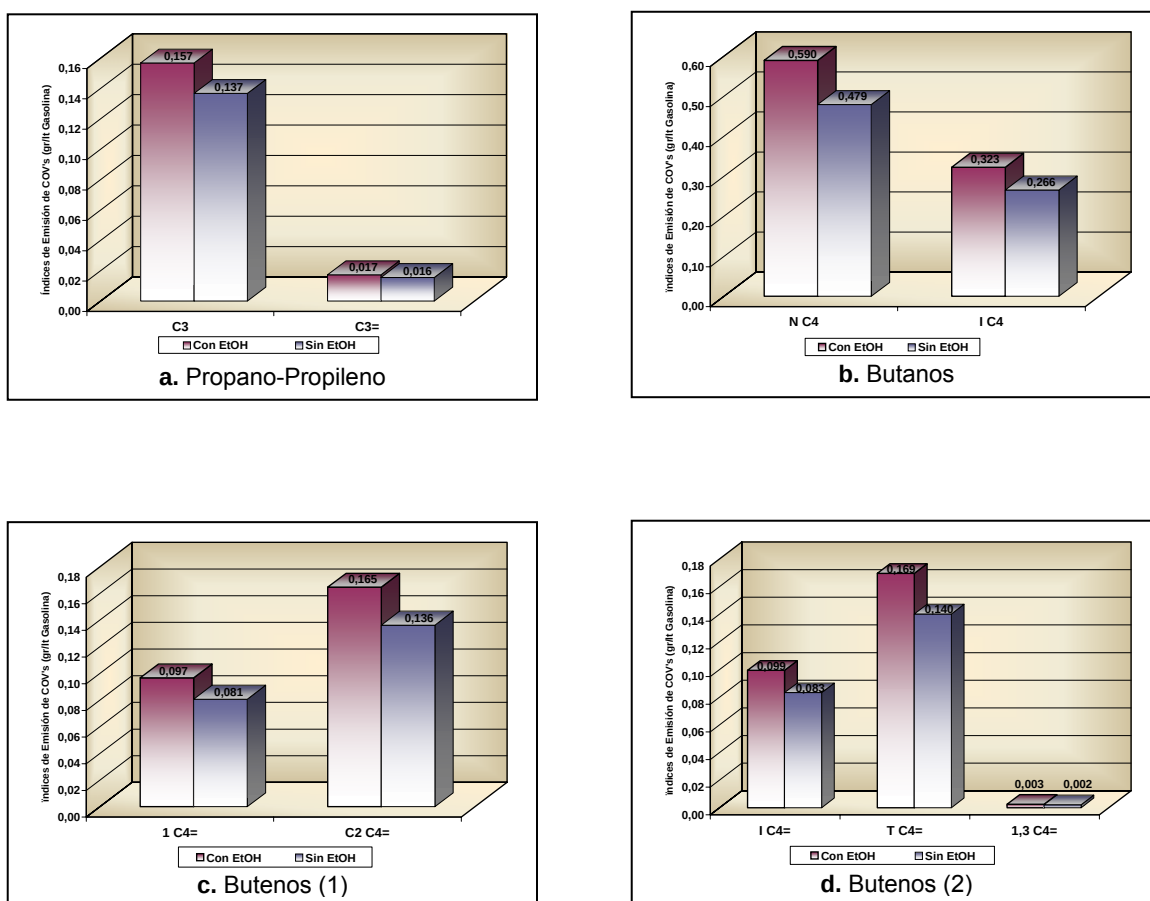
Tabla 23. Aumento Porcentual de los Índices de Emisión por componentes de la mezcla Gasolina Regular GCB– Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Regular GCB

COV's	Con Etanol		Sin Etanol		aumento (%)
	Ecuación	Emisión por pérdida de un psi en R.V.P (gr/lt)	Ecuación	Emisión por pérdida de un psi en R.V.P (gr/lt)	
C3	$y = -0,0522x^2 + 0,209x$	0,1568	$y = -0,0323x^2 + 0,1691x$	0,1368	14,62
C3=	$y = -0,0066x^2 + 0,0239x$	0,0173	$y = -0,0048x^2 + 0,0203x$	0,0155	11,61
N C4	$y = 0,0227x^2 + 0,5671x$	0,5898	$y = 0,1206x^2 + 0,3588x$	0,4794	23,03
I C4	$y = -0,0145x^2 + 0,3372x$	0,3227	$y = 0,0355x^2 + 0,2302x$	0,2657	21,45
1 C4=	$y = 0,0007x^2 + 0,0959x$	0,0966	$y = 0,0168x^2 + 0,0638x$	0,0806	19,85
2 C4=	$y = 0,0121x^2 + 0,1525x$	0,1646	$y = 0,0405x^2 + 0,0957x$	0,1362	20,85
I C4=	$y = 0,0016x^2 + 0,0977x$	0,0993	$y = 0,017x^2 + 0,0662x$	0,0832	19,35
T C4=	$y = 0,0091x^2 + 0,1603x$	0,1694	$y = 0,0379x^2 + 0,1022x$	0,1401	20,91
1,3 C4=	$y = -0,0002x^2 + 0,0027x$	0,0025	$y = 0,0003x^2 + 0,0018x$	0,0021	19,05
N C5	$y = 0,0968x^2 + 0,5225x$	0,6193	$y = 0,2119x^2 + 0,2827x$	0,4946	25,21
I C5	$y = 0,2543x^2 + 1,5347x$	1,789	$y = 0,5814x^2 + 0,8508x$	1,4322	24,91
1 C5=	$y = 0,0211x^2 + 0,1161x$	0,1372	$y = 0,0464x^2 + 0,0657x$	0,1121	22,39
C6 +	$y = 0,5053x^2 + 2,3754x$	2,8807	$y = 0,7519x^2 + 0,9775x$	1,7294	66,57

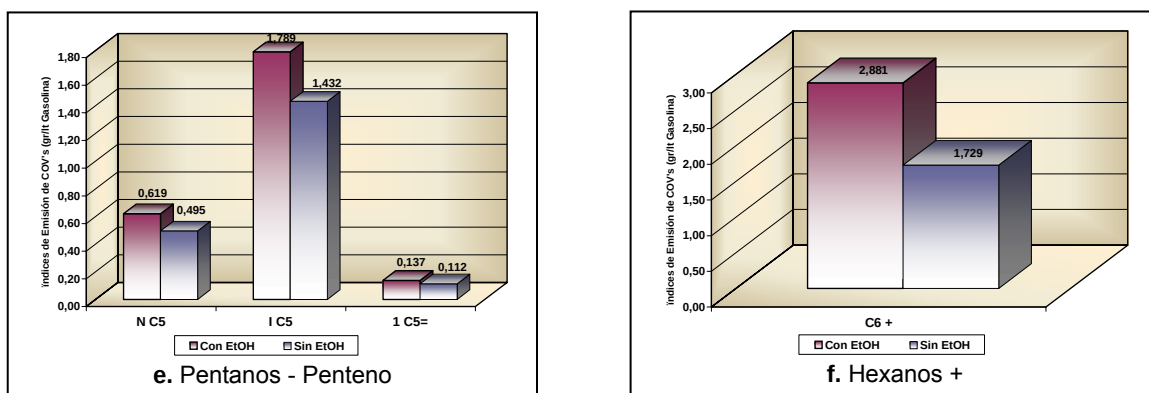
(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

La Tabla 23 muestra en forma resumida el aumento porcentual de cada de los COV's reportado en la cromatografía de gases según su tendencia, con relación a la emisión en gramos por litro calculada por pérdida de 1 psi (6,89 kPa) de R.V.P en la prueba de debutanización. Se observa un incremento del 19 al 20% en los componentes más reactivos para la prueba que en este caso son los butenos y un porcentaje muy alto de los compuestos de más de 6 carbonos.

Figura 17. Comparación por componente de los índices de emisión por pérdida de un psi en R.V.P de la mezcla gasolina regular GCB– etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la gasolina regular GCB



Continuación Figura 17. Comparación por componente de los índices de Emisión por pérdida de 1 psi en R.V.P de la mezcla Gasolina Regular GCB– Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Regular GCB



La figura 17 muestra gráficamente la variación por componentes de los índices de emisión para la disminución de 1 psi (6,89 kPa) de R.V.P de la mezcla con respecto a la gasolina base.

3.1.4 Gasolina Extra GCB. De igual forma que para la gasolina regular GCB, se reportan los datos de la prueba Tablas 24 y 25 y la repetibilidad en las Tablas 26 y 27, de la fase de debutanización para la Gasolina Extra GCB comenzando la prueba con un valor de R.V.P promedio de 8,22 psi (56,68 kPa).

Tabla 24. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Gasolina Extra GCB

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
	8,25	8,18	8,22	7,5625		349,9
Inicial	7,95	8,03	7,99	7,31	0	351,5
1	7,83	7,94	7,89	6,9375	3	367,2
2	7,8	7,9	7,85	6,4375	3	380
3	7,73	7,92	7,83	5,9375	3	392,9

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 25. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Gasolina Extra GCB

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	7,73	7,92	7,83	7,5625	0	398,1
4	7,82	7,7	7,76	5,53125	3	410,1
5	7,7	7,7	7,70	5,03125	3	420,9
6	7,41	7,52	7,47	4,53125	3	437,7

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 26. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Gasolina Extra GCB

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
	8,25	8,18	8,22	7,5625		402,3
Inicial	8,2	8,08	8,14	7,09375	0	404,3
1	8,02	8,2	8,11	6,65625	3	429,7
2	7,95	7,92	7,94	6,09375	3	450,7
3	7,63	7,7	7,67	5,675	3	462,1

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 27. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Gasolina Extra GCB

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	7,63	7,7	7,67	5,675	0	339,4
4	7,59	7,62	7,61	5,2175	3	354,4
5	7,5	7,47	7,49	4,675	3	366,9
6	7,43	7,41	7,42	4,175	3	381,3

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Como resultado, la tabla 28 muestra los índices de emisión por pérdida de R.V.P pertenecientes a la gasolina extra GCB representados por la Figura 18 donde se observa la repetibilidad como respaldo de los datos obtenidos.

Figura 18. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Extra GCB

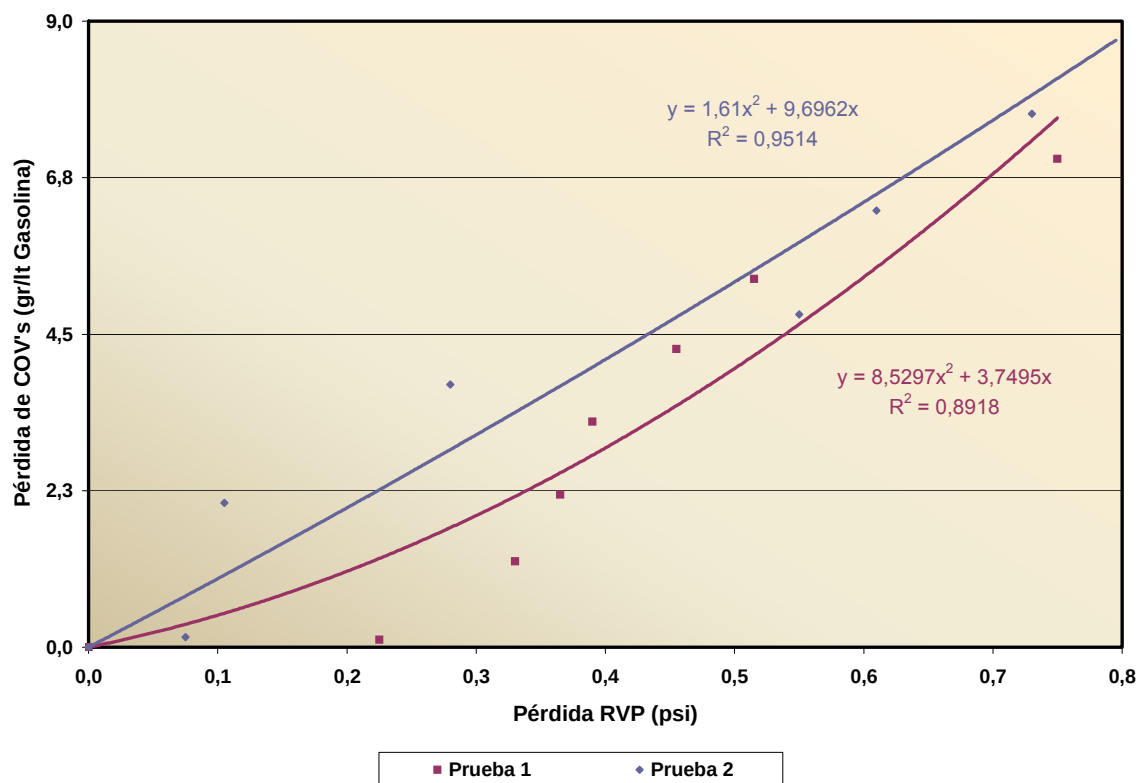


Tabla 28. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Extra GCB

PRUEBA 1		PRUEBA 2	
Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lt Gasolina)	Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lt Gasolina)
0,000	0,0000	0,000	0,0000
0,225	0,1105	0,075	0,1427
0,330	1,2323	0,105	2,0752
0,365	2,1960	0,280	3,7780
0,390	3,2427	0,550	4,7877
0,455	4,2864	0,610	6,2794
0,515	5,2947	0,730	7,6667
0,750	7,0191	0,795	9,4563

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

3.1.5 Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v). La prueba de debutanización para la mezcla de gasolina extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v), se realizó con una muestra de R.V.P igual a 9,05 psi (62,33 kPa), un valor próximo a los requerimientos expuestos por el Ministerio de Minas y Energía, debido al aumento registrado al añadir el alcohol carburante.

Tabla 29. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10 % v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
	9,05	9,03	9,04	7,625		412,4
Inicial	8,82	9,02	8,92	7,125	0	415,2
1	8,8	8,74	8,77	6,625	3	435,2
2	8,69	8,66	8,68	6,125	3	455,1
3	8,52	8,65	8,59	5,625	3	472,7

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 30. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	8,52	8,65	8,59	5,625	0	408,8
4	8,49	8,53	8,51	5,125	3	426,8
5	8,28	8,3	8,29	4,625	3	443,8
6	7,99	8,04	8,02	4,125	3	460,5

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 31. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
	9,05	9,03	9,04	7,125		348,9
Inicial	8,97	9,07	9,02	6,625	0	350,9
1	8,95	8,93	8,94	6,125	3	367,7
2	8,84	8,85	8,85	5,625	3	383,2
3	8,7	8,69	8,70	5,125	3	398

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 32. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	8,7	8,69	8,70	5,125	0	409,8
4	8,45	8,41	8,43	4,625	3	425,9
5	8,37	8,2	8,29	4,125	3	440,9
6	8	8,14	8,07	3,625	3	454,4

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Se observa la disminución de aproximadamente 1 psi (6,89 kPa) de R.V.P en la prueba 1: Tablas 29 y 30 y la prueba 2, Tablas 31 y 32, a partir de la cual se concluye de la Tabla 33 un valor de los índices de emisión cercano y un comportamiento de la repetibilidad que asegura el buen desempeño en la prueba para la gasolina oxigenada Figura 19.

La Figura 20 muestra que para un valor de 0,9 psi (6.21 kPa) de pérdida de R.V.P. de acuerdo a la tendencia del comportamiento de los índices de emisión para cada una de las gasolinas, se obtiene una pérdida de 11,16 gr/lt para el combustible base y de 11,46 gr/lt para el combustible con etanol que se traduce en un incremento en un 2,96 % de pérdida con la mezcla.

Tabla 33. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

PRUEBA 1		PRUEBA 2	
Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lt Gasolina)	Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lt Gasolina)
0,000	0,0000	0,000	0,0000
0,120	0,2233	0,020	0,1605
0,270	1,9390	0,100	1,6186
0,365	3,7854	0,195	3,0834
0,455	5,5636	0,345	4,6185
0,530	7,4786	0,610	6,4712
0,750	9,4828	0,755	8,4066
1,025	11,6902	0,970	10,3886

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Figura 19. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

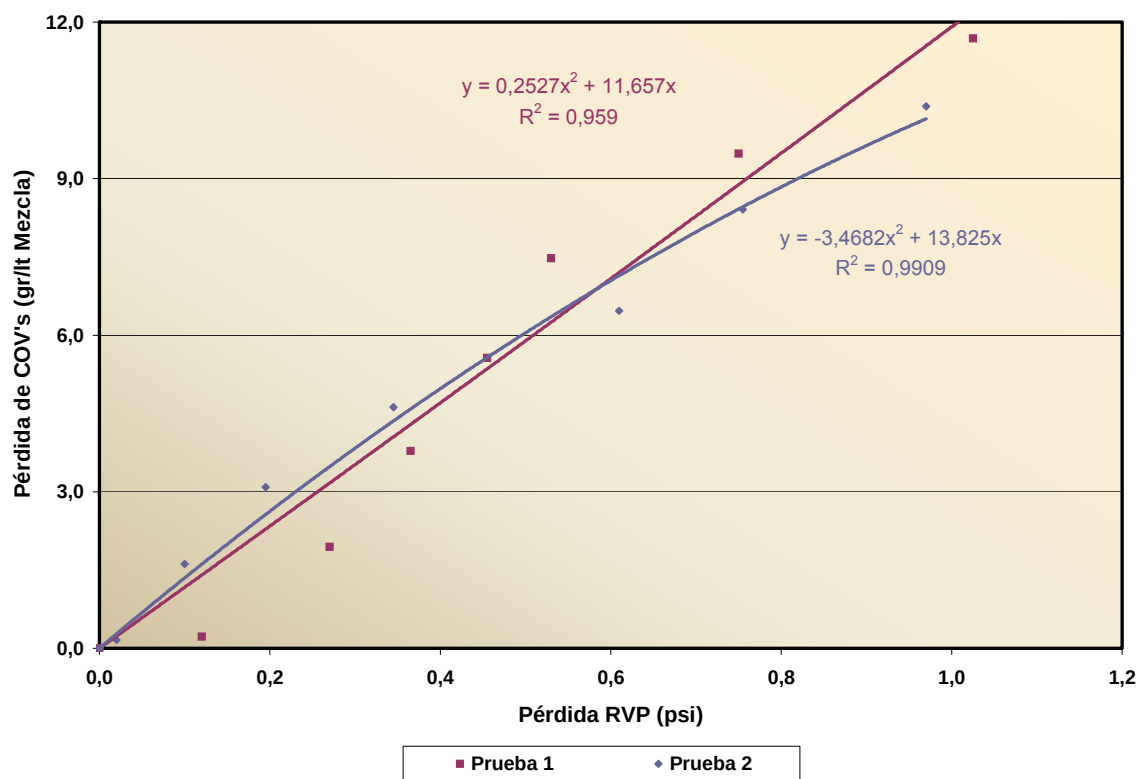
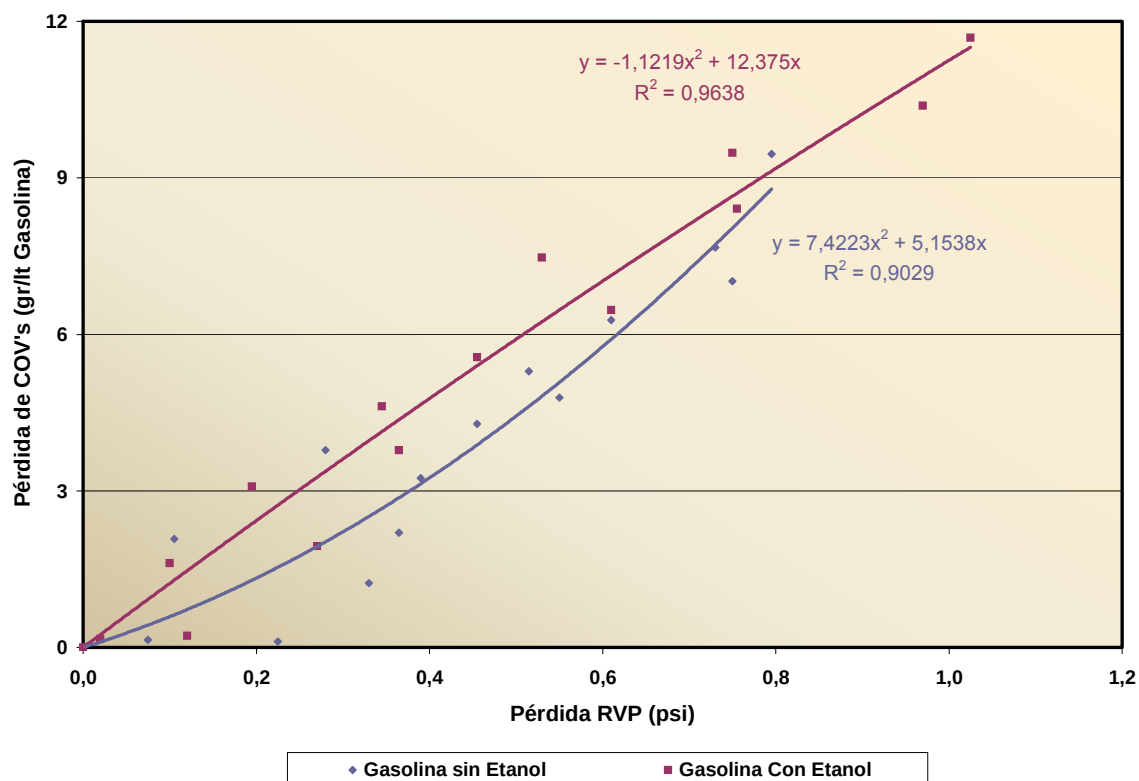


Figura 20. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Comparación Gasolina Extra GCB con Mezcla Gasolina Extra GCB –Etanol anhidro (10% v/v)



La comparación entre gasolinas se realizó para cada uno de los componentes reportados en la cromatografía, los resultados de la cuantificación de COV's perdidos por la gasolina regular GCB y su mezcla con etanol anhidro (10% v/v) se resumen en la siguiente tabla, cuyos datos originan los gráficos de la tendencia de índices de emisión de COV's vs. Δ R.V.P.

Tabla 34. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P Comparación por Componentes Gasolina Extra GCB con Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v)

	Gasolina Extra GRC					Mezcla Gasolina Extra GRC - Etanol Anhidro 10% (v/v).				
Pérdida R.V.P.	0	0,82	1,095	1,575	1,685	0	0,65	0,715	0,7623	1,9686
	Pérdida COV'S gr / lt									
C	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C2	0	0,0094	0,0109	0,0108	0,0119	0	0,0041	0,0045	0,0050	0,0048
C2=	0	0,0004	0,0005	0,0004	0,0005	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C3	0	0,0752	0,0867	0,1245	0,1323	0	0,0441	0,0650	0,0774	0,0976
C3=	0	0,0022	0,0027	0,0033	0,0038	0	0,0012	0,0018	0,0020	0,0024
N C4	0	0,5917	0,6846	1,2715	1,3274	0	0,3921	0,6428	0,8338	1,2795
I C4	0	0,4893	0,5665	0,9924	1,0416	0	0,3166	0,5088	0,6464	0,9484
1 C4=	0	0,0511	0,0591	0,1067	0,1116	0	0,0325	0,0527	0,0679	0,1025
C2 C4=	0	0,1322	0,1528	0,2897	0,3020	0	0,0856	0,1415	0,1852	0,2895
I C4=	0	0,0515	0,0595	0,1081	0,1132	0	0,0329	0,0537	0,0691	0,1045
T C4=	0	0,1641	0,1896	0,3551	0,3705	0	0,1050	0,1728	0,2250	0,3481
1,3 C4=	0	0,0006	0,0010	0,0012	0,0017	0	0,0004	0,0006	0,0007	0,0010
N C5	0	0,1837	0,2123	0,4291	0,4449	0	0,1239	0,2098	0,2806	0,4627
I C5	0	0,4982	0,5758	1,1504	1,1948	0	0,3364	0,5670	0,7548	1,2327
1 C5=	0	0,0317	0,0367	0,0732	0,0766	0	0,0207	0,0353	0,0469	0,0775
C6 +	0	0,8546	0,9829	1,9934	2,0438	0	0,8352	1,4488	1,9238	3,3684
Total		3,1359	3,6215	6,9098	7,1768		2,3306	3,9051	5,1186	8,3196

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Las figuras 21, 22, 23, 24, 25 y 26, muestran el comportamiento individual de los componentes hidrocarburos livianos de la gasolina base y la mezcla gasolina extra GCB – Etanol anhidro (10%), donde se observa que para los componentes de tres, cuatro y cinco carbonos en el intervalo de 0,6 – 0,8 psi (4,14 – 5,52 kPa) de pérdida de R.V.P presenta un cambio en la tendencia y la pérdida de COV's en la gasolina base aumenta con respecto a la mezcla, indicando que la volatilidad disminuye por la disminución de las moléculas de alcohol en ella.

En las figuras se observa que después de una pérdida de aproximadamente 0,9 psi (6,21 kPa) las emisiones de la gasolina extra GCB son mayores que en su mezcla, debido al alto contenido de aromáticos que son componentes afines al etanol y le proporcionan estabilidad a la mezcla.

Figura 21. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Propano – Propileno

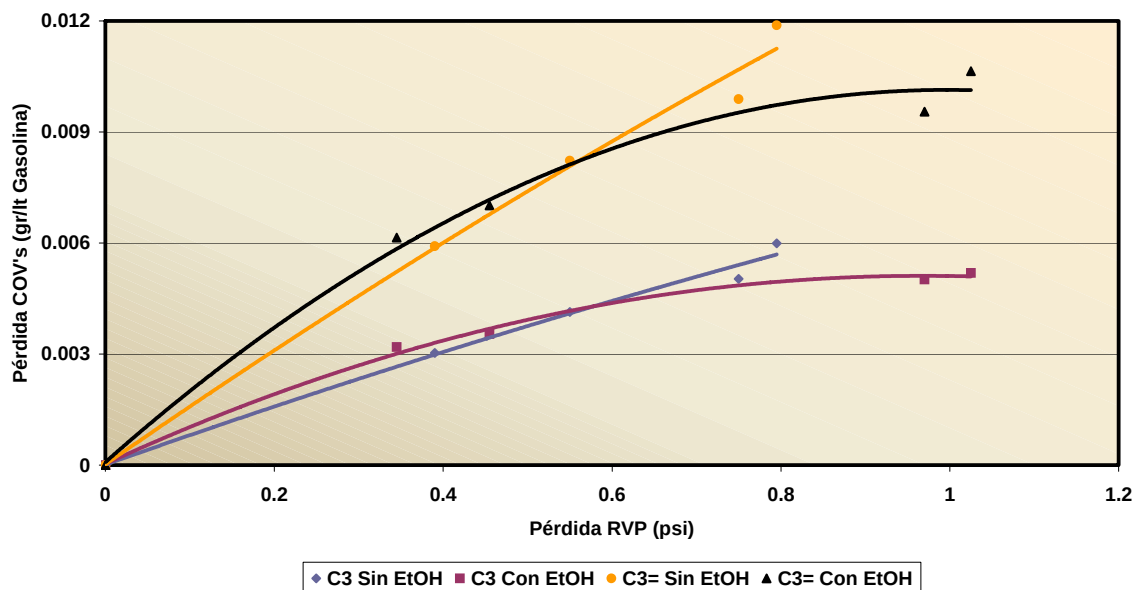


Figura 22. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Butanos

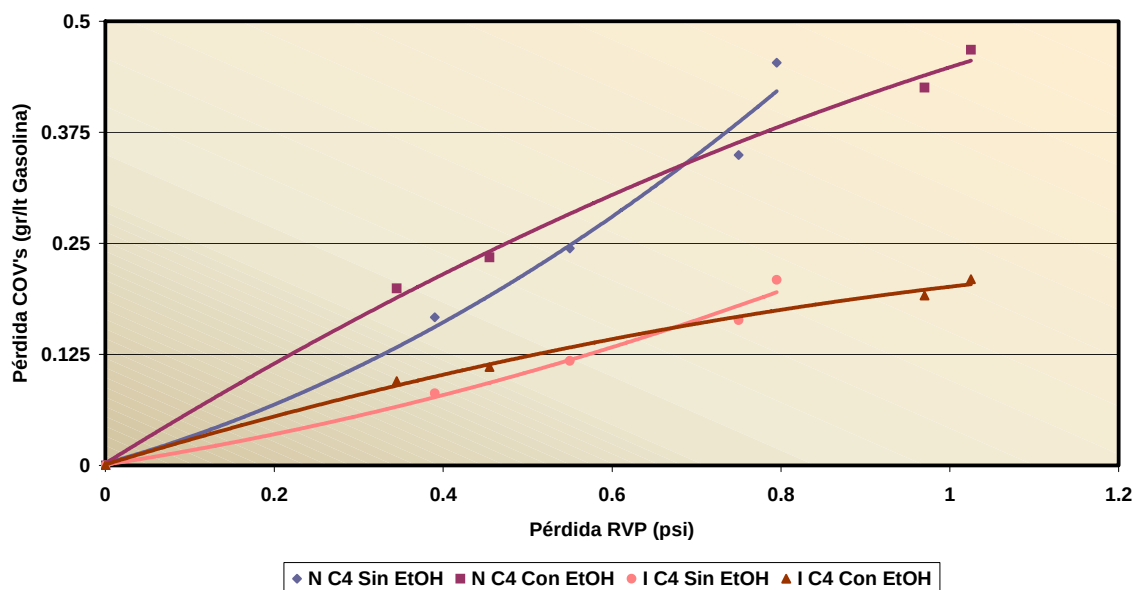


Figura 23. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (1)

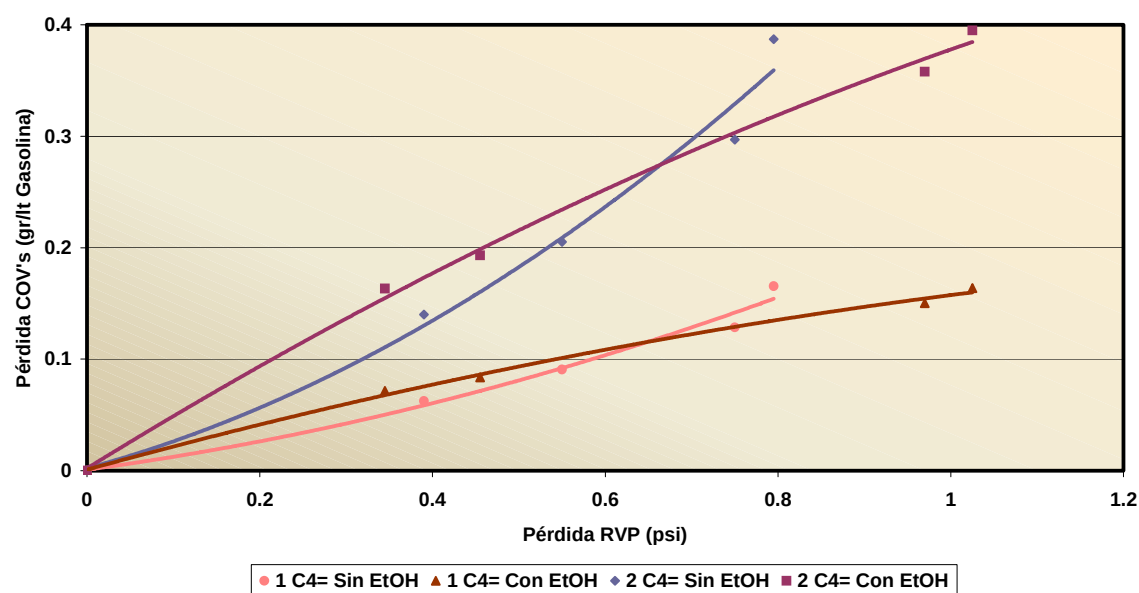


Figura 24. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (2)

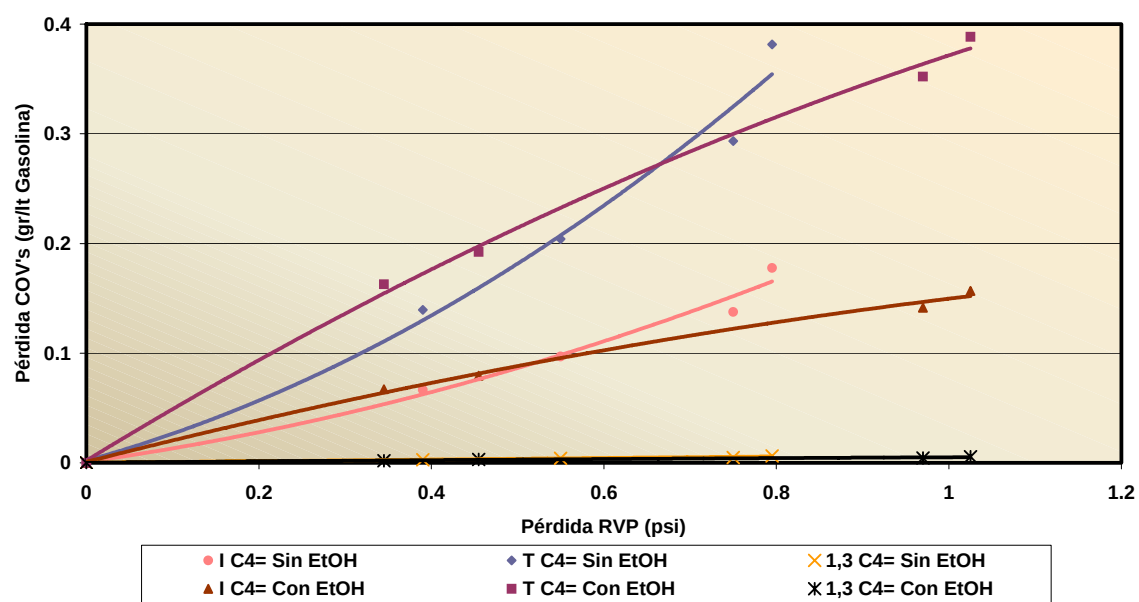


Figura 25. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Pentanos - Penteno

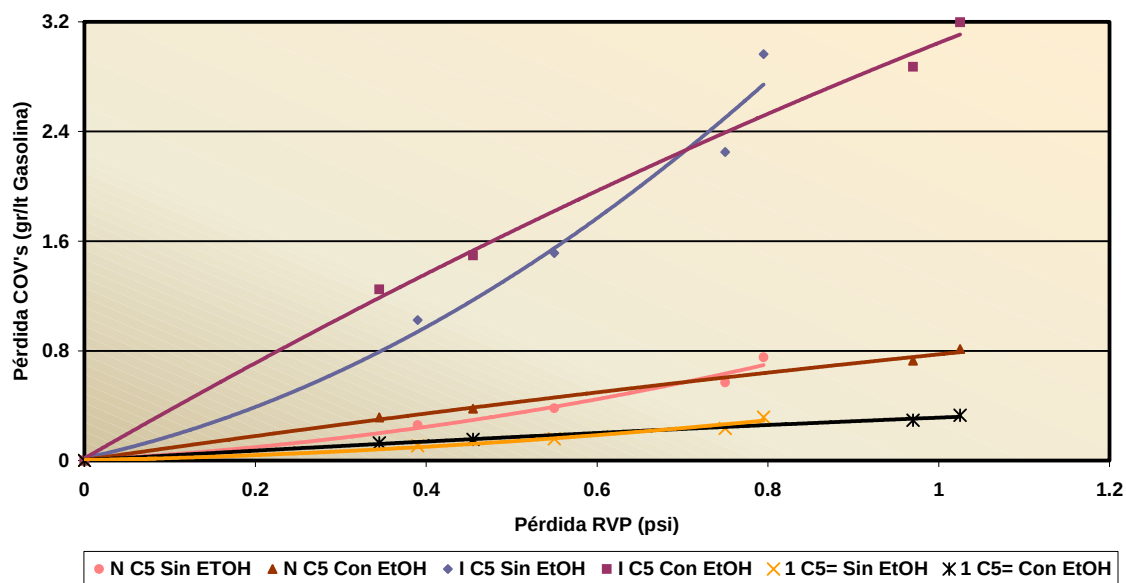
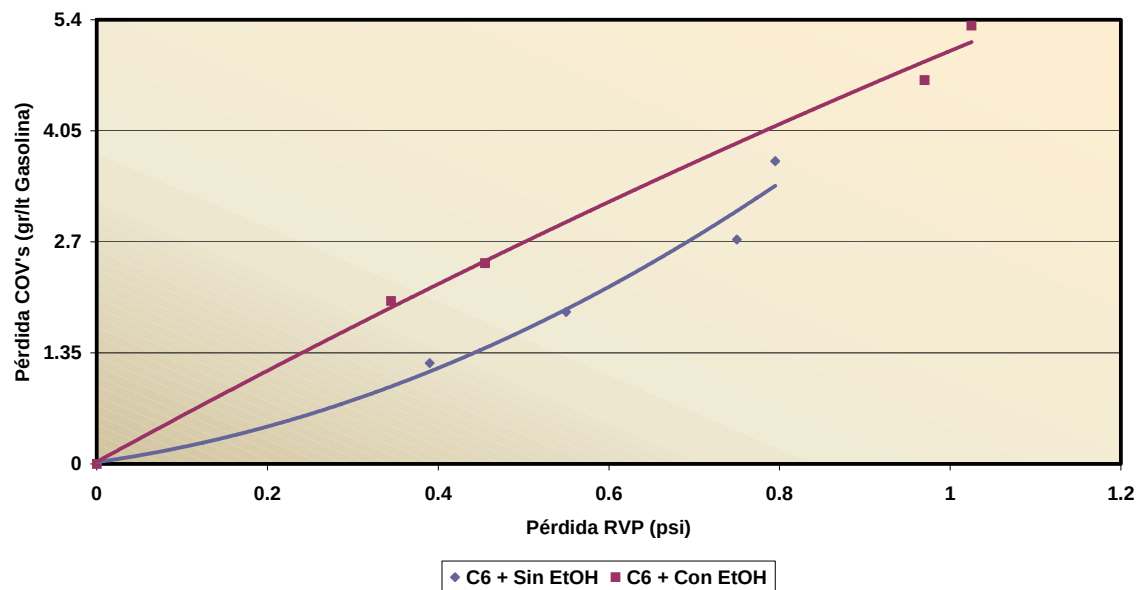


Figura 26. Comparación por componentes Gasolina Extra GCB con mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v): Hexanos +



El comportamiento se mantiene de la misma forma para los componentes agrupados en el grupo de C6+, pero en un intervalo mayor acercándose a un valor de pérdida de R.V.P de 0,9 psi (6,21 kPa).

Tabla 35. Aumento Porcentual de los Índices de Emisión por componentes de la mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Extra GCB.

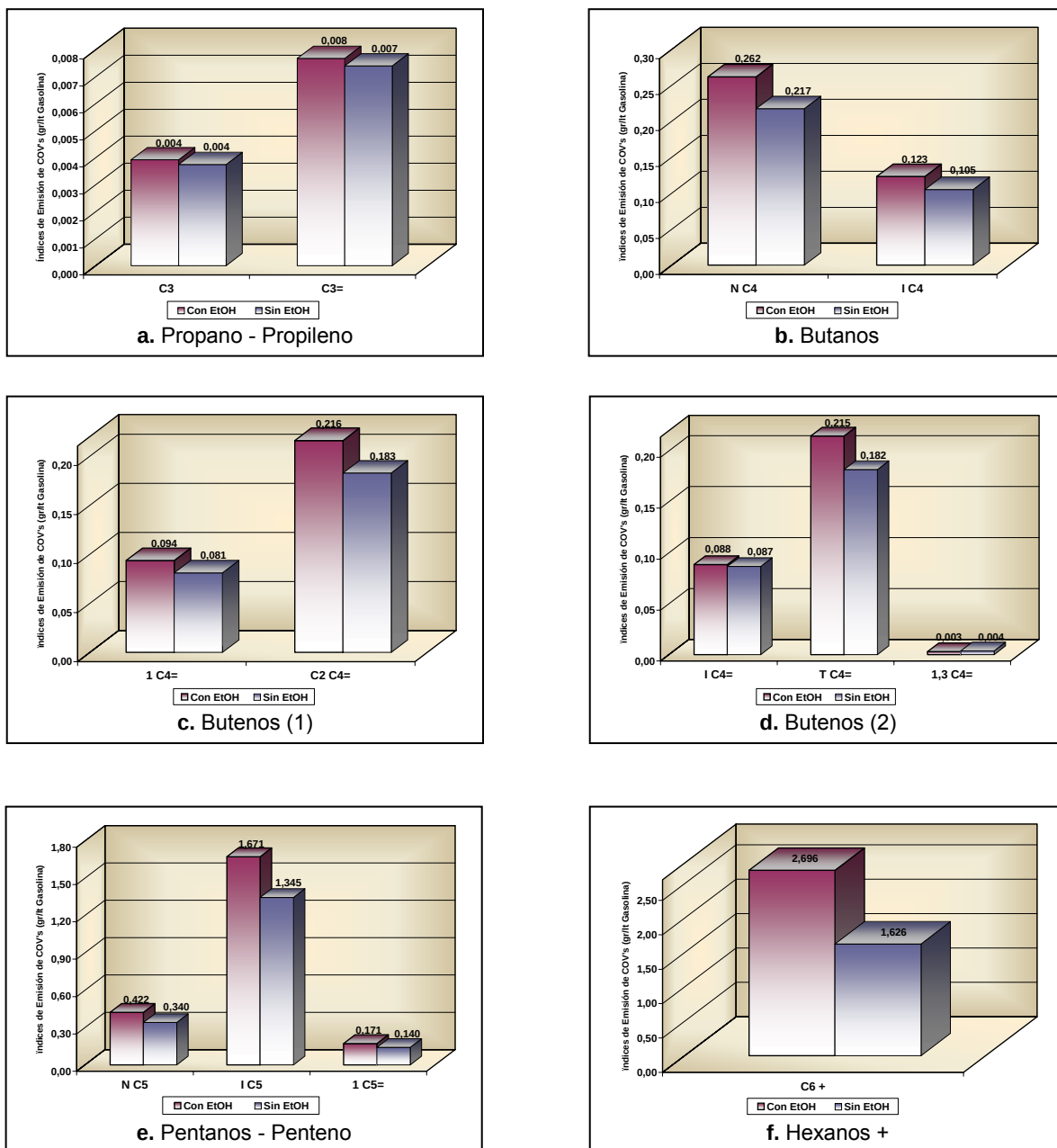
	Con Etanol		Sin Etanol		
COV's	Ecuación	Emisión por pérdida de un psi en R.V.P (gr/lb)	Ecuación	Emisión por pérdida de un psi en R.V.P (gr/lb)	aumento (%)
C3	$y = -0,0055x^2 + 0,0106x$	0,003925	$y = -0,0012x^2 + 0,0081x$	0,00375	4,67
C3=	$y = -0,0103x^2 + 0,0205x$	0,007675	$y = -0,0022x^2 + 0,0159x$	0,0074	3,72
N C4	$y = -0,1504x^2 + 0,5986x$	0,2617	$y = 0,3219x^2 + 0,2739x$	0,217425	20,36
I C4	$y = -0,0906x^2 + 0,2918x$	0,12325	$y = 0,1192x^2 + 0,1505x$	0,10505	17,33
1 C4=	$y = -0,059x^2 + 0,2165x$	0,0935	$y = 0,1083x^2 + 0,1078x$	0,080975	15,47
2 C4=	$y = -0,1078x^2 + 0,4856x$	0,21585	$y = 0,2928x^2 + 0,219x$	0,1827	18,14
I C4=	$y = -0,0541x^2 + 0,2037x$	0,088325	$y = 0,1184x^2 + 0,1138x$	0,0865	2,11
T C4=	$y = -0,1154x^2 + 0,4868x$	0,21455	$y = 0,279x^2 + 0,2238x$	0,18165	18,11
1,3 C4=	$y = -0,0016x^2 + 0,0066x$	0,0029	$y = 2E-05x^2 + 0,0073x$	0,003655	-20,66
N C5	$y = -0,1388x^2 + 0,913x$	0,4218	$y = 0,6605x^2 + 0,3498x$	0,340025	24,05
I C5	$y = -0,5939x^2 + 3,6397x$	1,671375	$y = 2,5771x^2 + 1,4007x$	1,344625	24,30
1 C5=	$y = -0,0562x^2 + 0,3693x$	0,1706	$y = 0,2903x^2 + 0,1351x$	0,140125	21,75
C6 +	$y = -0,7418x^2 + 5,7637x$	2,6964	$y = 3,3998x^2 + 1,5518x$	1,62585	65,85

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

En la Tabla 35, representa un aumento menor del 20% para los componentes mas reactivos y una disminución en 1,3 Butadieno del 20% con respecto a la gasolina base, los compuestos de tres carbonos denotan un aumento pequeño con relación a los demás compuestos.

De la Tabla 35 se puede hacer una comparación por componente de los índices de emisión por pérdida de 1 psi (6,89 kPa) en R.V.P de la mezcla gasolina extra GCB – etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la gasolina extra GCB, como se muestra en la figura 27.

Figura 27. Comparación por componente de los índices de Emisión por pérdida de 1 psi en R.V.P de la mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Extra GCB.



3.1.6 Gasolina Regular GRC. Se realizó La prueba de debutanización con la gasolina regular proveniente de la Gerencia Refinería de Cartagena, con un R.V.P. inicial de 7,89

psi (54,4 kPa), los datos se reportan en las siguientes tablas; para la prueba 1 Tablas 36 y 37, su repetibilidad Tablas 38 y 39.

Tabla 36. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Gasolina Regular GRC

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
						416,1
Inicial	7,88	7,90	7,89	7,1875	0	417,7
1	7,50	7,63	7,57	6,6250	3	440,5
2	7,36	7,26	7,31	6,1563	3	462,4
3	7,13	7,11	7,12	5,6875	3	478

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 37. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Gasolina Regular GRC

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	7,13	7,11	7,12	5,6875	0	349,2
4	6,97	7,06	7,02	5,1250	3	357,6
5	6,67	6,67	6,67	4,6250	3	375,5
6	6,42	6,49	6,46	4,1563	3	389,6

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 38. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Gasolina Regular GRC

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
						409,2
Inicial	7,85	7,93	7,89	7,15625	0	411,7
1	7,6	7,67	7,64	6,6875	3	431,1
2	7,42	7,46	7,44	6,1875	3	448,5
3	7,15	7,25	7,20	5,7835	3	465,3

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

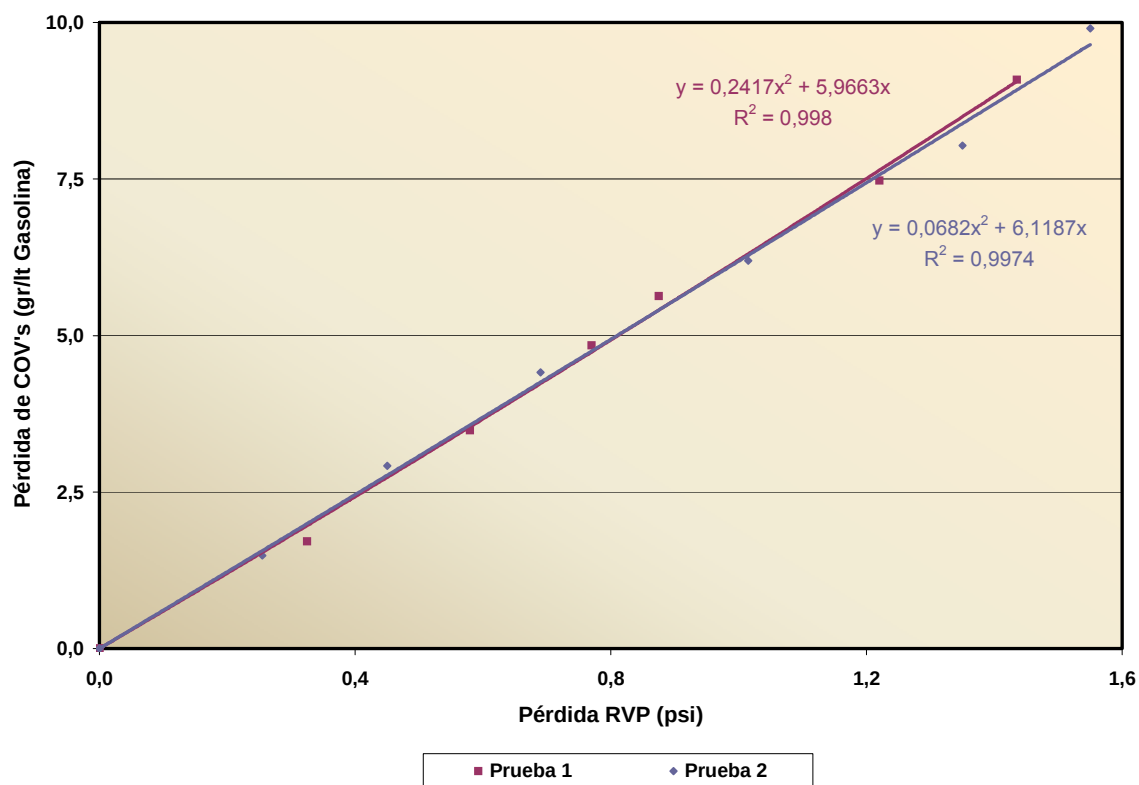
Tabla 39. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Gasolina Regular GRC

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	7,15	7,25	7,20	5,7835	0	349
4	6,85	6,9	6,88	5,3125	3	367,2
5	6,54	6,54	6,54	4,78125	3	384,1
6	6,35	6,33	6,34	4,3125	3	399,6

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Con los resultados obtenidos en las pruebas, se realizaron los cálculos de la Tabla 40 para determinar los índices de emisión de COV's en la gasolina regular GRC, con relación a la disminución de R.V.P.

Figura 28. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Regular GRC



La figura 28 muestra de forma gráfica, el comportamiento de la gasolina de la Tabla 40 y corrobora el resultado obtenido.

Tabla 40. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Regular GRC

PRUEBA 1		PRUEBA 2	
Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lit Gasolina)	Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lit Gasolina)
0.000	0.0000	0.000	0.0000
0.325	1.7121	0.255	1.4889
0.580	3.4819	0.450	2.9178
0.770	4.8464	0.690	4.4090
0.875	5.6275	1.015	6.1940
1.220	7.4720	1.350	8.0356
1.435	9.0889	1.550	9.9082

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

3.1.7 Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v). En la mezcla gasolina regular GRC – etanol anhidro (10% v/v), se observó un aumento de 0,79 psi (5,45 kPa), en el valor de la presión de vapor Reid de la gasolina oxigenada con respecto a la gasolina base.

Tabla 41. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
						404,4
Inicial	8,76	8,74	8,75	7,5000	0	406,2
1	8,56	8,66	8,61	7,0938	3	428,2
2	8,27	8,35	8,31	6,0313	3	448,3
3	8,10	8,20	8,15	6,1250	3	466,2

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 42. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	8,10	8,20	8,15	6,1250	0	409,2
4	7,85	7,70	7,78	5,6719	3	428,5
5	7,59	7,48	7,54	5,1563	3	446,8
6	7,58	7,37	7,48	4,7031	3	463,5

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 43. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
						412,8
Inicial	8,52	8,5	8,51	7,5	0	414,6
1	8,32	8,3	8,31	7,09375	3	434,2
2	8,19	8,19	8,19	6,65625	3	452,6
3	8,06		8,06	6,21875	3	469,2

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 44. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Regular GRC –Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	8,06		8,06	6,21875	0	409,3
4	7,63	7,62	7,63	5,766875	3	428
5	7,49	7,49	7,49	5,375	3	445,2
6	7,37	7,3	7,34	4,921575	3	461

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Los resultados se reportan en las Tablas 41 y 42 para la prueba 1, y para la prueba 2 Tablas 43 y 44, a partir del balance de masa para el cálculo de los COV's se tiene como resultado la Tabla 45 representada por la Figura 29 para la mezcla gasolina regular GRC –etanol anhidro (10% v/v).

Tabla 45. Índices de Emisión de COV's vs. ΔR.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

PRUEBA 1		PRUEBA 2	
Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lt Gasolina)	Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lt Gasolina)
0,000	0,0000	0,000	0,0000
0,140	1,6927	0,200	1,5170
0,440	3,5116	0,320	3,0347
0,600	5,1066	0,450	4,5002
0,975	6,8388	0,885	6,2406
1,215	8,6455	1,020	7,9580
1,275	10,4531	1,175	9,6810

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

En la figura 29 se observa la variación de COV's entre la gasolina regular GRC con la mezcla gasolina regular GRC – etanol anhidro (10% v/v), al disminuir la R.V.P en 1 psi (6,89 kPa) se tiene un aumento de los índices de emisión en 1,49 gramos por litro de combustible lo que se traduce en un incremento respecto a la gasolina base de 23,98%

Figura 29. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

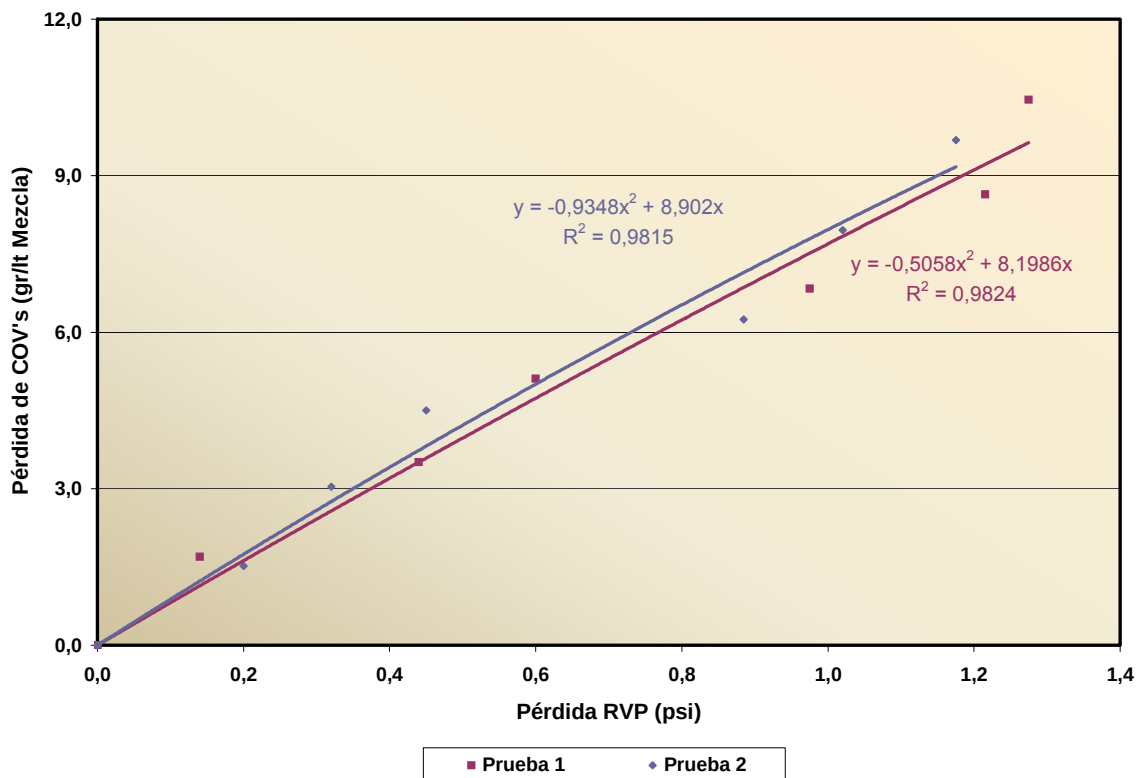


Figura 30. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Comparación Gasolina Regular GRC con Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

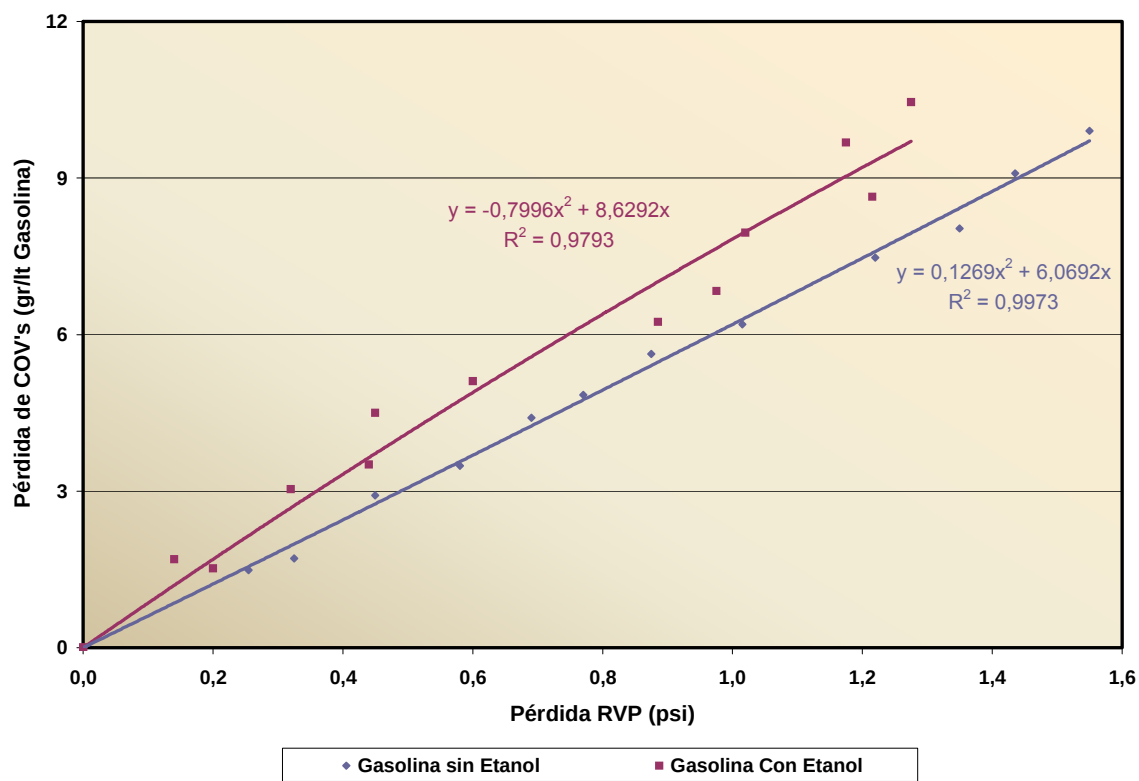


Tabla 46. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P Comparación por Componentes. Gasolina Regular GRC con Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

	Gasolina Regular GRC					Mezcla Gasolina Regular GRC - Etanol Anhidro 10% (v/v).				
Pérdida R.V.P.	0	0,69	0,77	1,44	1,55	0	0,45	0,6	1,18	1,28
	Pérdida COV'S gr / lt									
C	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C2	0	0,0048	0,0057	0,0060	0,0053	0	0,0038	0,0052	0,0042	0,0058
C2=	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C3	0	0,0618	0,0723	0,0998	0,0964	0	0,0536	0,0636	0,0831	0,0961
C3=	0	0,0018	0,0022	0,0029	0,0027	0	0,0016	0,0019	0,0023	0,0028
N C4	0	0,4879	0,5615	0,9677	0,9959	0	0,4319	0,4935	0,8724	0,9581
I C4	0	0,3257	0,3765	0,6175	0,6260	0	0,2872	0,3300	0,5471	0,6069
1 C4=	0	0,1252	0,1443	0,2432	0,2485	0	0,1076	0,1229	0,2122	0,2339
C2 C4=	0	0,2217	0,2540	0,4456	0,4619	0	0,1908	0,2169	0,3945	0,4310
I C4=	0	0,0953	0,1098	0,1858	0,1901	0	0,0942	0,1075	0,1867	0,2054
T C4=	0	0,2474	0,2840	0,4929	0,5090	0	0,2112	0,2437	0,4310	0,4782
1,3 C4=	0	0,0015	0,0019	0,0029	0,0027	0	0,0012	0,0015	0,0024	0,0028
N C5	0	0,3309	0,0000	0,3184	0,7364	0	0,2910	0,3292	0,6410	0,6926
I C5	0	1,0319	1,1724	2,1530	2,2737	0	0,9121	1,0298	1,9879	2,1486
1 C5=	0	0,0832	0,0946	0,1748	0,1852	0	0,0718	0,0808	0,1586	0,1706
C6 +	0	1,5421	1,7218	3,2442	3,4506	0	1,8514	2,0172	4,1680	4,3500
Total		4,5613	4,8011	8,9548	9,7845		4,5092	5,0437	9,6913	10,3830

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Las figuras 31: Propano y Propilenos, 32: Butanos, 33: Butenos (1), 34: Butenos (2), 35: Pentanos y Pentenos y por último los C6+ Figura 36, muestran el comportamiento para cada gasolina, de cada uno de los COV's reportados por la cromatografía de gases, la gasolina regular GRC y la mezcla gasolina regular GRC – etanol anhidro (10% v/v).

Figura 31. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Propano – Propileno

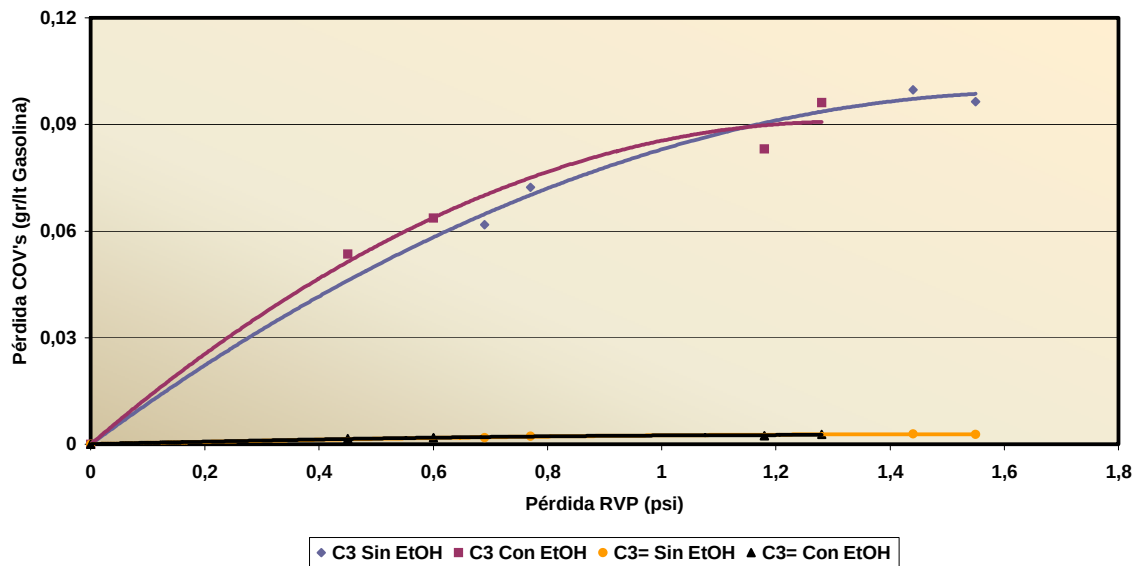


Figura 32. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butanos

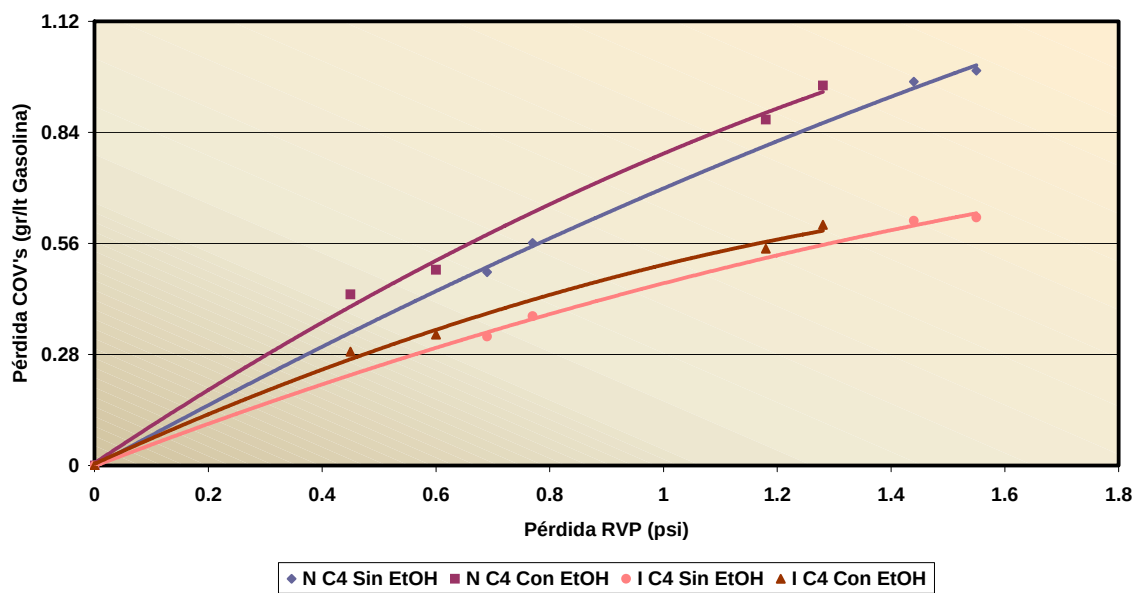


Figura 33. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (1)

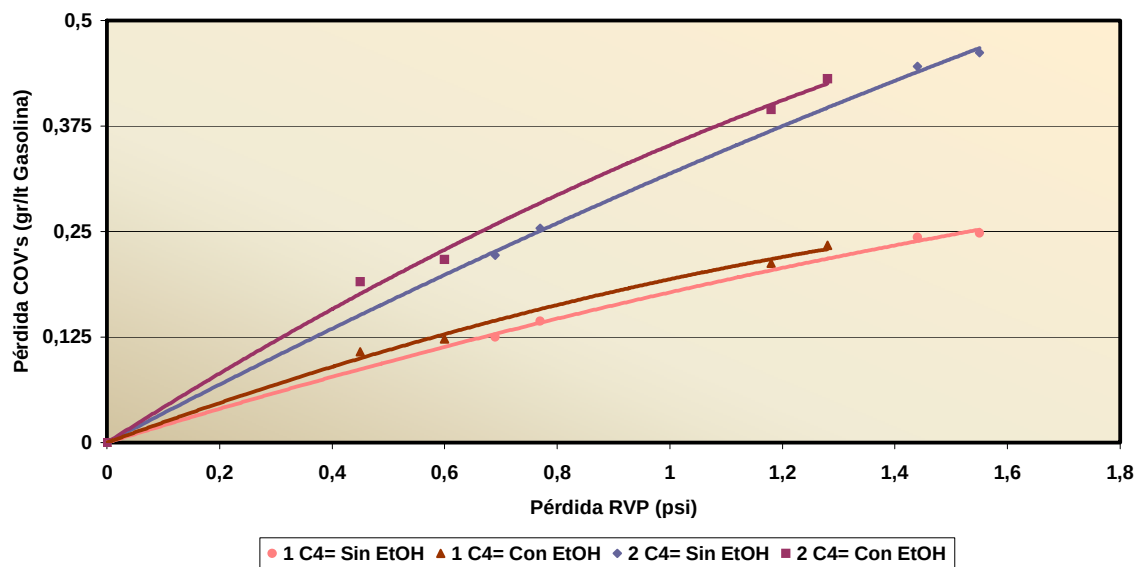


Figura 34. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (2)

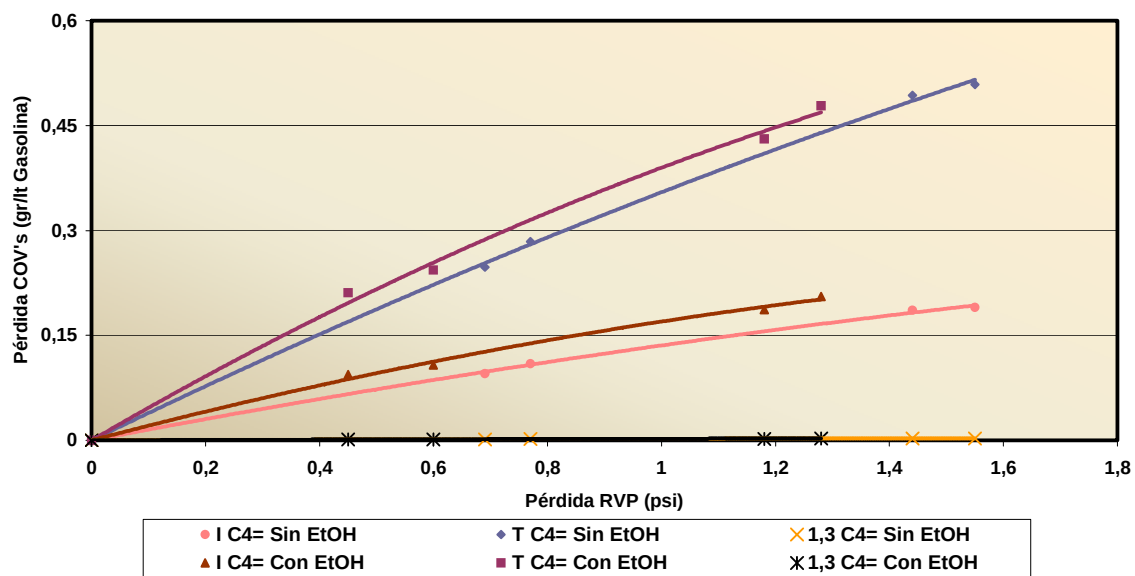


Figura 35. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Pentanos – Penteno

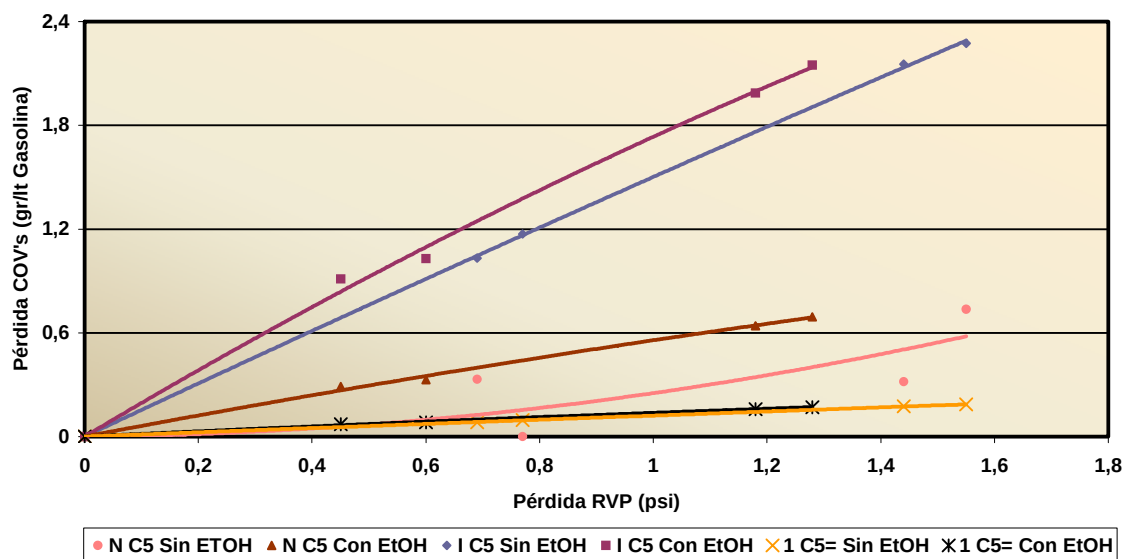


Figura 36. Comparación por componentes Gasolina Regular GRC con mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Hexanos +

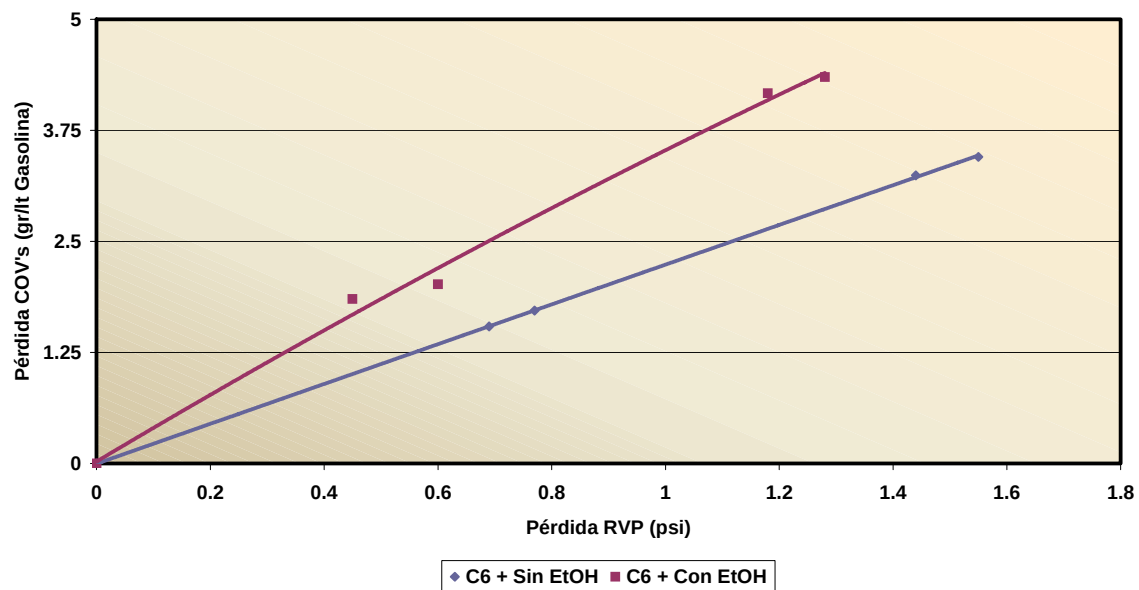


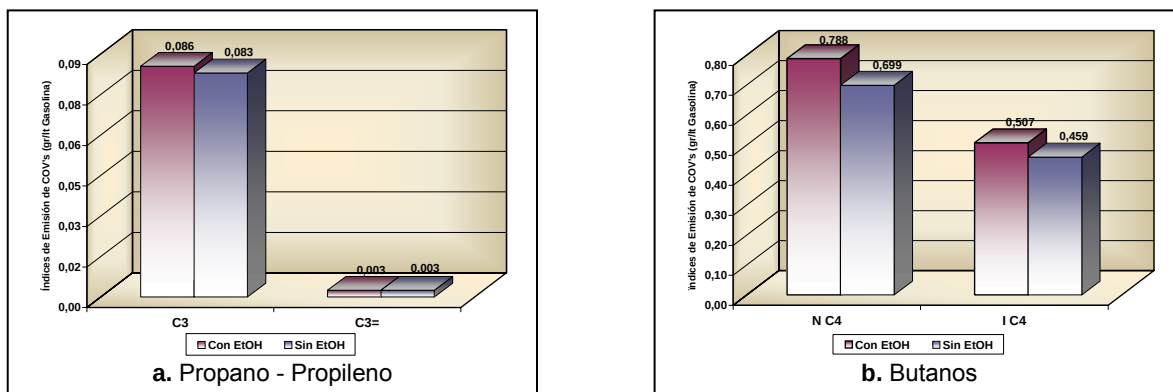
Tabla 47. Aumento porcentual de los Índices de Emisión para cada compuesto de la mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Regular GRC

COV's	Con Etanol		Sin Etanol		aumento (%)
	Ecuación	Emisión por pérdida de un psi en R.V.P (gr/lt)	Ecuación	Emisión por pérdida de un psi en R.V.P (gr/lt)	
C3	$y = -0,052x^2 + 0,1375x$	0,0855	$y = -0,0352x^2 + 0,1182x$	0,083	3,01
C3=	$y = -0,0016x^2 + 0,0041x$	0,0025	$y = -0,0012x^2 + 0,0037x$	0,0025	0,00
N C4	$y = -0,1856x^2 + 0,9733x$	0,7877	$y = -0,0862x^2 + 0,7849x$	0,6987	12,74
I C4	$y = -0,1601x^2 + 0,6672x$	0,5071	$y = -0,089x^2 + 0,5484x$	0,4594	10,38
1 C4=	$y = -0,0515x^2 + 0,2451x$	0,1936	$y = -0,0277x^2 + 0,2057x$	0,178	8,76
2 C4=	$y = -0,0716x^2 + 0,4239x$	0,3523	$y = -0,0312x^2 + 0,3499x$	0,3187	10,54
I C4=	$y = -0,0443x^2 + 0,2141x$	0,1698	$y = -0,0204x^2 + 0,156x$	0,1356	25,22
T C4=	$y = -0,0846x^2 + 0,4744x$	0,3898	$y = -0,0402x^2 + 0,3948x$	0,3546	9,93
1,3 C4=	$y = -0,0006x^2 + 0,0029x$	0,0023	$y = -0,0007x^2 + 0,0029x$	0,0022	4,55
N C5	$y = -0,0668x^2 + 0,6239x$	0,5571	$y = 0,223x^2 + 0,0283x$	0,2513	121,69
I C5	$y = -0,2314x^2 + 1,965x$	1,7336	$y = -0,0443x^2 + 1,5458x$	1,5015	15,46
1 C5=	$y = -0,0161x^2 + 0,1535x$	0,1374	$y = -0,0022x^2 + 0,1236x$	0,1214	13,18
C6 +	$y = -0,3451x^2 + 3,8757x$	3,5306	$y = -0,0025x^2 + 2,2413x$	2,2388	57,70

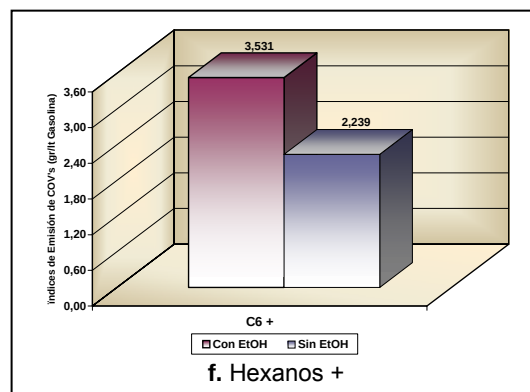
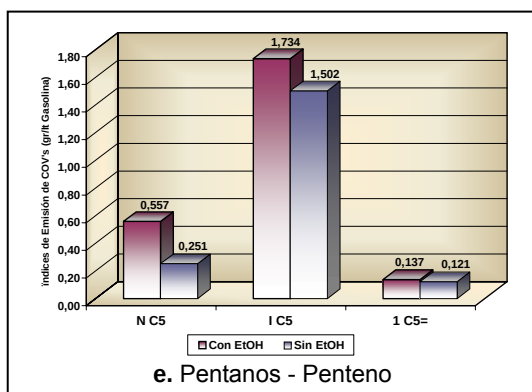
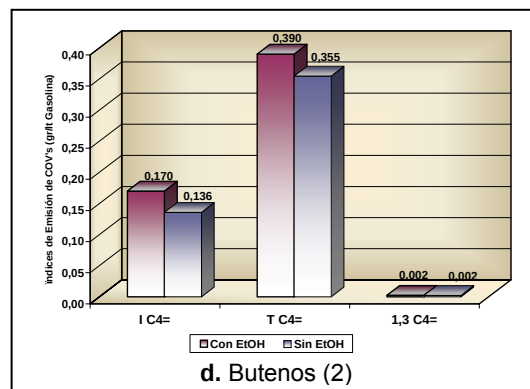
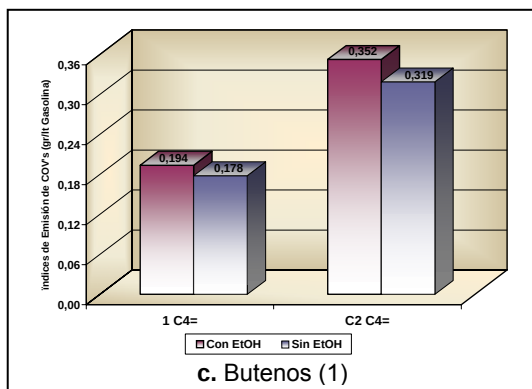
(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

La Tabla 47 expone el aumento porcentual de los índices de emisión para cada compuesto de la mezcla con respecto a la gasolina regular GRC, observándose un pequeño incremento para el Propileno y nulo para el Propano, para el n-Pentano se observa un aumento de su emisión en un 121,69% el más alto en las pruebas. Los compuestos mas reactivos tienen un incremento bajo con respecto a la gasolina GCB.

Figura 37. Comparación por componente de los índices de Emisión por pérdida de 1 psi en R.V.P de la mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Regular GRC



Continuación Figura 37. Comparación por componente de los índices de Emisión por pérdida de 1 psi en R.V.P de la mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Regular GRC



Una Comparación gráfica por componente de los índices de emisión por pérdida de 1 psi en R.V.P de la mezcla gasolina regular GRC – etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la gasolina regular GRC se muestra en la Figura 37, con los datos reportados en la Tabla 47.

3.1.8 Gasolina Extra GRC. Las Tablas 48, 49, 50 y 51, muestran los datos para las dos pruebas respectivas de debutanización, de la gasolina extra GRC que presenta un valor inicial de 7,75 psi (53,43 kPa) de R.V.P.

Tabla 48. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Gasolina Extra GRC

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
	7,45	7,45	7,45	0		412,8
Inicial	7,36	7,40	7,38	7,7250	0	415,7
1	7,06	7,10	7,08	7,6250	3	430,8
2	6,82	6,86	6,84	7,1875	3	443,9
3	6,61	6,65	6,63	6,7500	3	455,9

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 49. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Gasolina Extra GRC

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	6,61	6,65	6,63	6,7500	0	260,3
4	6,29	6,33	6,31	6,2813	3	275,5
5	6,07	6,11	6,09	5,1825	3	290,2
6	5,85	5,90	5,88	5,3125	3	303

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 50. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Gasolina Extra GRC

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
	7,45	7,45	7,45	0		409,3
Inicial	7,4	7,32	7,36	7,625	0	412,1
1	7,11	7,04	7,08	7,25	3	427,8
2	6,74	6,8	6,77	6,8125	3	442,5
3	6,34	6,37	6,36	6,41	3	457

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 51. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Gasolina Extra GRC

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	6,34	6,37	6,34	6,41	0	349,2
4	6,25	6,32	6,29	6	3	357,6
5	5,89	5,93	5,91	5,5625	3	375,5
6	5,74	5,75	5,75	5,15625	3	389,6

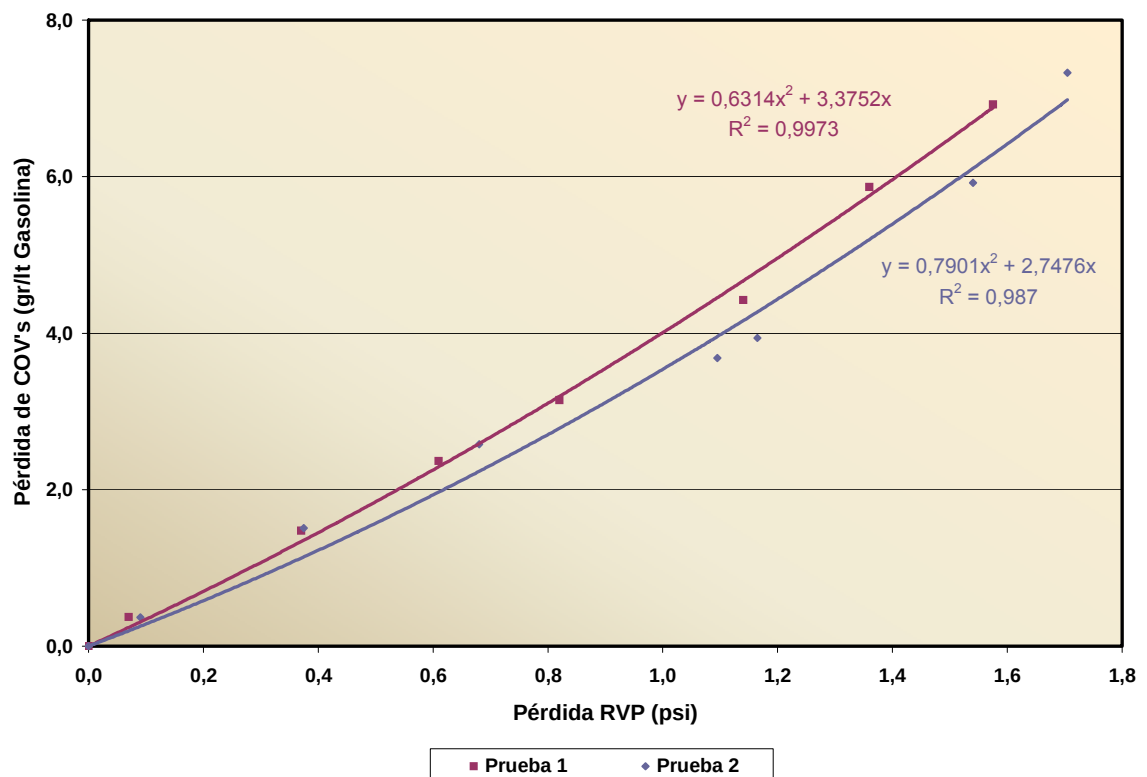
(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 52. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Extra GRC

PRUEBA 1		PRUEBA 2	
Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lt Gasolina)	Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lt Gasolina)
0,000	0,0000	0,000	0,0000
0,070	0,3754	0,090	0,3672
0,370	1,4753	0,375	1,5092
0,610	2,3640	0,680	2,5778
0,820	3,1472	1,095	3,6822
1,140	4,4211	1,165	3,9385
1,360	5,8685	1,540	5,9229
1,575	6,9229	1,705	7,3266

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Figura 38. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Gasolina Extra GRC



Con la metodología descrita en la sección 3.1.1.2 se realizó el balance de masa para calcular los índices de emisión de los COV's de la gasolina extra GRC con respecto al delta de R.V.P perdido por el burbujeo con nitrógeno mostrado en la Tabla 52 y representado en la Figura 38. Los cálculos se presentan en el Anexo A6.1 y A6.2.

3.1.9 Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v). Como último combustible tratado en esta serie de pruebas se encuentra la mezcla gasolina extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v). Las Tablas 3.45, 3.46, 3.47 y 3.48, presentan los resultados de la debutanización con los valores numéricos de masa de vapores de gasolina oxigenada recolectados. Al realizar la mezcla, la R.V.P. aumenta aproximadamente 0,48 psi (3,31 kPa) con respecto a la gasolina extra GRC base.

Tabla 53. Resultados Prueba 1 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
						348,9
Inicial	7,80	7,83	7,82	7,5000	0	349,8
1	7,66	7,67	7,67	7,0625	3	362,7
2	7,77	7,53	7,65	6,5938	3	371,2
3	7,58	7,62	7,60	6,0938	3	380,1

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 54. Resultados Prueba 1 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	7,58	7,62	7,60	6,0938		413,3
4	7,35	7,42	7,39	5,7031	3	423
5	7,15	7,30	7,23	5,2188	3	432,3
6	6,86	6,92	6,89	4,2188	3	440,4

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 55. Resultados Prueba 2 Bolsa 1 Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
						412,9
Inicial	8,05	8,02	8,04	7,15625	0	413,9
1	7,95	7,92	7,94	6,875	3	427
2	7,72	7,7	7,71	6,34375	3	447,5
3	7,26	7,38	7,32	5,875	3	463,1

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Tabla 56. Resultados Prueba 2 Bolsa 2 Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

Muestra	RVP 1 (psi)	RVP 2 (psi)	RVP promedio (psi)	Gasolina Tanque (lt)	Tiempo (min)	Peso Bolsa (gr)
Inicial	7,26	7,38	7,32	5,875		412,9
4	6,77	6,89	6,83	5,5	3	428,4
5	6,63	6,68	6,66	4,90625	3	442,8
6	6,48	6,4	6,44	4,5	3	456,9

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Los resultados del balance de masa Anexo A7.1 y A7.2 da como resultado el cálculo de los índices de emisión de COV's para la mezcla, dados en la Tabla 57, se muestran en la figura 39 donde se observa repetibilidad de los datos y la relación de los resultados

La Figura 40 reproduce la comparación de los índices de emisión de COV's contra la pérdida en deltas de R.V.P, de la gasolina extra GRC y su mezcla con etanol anhidro al 10 % v/v. Se observa que para una pérdida de 1 psi (6,89 kPa) para las dos gasolinas, se da un incremento en la cantidad de emisiones de la gasolina oxigenada de 1,59 gramos por litro de gasolina que corresponde a un 41,26% mas que la gasolina base.

Figura 39. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

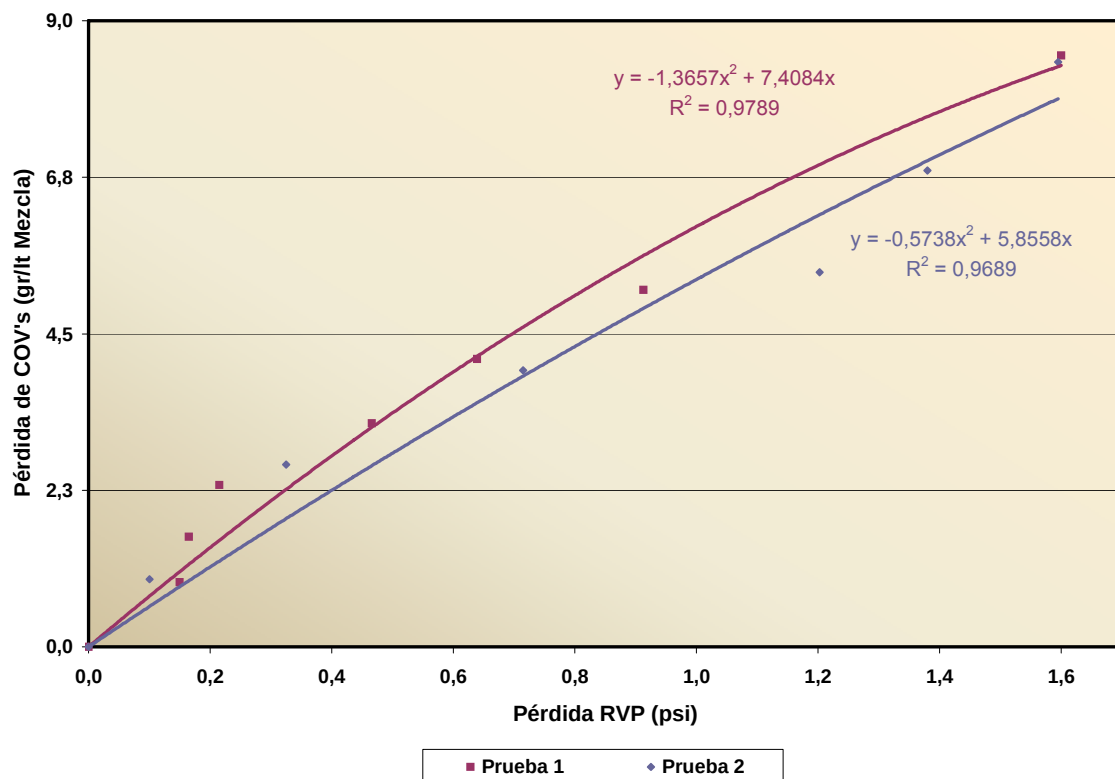
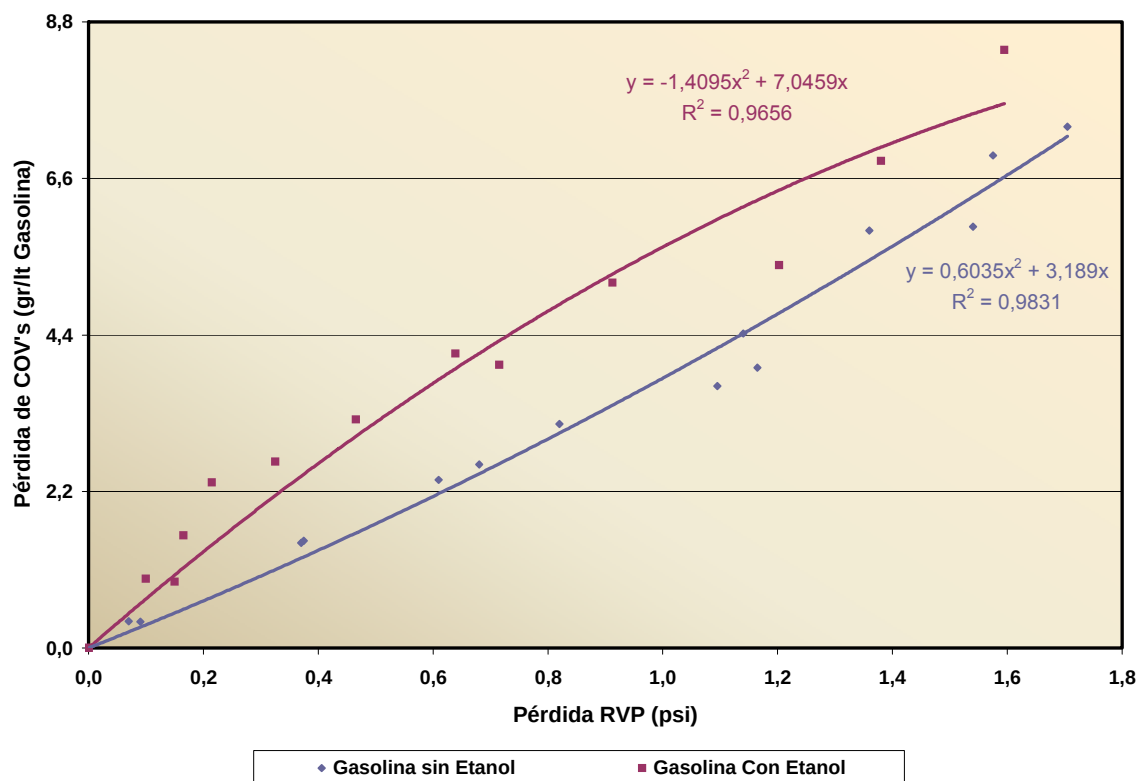


Tabla 57. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Repetibilidad Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

PRUEBA 1		PRUEBA 2	
Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lt Gasolina)	Pérdida RVP (Psi)	COV'S (gr/lt Gasolina)
0,000	0,0000	0,000	0,0000
0,150	0,9295	0,100	0,9727
0,165	1,5855	0,325	2,6225
0,215	2,3287	0,715	3,9780
0,466	3,2118	1,203	5,3829
0,639	4,1371	1,380	6,8460
0,912	5,1340	1,595	8,4080

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Figura 40. Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P. Comparación Gasolina Extra GRC con Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)



El balance de masa por componente, se presenta en la Tabla 58 que muestra la cantidad de COV's perdidos para los mismos tiempos de burbujeo para las dos gasolinas.

Los resultados de la Tabla 58 son representados gráficamente para cada compuesto, mostrando su tendencia polinomial de segundo orden para cada uno de ellos: Figura 41: Propano y Propileno, Figura 42: Butanos, Figura 43: Butenos (1), Figura 44: Butenos (2), Figura 45: Pentanos y Pentenos, y Figura 46, el grupo de compuestos con más de 6 carbonos.

Tabla 58 Índices de Emisión de COV's vs. Δ R.V.P.Comparación por Componentes. Gasolina Extra GRC con Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v)

	Gasolina Extra GRC					Mezcla Gasolina Extra GRC - Etanol Anhidro 10% (v/v).				
Pérdida R.V.P.	0	0,82	1,575	1,095	1,705	0	0,215	0,912	0,715	1,59
	Pérdida COV'S gr / lt									
C	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C2	0	0,0094	0,0108	0,0109	0,0119	0	0,0041	0,0050	0,0045	0,0048
C2=	0	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C3	0	0,0752	0,1245	0,0867	0,1323	0	0,0441	0,0774	0,0650	0,0976
C3=	0	0,0022	0,0033	0,0027	0,0038	0	0,0012	0,0020	0,0018	0,0024
N C4	0	0,5917	1,2715	0,6846	1,3274	0	0,3921	0,8338	0,6428	1,2795
I C4	0	0,4893	0,9924	0,5665	1,0416	0	0,3166	0,6464	0,5088	0,9484
1 C4=	0	0,0511	0,1067	0,0591	0,1116	0	0,0325	0,0679	0,0527	0,1025
C2 C4=	0	0,1322	0,2897	0,1528	0,3020	0	0,0856	0,1852	0,1415	0,2895
I C4=	0	0,0515	0,1081	0,0595	0,1132	0	0,0329	0,0691	0,0537	0,1045
T C4=	0	0,1641	0,3551	0,1896	0,3705	0	0,1050	0,2250	0,1728	0,3481
1,3 C4=	0	0,0006	0,0012	0,0010	0,0017	0	0,0004	0,0007	0,0006	0,0010
N C5	0	0,1837	0,4291	0,2123	0,4449	0	0,1239	0,2806	0,2098	0,4627
I C5	0	0,4982	1,1504	0,5758	1,1948	0	0,3364	0,7548	0,5670	1,2327
1 C5=	0	0,0317	0,0732	0,0367	0,0766	0	0,0207	0,0469	0,0353	0,0775
C6 +	0	0,8546	1,9934	0,9829	2,0438	0	0,8352	1,9238	1,4488	3,3684
Total		3,1359	6,9098	3,6215	7,1768		2,3306	5,1186	3,9051	8,3196

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Figura 41. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Propano – Propileno

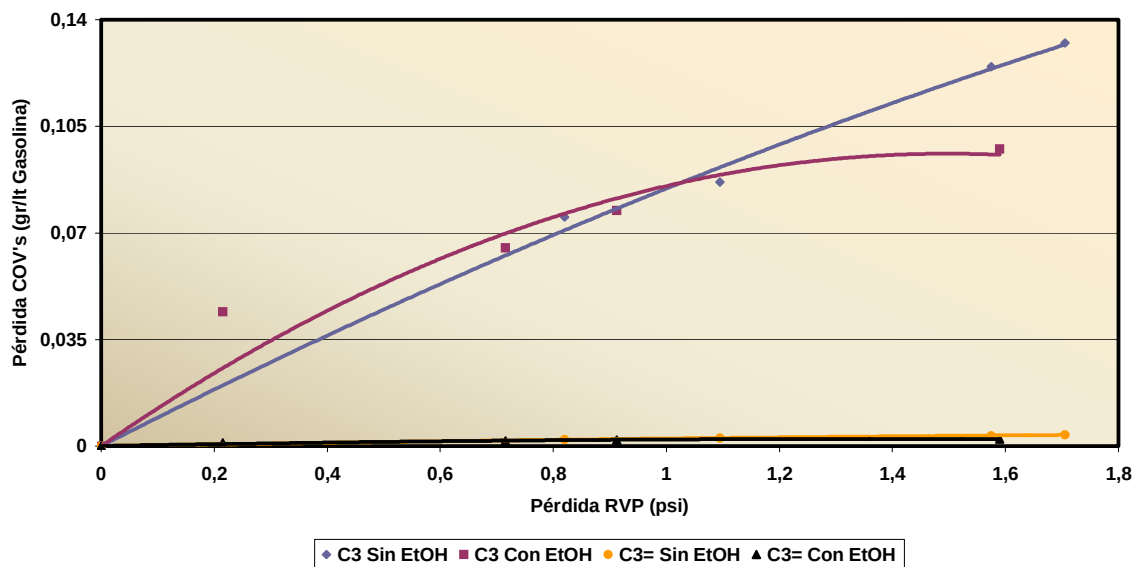


Figura 42. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butanos

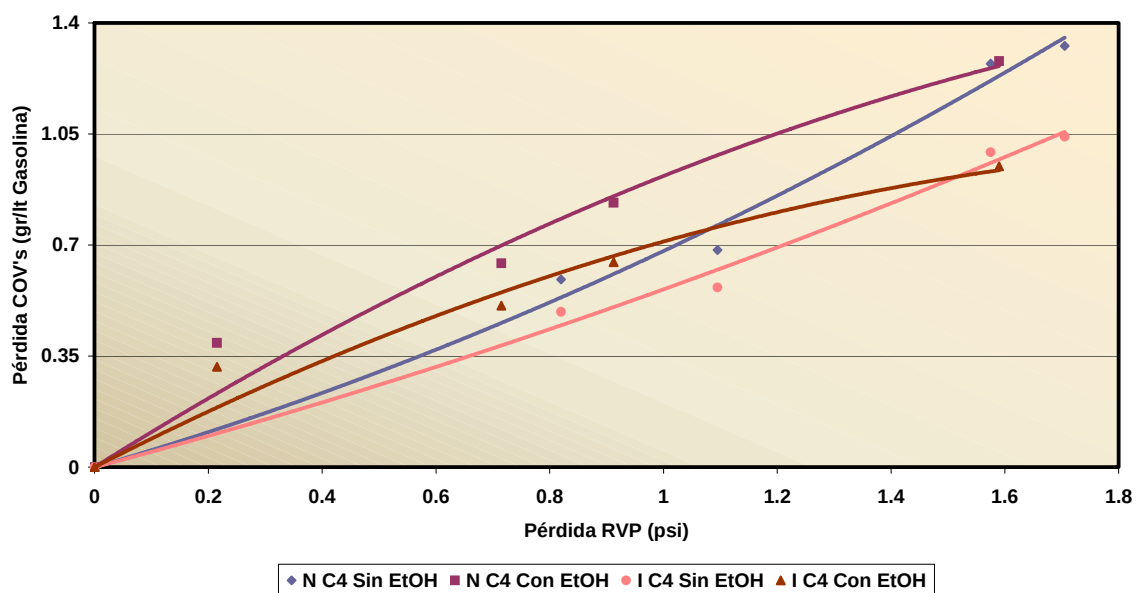


Figura 43. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (1)

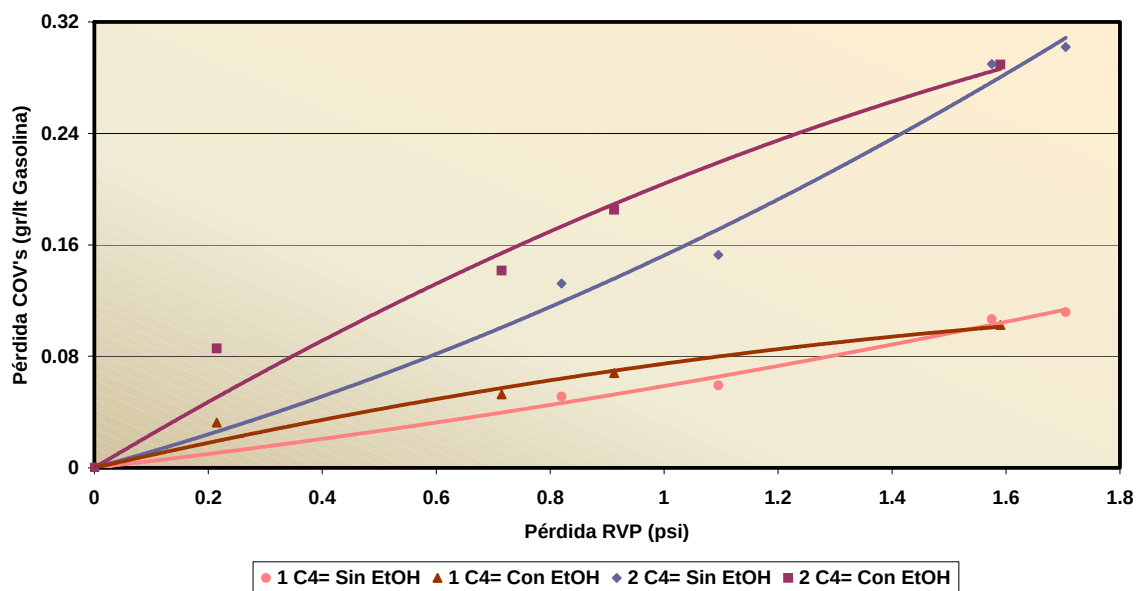


Figura 44. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Butenos (2)

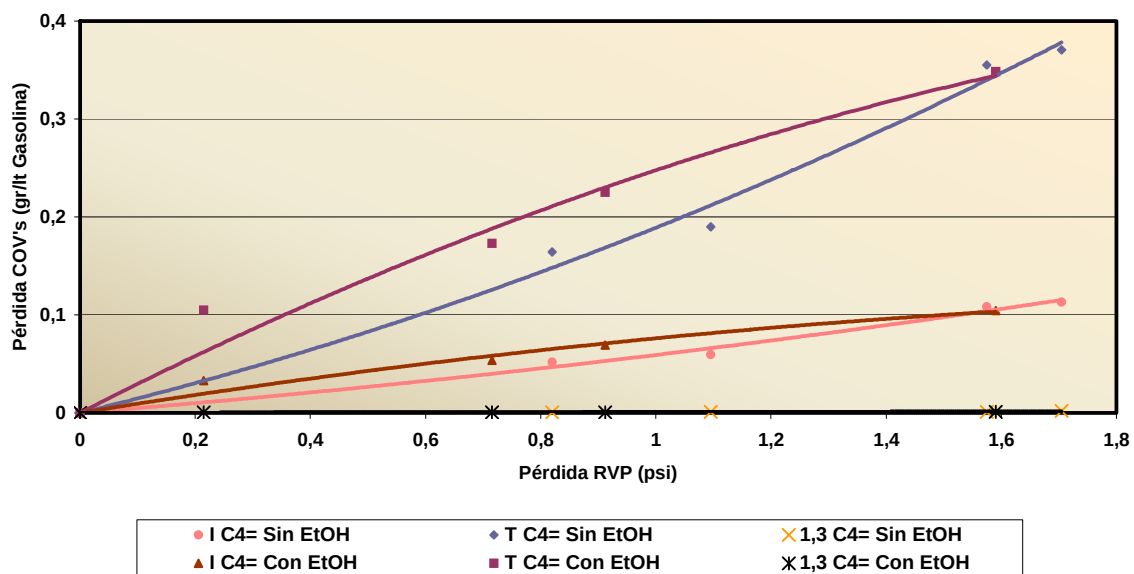


Figura 45. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Pentanos – Penteno

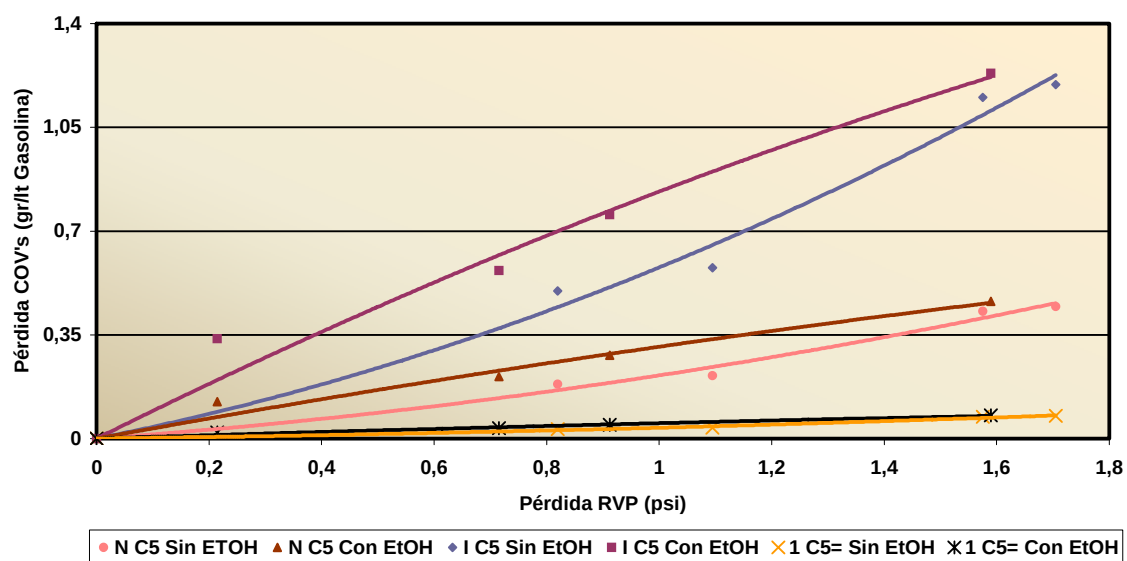


Figura 46. Comparación por componentes Gasolina Extra GRC con mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v): Hexanos +

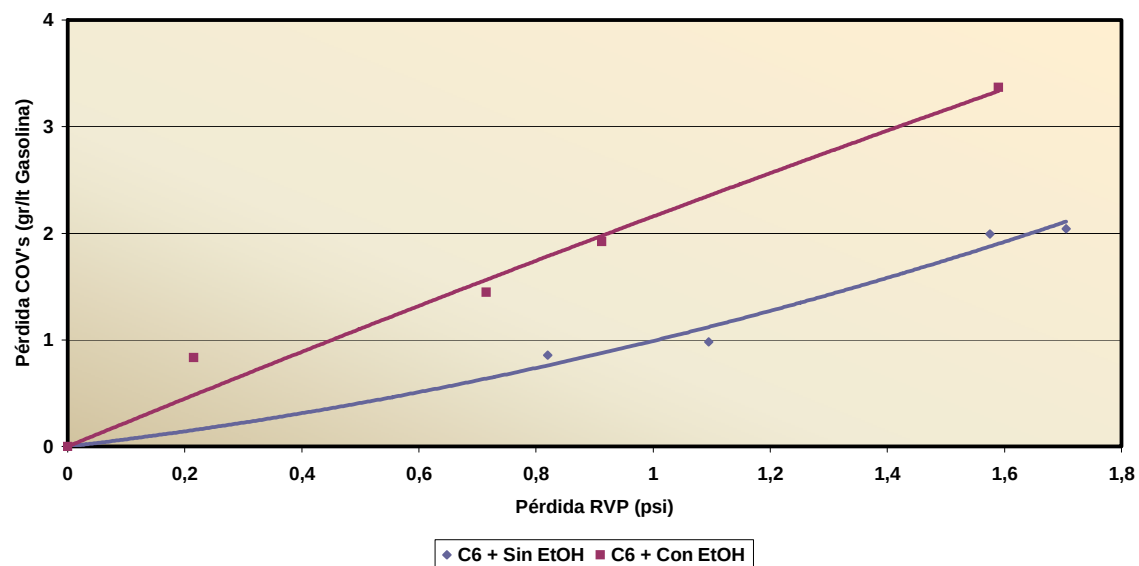


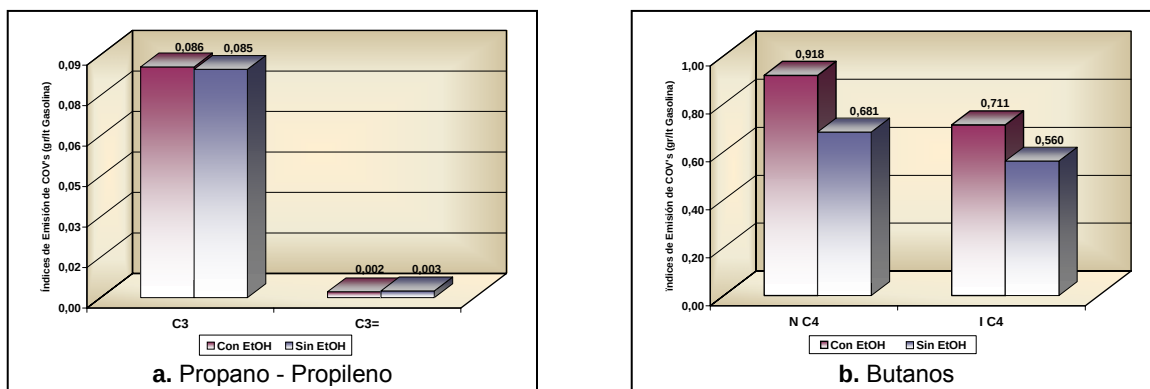
Tabla 59. Aumento porcentual de los Índices de Emisión por componentes de la mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol Anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Extra GRC

	Con Etanol		Sin Etanol		
COV's	Ecuación	Emisión por pérdida de un psi en R.V.P (gr/lb)	Ecuación	Emisión por pérdida de un psi en R.V.P (gr/lb)	aumento (%)
C3	$y = -0,0428x^2 + 0,1283x$	0,0855	$y = -0,0103x^2 + 0,0949x$	0,0846	1,06
C3=	$y = -0,0013x^2 + 0,0035x$	0,0022	$y = -0,0005x^2 + 0,003x$	0,0025	-12,00
N C4	$y = -0,2075x^2 + 1,1253x$	0,9178	$y = 0,1601x^2 + 0,5212x$	0,6813	34,71
I C4	$y = -0,2076x^2 + 0,9188x$	0,7112	$y = 0,0841x^2 + 0,4763x$	0,5604	26,91
1 C4=	$y = -0,0187x^2 + 0,0935x$	0,0748	$y = 0,0113x^2 + 0,0474x$	0,0587	27,43
2 C4=	$y = -0,0405x^2 + 0,2444x$	0,2039	$y = 0,0405x^2 + 0,1119x$	0,1524	33,79
I C4=	$y = -0,0189x^2 + 0,0949x$	0,076	$y = 0,012x^2 + 0,0471x$	0,0591	28,60
T C4=	$y = -0,0529x^2 + 0,3006x$	0,2477	$y = 0,0466x^2 + 0,1424x$	0,189	31,06
1,3 C4=	$y = -0,0003x^2 + 0,0011x$	0,0008	$y = 0,0001x^2 + 0,0007x$	0,0008	0,00
N C5	$y = -0,0367x^2 + 0,3465x$	0,3098	$y = 0,0779x^2 + 0,1353x$	0,2132	45,31
I C5	$y = -0,1115x^2 + 0,9447x$	0,8332	$y = 0,201x^2 + 0,3762x$	0,5772	44,35
1 C5=	$y = -0,0061x^2 + 0,058x$	0,0519	$y = 0,0131x^2 + 0,0236x$	0,0367	41,42
C6 +	$y = -0,103x^2 + 2,2607x$	2,1577	$y = 0,3493x^2 + 0,6412x$	0,9905	117,84

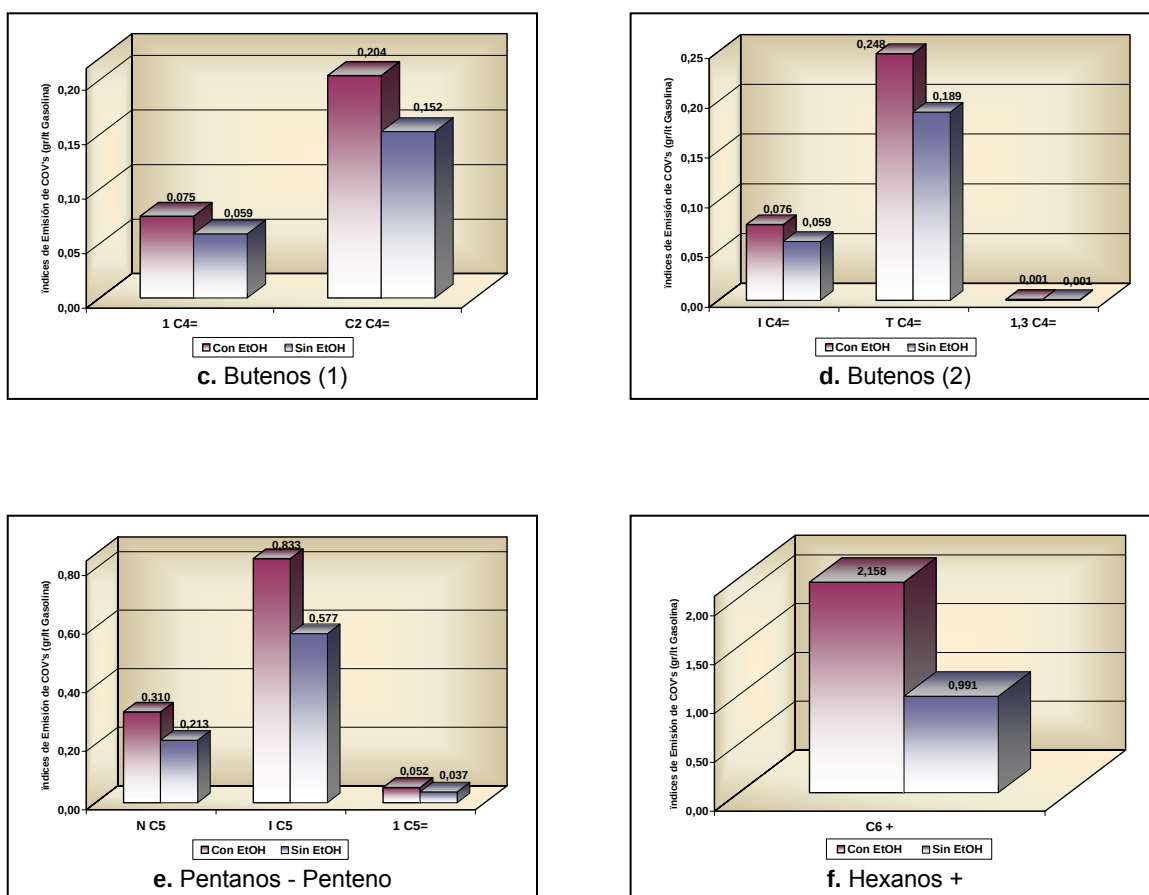
(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

El aumento porcentual de los índices de emisión por componentes de la mezcla gasolina extra GRC – etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la gasolina extra GRC se expone en la Tabla 59. Se observa un aumento similar alrededor del 41% para el grupo de compuestos de 5 carbonos, el mayor aumento se da para los compuestos de 6 carbonos y más, un aumento nulo para el 1,3 butadieno y uno muy bajo para el propano y propileno. Los demás componentes dan un resultado aproximadamente constante en el intervalo.

Figura 47. Comparación por componente de los índices de Emisión por pérdida de 1 psi en R.V.P de la mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Extra GRC



Continuación Figura 47. Comparación por componente de los índices de Emisión por pérdida de 1 psi en R.V.P de la mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la Gasolina Extra GRC



La Figura 47 muestra la comparación gráfica por componente de los índices de Emisión por pérdida de 1 psi (6,89 kPa) en R.V.P de la mezcla gasolina extra GRC – etanol anhidro (10% v/v) con respecto a la gasolina extra GRC.

3.2 PERFILES DE TEMPERATURA

Terpel distribuye combustible para la zona de Bucaramanga y su área metropolitana, y estaciones fuera de ella, ubicadas en Barrancabermeja, San Gil y Aguachica perteneciente al departamento de Cesar. Utilizando estos recorridos, se hicieron los muestreos según las entregas de un carrotanque proporcionado por Terpel de la

Cooperativa de Transportadores de dicha empresa. La tabla 60 muestra sus dimensiones y especificaciones.

El equipo utilizado requirió el programa Labview para la adquisición de datos, estaba dotado de termocuplas o sensores que proporcionaron información sobre el comportamiento de las temperaturas en diferentes posiciones del carrotanque como en la lámina superior, lámina lateral, lámina inferior; en el interior: la temperatura del líquido y la del vapor, y exterior: la temperatura del aire y la temperatura ambiente, adquiriendo lecturas cada dos segundos. Estos perfiles se presentan a continuación primero para los recorridos de la ciudad y luego para los recorridos en carretera, con los respectivos datos de R.V.P y densidad determinados a partir de tres muestras tomadas para cada recorrido: la gasolina de carga, tomándola directamente del brazo dispensador, la segunda al completar el llenado del tanque y la tercera, al llegar a la estación de destino, luego de ser recibido y registrado por el personal de estación de servicio al abrir los compartimientos del carrotanque. Se calculan las pérdidas en masa y volumen de los compuestos más livianos de la gasolina, con la información mostrada en los apartados anteriores.

Tabla 60. Dimensiones y Especificaciones del Carrotanque Terpel

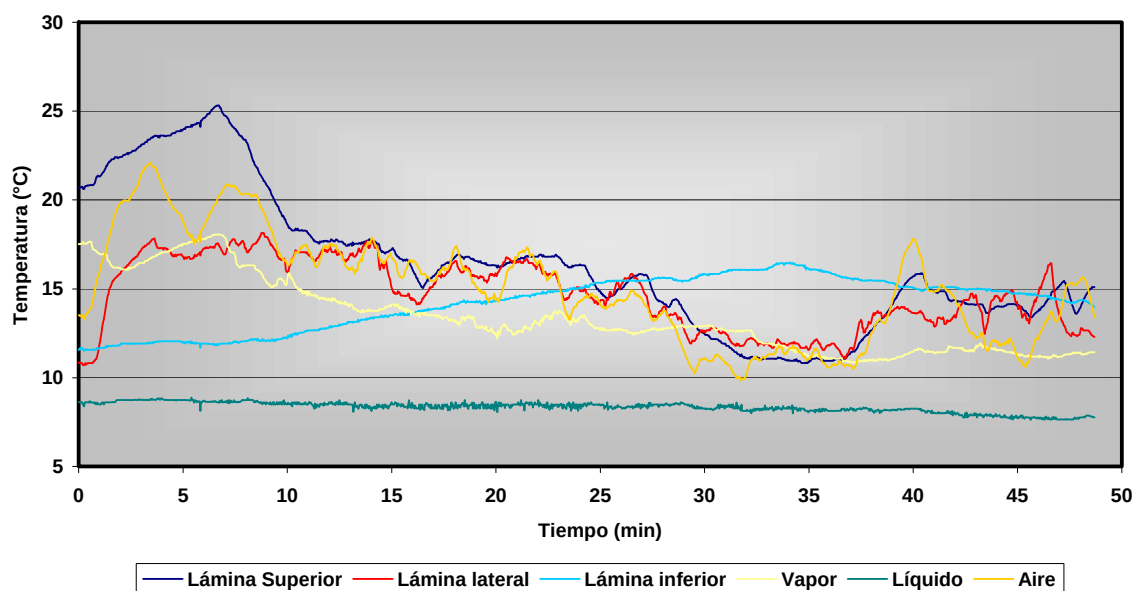
ESPECIFICACIONES			Unidades
Placa		BUM 377	
Capacidad	Factura	5700	Gal
	Calibración	5618	Gal
Color Tanque		Blanco	
Material	Revestimiento	Pintura Epóxica	
	Estructura	Lámina de Hierro Negra	
Forma Tanque		Elíptico	
DIMENSIONES			Unidades
Largo		7	m
Ancho		2,44	m
Alto		1,56	m
Diametro Venteos	Mayor	46,7	cm
	Menor	45,8	cm

(Fuente: Hoja de Especificaciones Carrotanque BUM 377-Terpel)

3.2.1 Recorridos en Bucaramanga y zona metropolitana. Los recorridos realizados comienzan en la estación de carga de combustibles “Terpel Chimitá”, y terminan en

diferentes estaciones de servicio de Terpel. Para el muestreo se siguieron los recorridos a las siguientes estaciones: “La Rosita” y “La Flora”, ubicadas en la ciudad de Bucaramanga y las estaciones “El Bosque”, y “Río Frío” ubicada en el municipio de Floridablanca. La gasolina transportada fue gasolina regular GCB, que es enviada directamente por la Gerencia Complejo de Barrancabermeja y recibida por Terpel en tanques de almacenamiento ubicados en Chimitá.

Figura 48. Perfil de Temperatura. Recorrido Terpel Chimitá – Estación “El Bosque”



El primer recorrido - Figura 48 - que se realizó en la ciudad fue el realizado de Terpel Chimitá hasta la Estación “El Bosque”, ubicada en el sector en la ciudad de Floridablanca que corresponde al mismo nombre. Fue un recorrido de prueba para verificar el buen funcionamiento del equipo y tener el seguimiento del sistema de adquisición de datos Labview. El combustible utilizado fue gasolina regular GCB, pero por ser un recorrido de prueba no se tomaron muestras.

Figura 49. Perfil de Temperatura, Recorrido 1 Terpel Chimitá – Estación “La Rosita”

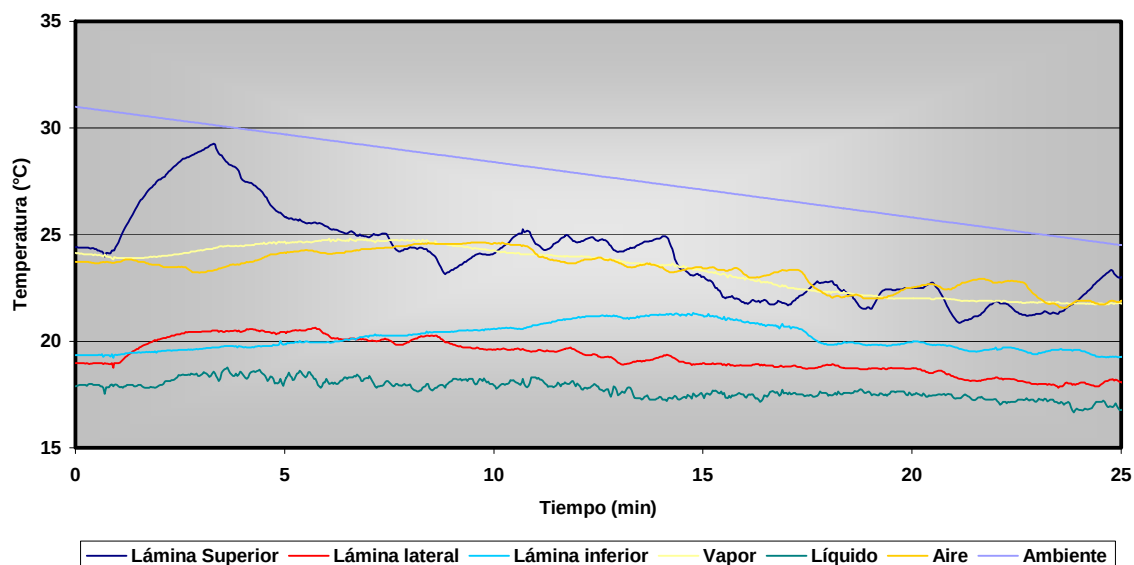


Tabla 61 Datos Significativos Recorrido 1 Terpel Chimitá – Estación “La Rosita”

	Unidades	Inicial	Final	Máxima	Mínima
Radiación	w/m2	400	518	518	400
Temperatura ambiente	°C	31	24,4	31	24,4
Humedad Relativa	%	56,2	68,45	68,45	56,2
Temperatura Aire	°C	23,7	21,8	24,6	21,6
Velocidad	m/s	1,389	1,389	11,11	1,389
Tem. Lámina superior	°C	24,4	22,9	29,1	20,8
Tem. Vapor	°C	24,1	21,7	24,9	21,7
Tem. Lámina inferior	°C	19,3	19,3	21,3	19,2
Tem. Lámina lateral	°C	19	18,2	20,6	17,8
Tem. Líquido	°C	17,9	17,02	18,8	16,6
Presion Atmosférica	mmHg	699,07	663,9	699,07	663,9
Presión Tanque	mmHg	700,5	663,9	713,2	663,9

(Fuente: CDMB - ICP)

La Figura 49 muestra los perfiles de temperatura para el primer recorrido desde Terpel Chimitá hasta la estación “La Rosita”, la Tabla 61 reporta los datos de máximos y mínimos para las temperaturas y presiones sensadas. Además de esto, se reportan datos de radiación y humedad relativa de la estación meteorológica de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

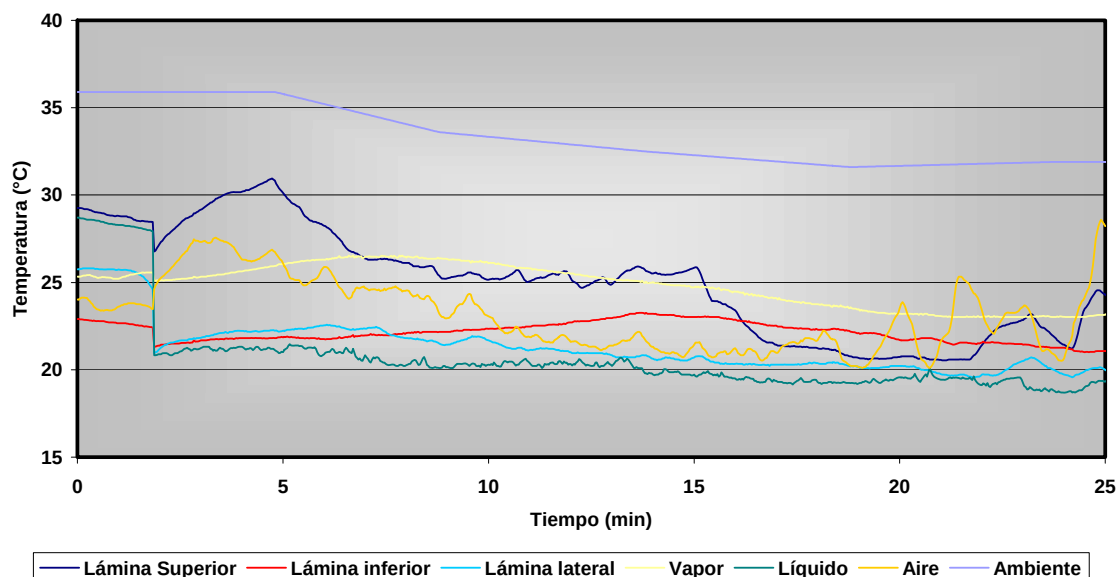
Tabla 62. Pérdida de R.V.P por transporte para el Recorrido Terpel Chimitá – Estación “La Rosita”

	RVP (Psi)	Densidad (kg/lt)
Inicial	7,78	
Carga	7,67	0,7459
Descarga	7,45	0,7464
Pérdida de RVP	0,33	

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

La Tabla 62 presenta los datos obtenidos del análisis realizado a las muestras tomadas para este recorrido, observándose una disminución de 0,11 psi (0,76 kPa) de R.V.P en el proceso de carga y de 0,22 psi (1,52 kPa) en el transporte, dando como resultado una pérdida total de 0,33 psi (2,28 kPa) de R.V.P. Observando la Figura 10, se puede determinar la pérdida equivalente en volumen para la gasolina regular GCB de 12 galones (0,045 m³) en el recorrido total para una pérdida en masa de 34,4 kg por carga.

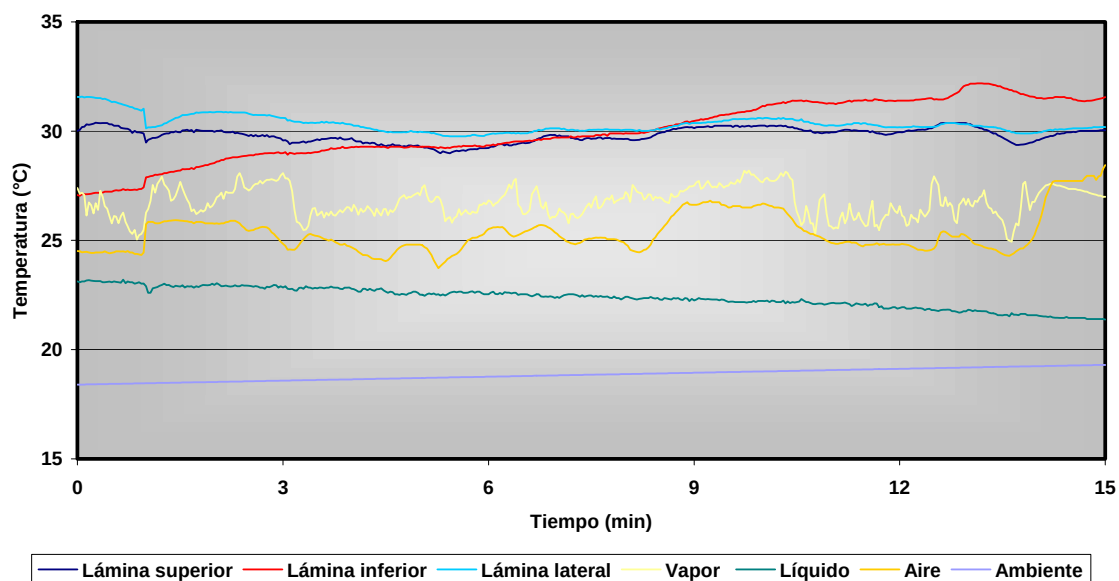
Figura 50. Perfil de Temperatura, Recorrido 2 Terpel Chimitá – Estación “La Rosita”



El cálculo en volumen se realiza, dividiendo el valor en gramos por litro de gasolina obtenido de la curva que muestra la Figura 10 entre la densidad, dato reportado en la Tabla 7 de la caracterización de las gasolinas base y oxigenadas del proyecto. Las muestras fueron almacenadas en recipientes de vidrio previamente lavados, cerrados y refrigerados en cavas con hielo, de igual forma las muestras se mantuvieron refrigeradas luego de ser tomadas, para evitar la evaporación del combustible que pudieran conducir a pérdidas a causa de las condiciones ambientales.

La Figura 50 muestra el segundo recorrido realizado a la Estación “La Rosita”, donde se puede apreciar que el recorrido se lleva a cabo en el mismo tiempo aproximadamente.

Figura 51. Perfil de Temperaturas, Recorrido Terpel Chimitá – Estación “La Flora”



Un tercer recorrido fue desde Terpel Chimitá hasta la Estación “La Flora”, primera entrega de combustible a primera hora del día, reflejado en el perfil de temperatura de la Figura 51. Como se puede apreciar en la Tabla 63 de reportan valores bajos de radiación y una velocidad baja debido a que la hora de entrega es una de las congestionadas en la ciudad.

Tabla 63. Datos Significativos Recorrido Terpel Chimitá – Estación “La Flora”

	Unidades	Inicial	Final	Máxima	Mínima
Radiación	w/m2	44	207	207	44
Temperatura ambiente	°C	18,4	19,3	19,3	18,4
Humedad Relativa	%	77,7	70,5	77,7	70,5
Temperatura Aire	°C	24,5	28,4	28,44	23,7
Velocidad	m/s	5	5	30	5
Tem. Lámina superior	°C	30	30	30,4	28,9
Tem. Vapor	°C	27,4	27	28,2	24,9
Tem. Lámina inferior	°C	27,1	31,6	32,2	27,1
Tem. Lámina lateral	°C	31,5	30,2	31,6	29,8
Tem. Líquido	°C	23,2	21,4	23,2	21,4
Presion Atmosférica	mmHg	700,48	664,05	700,48	664,05
Presión Tanque	mmHg	701,3	666,9	702,31	666,9

(Fuente: CDMB - ICP)

Como resultado de las muestras tomadas para este recorrido, presentado en la Tabla 64 se observa una disminución de 0,12 psi (0,83 kPa) de R.V.P en el momento de la carga hasta la finalización de ésta y en el transporte se reporta el mismo valor, dando como resultado un 0,24 psi (1,65 kPa) de pérdida de R.V.P para el recorrido que da un total de 25,5 kg por volumen de total y un volumen de 8,95 gal (0,034 m³), basándose en la Figura 10.

Tabla 64. Pérdida de R.V.P por transporte para el Recorrido Terpel Chimitá – Estación “La Flora”

	RVP (Psi)	Densidad (kg/lit)
Inicial	8,18	0,7411
Carga	8,06	0,7408
Descarga	7,94	0,7408
Pérdida de RVP	0,24	

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

La última estación fue la de “Río Frío” que pertenece al municipio de Floridablanca zona metropolitana de la ciudad de Bucaramanga, realizada alrededor del medio día con una

temperatura ambiente aproximadamente de 30 °C y valores altos de radiación reportados en la Tabla 65 y Figura 52..

Figura 52. Perfil de Temperatura, Recorrido Terpel Chimitá – Estación “Río Frío”

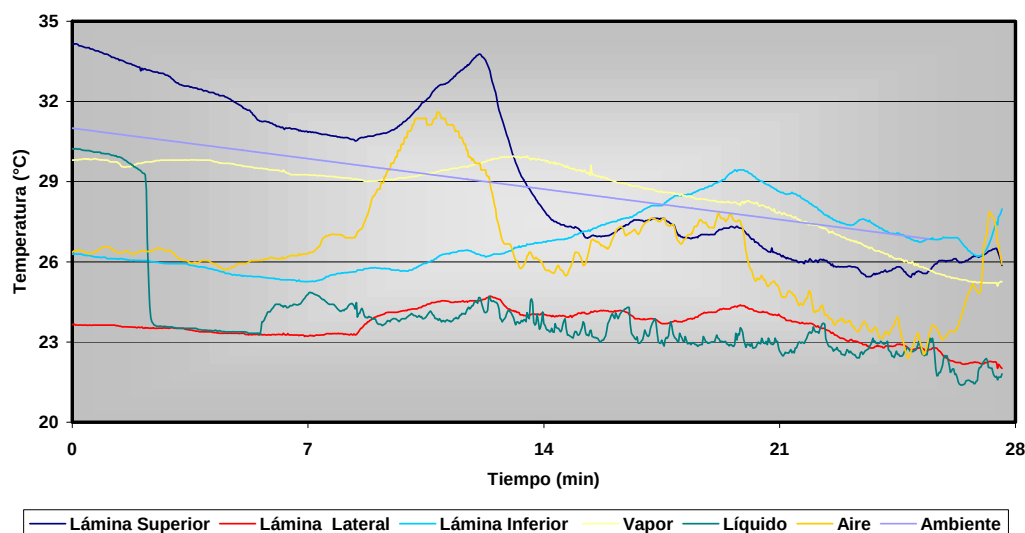


Tabla 65. Datos Significativos Recorrido Terpel Chimitá – Estación “Río Frío”

	Unidades	Inicial	Final	Máxima	Mínima
Radiación	w/m2	970	945	970	945
Temperatura ambiente	°C	31	26,5	31	26,5
Humedad Relativa	%	43,3	50,5	50,5	43,3
Temperatura Aire	°C	26,4	25,9	31,6	22,5
Velocidad	m/s	5	5	60	5
Tem. Lámina superior	°C	34,2	25,8	36,7	25,4
Tem. Vapor	°C	29,8	25,3	30	25,1
Tem. Lámina inferior	°C	26,3	27,9	29,5	25,3
Tem. Lámina lateral	°C	23,6	22	24,7	22
Tem. Líquido	°C	30,2	21,8	30,2	21,5
Presion Atmosférica	mmHg	700,4	664,14	700,4	664,14
Presión Tanque	mmHg	699,7	664,5	699,7	664,5

(Fuente: CDMB - ICP)

Aunque se reportan temperaturas altas, las pérdidas de carga se puede decir que son constantes con un valor que esta alrededor de 0,12 psi (0,83 kPa) de pérdida de R.V.P

Tabla 66, para este caso se presento una disminuci3n, desde el momento de la carga hasta el final del recorrido de 0,1 psi (0,69 kPa), para un total de 0,22 psi (1,52 kPa) de R.V.P que equivalen a 8,43 gal (0,032 m³) de p3rdida en la carga y transporte del recorrido hasta la estaci3n de “R3o Fr3o”. Ver balance de calor Anexo B 2.

Tabla 66. P3rdida de R.V.P por transporte para el Recorrido Terpel Chimit3 – Estaci3n “R3o Fr3o”

	RVP (Psi)	Densidad (kg/l)
Inicial	8,02	0,7405
Carga	7,90	0,7407
Descarga	7,80	0,7407
P3rdida de RVP	0,22	

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

3.2.2 Recorridos en carretera. Se realiz3 un recorrido a la estaci3n “Ayacucho” ubicada en Aguachica departamento del Cesar con gasolina extra GCB y dos recorridos una estaci3n de servicio a las afueras de San Gil departamento de Santander con gasolina regular GCB.

Tabla 67. Datos Significativos Recorrido Terpel Chimit3 – Estaci3n “Ayacucho”

	Unidades	Inicial	Final	M3xima	M3nima
Temperatura Aire	3C	24,5	23,8	29,7	17,8
Velocidad	m/s	1,4	1,4	22,2	1,4
Tem. L3mina superior	3C	23,1	25,8	30,2	19,8
Tem. Vapor	3C	23,6	21,3	24,1	18,7
Tem. L3mina inferior	3C	29,5	18,8	29,5	17,8
Tem. L3mina lateral	3C	24,3	18,2	28,5	16,8
Tem. L3quido	3C	23,6	18,0	28,9	16,5
Presion Atmosf3rica	mmHg	706,1	754,4	756,9	706,1
Presi3n Tanque	mmHg	705,6	762,4	773,0	478,6

(Fuente: CDMB - ICP)

La Figura 53 reporta el comportamiento de las temperaturas durante el trayecto de distribuci3n de combustible a la estaci3n “Ayacucho” en Aguachica en el departamento del Cesar, la Tabla 67 da las condiciones de m3xima y m3nima exposici3n.

La pérdida de R.V.P en la carga sigue constante de acuerdo a los valores encontrados para los recorridos de la ciudad, y un decrecimiento en el transporte de 0,06 psi que equivale a 8,14 galones (0,031 m³) totales de pérdida equivalentes a 23,6 kg por volumen cargado, cálculo hecho basándose en la tendencia de la Figura 20 que corresponde a la gasolina extra GCB.

Figura 53. Perfil de Temperatura, Recorrido Terpel Chimitá – Estación “Ayacucho”

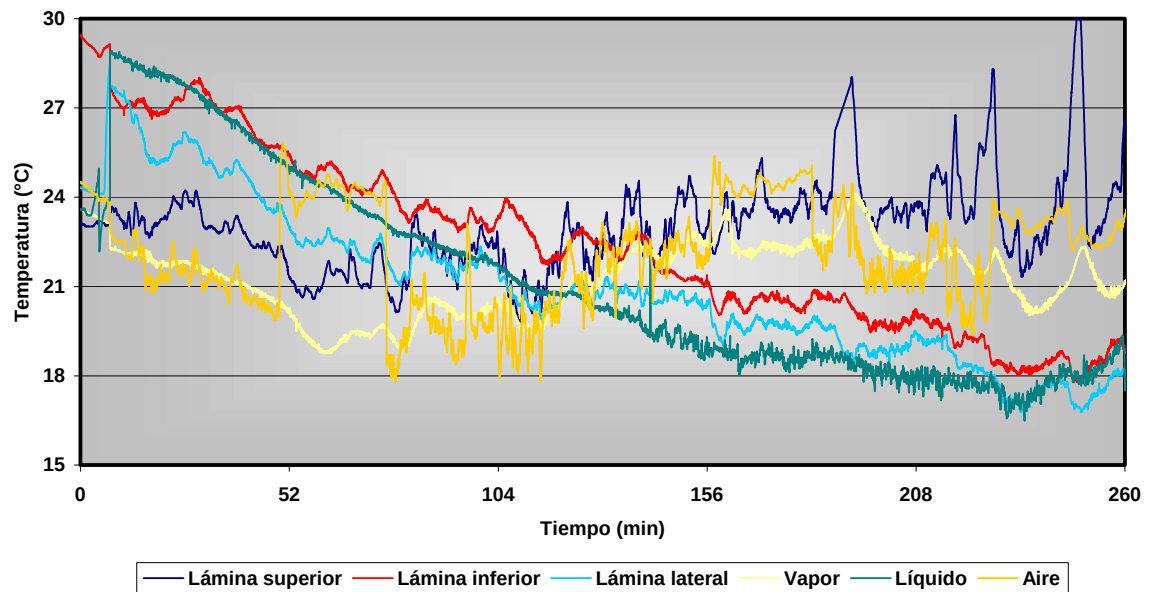


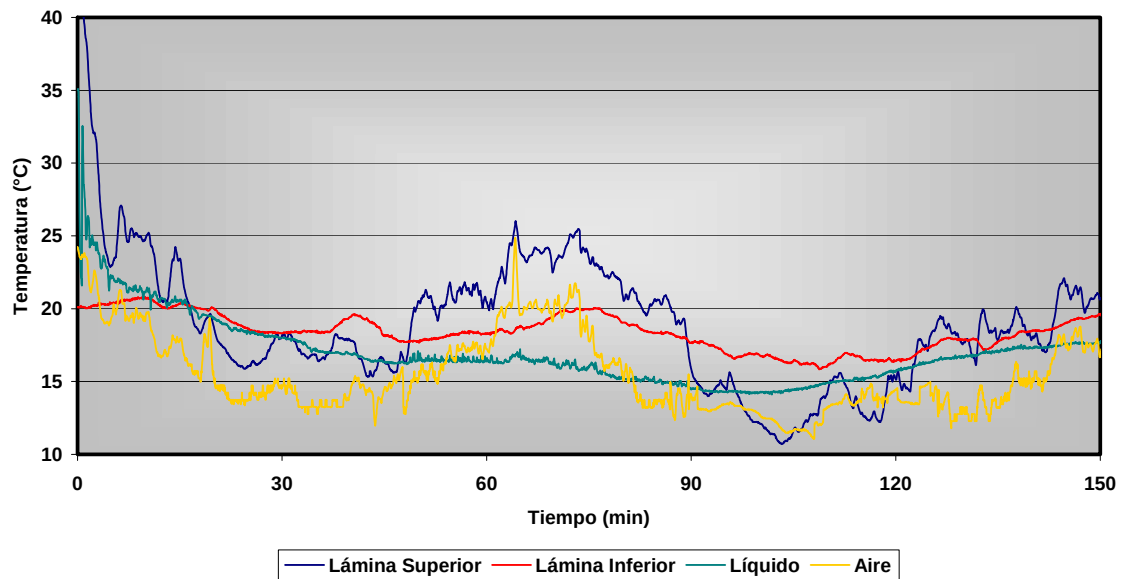
Tabla 68. Pérdida de R.V.P por transporte para el Recorrido Terpel Chimitá – Estación “Ayacucho”

	RVP (Psi)	Densidad (kg/lit)
Inicial	7,51	0,7524
Carga	7,40	0,7525
Descarga	7,34	0,7525
Pérdida de RVP	0,17	

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Para el primer recorrido realizado a la Estación de servicio en San Gil no se reportaron datos ya que al igual que en la ciudad, el recorrido fue de prueba para verificar el funcionamiento del equipo y de los sensores en carretera.

Figura 54. Perfil de Temperatura, Recorrido 1 Terpel Chimitá – San Gil



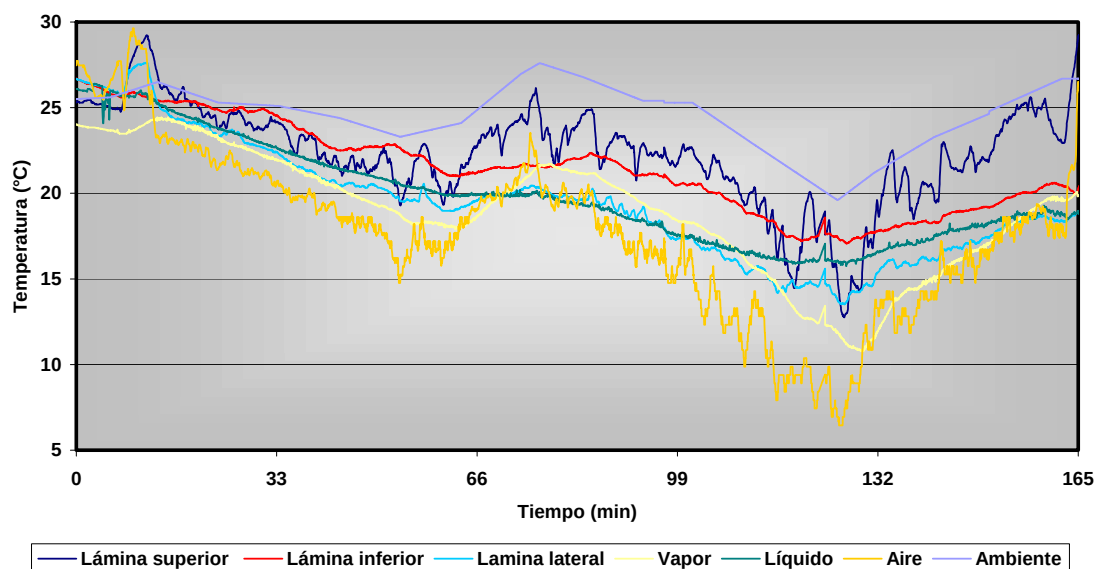
Aunque este primer recorrido fue de prueba, se observa que el comportamiento de las temperaturas fue similar al recorrido siguiente. La Figura 54 y 55 reportan cambios notorios en la temperatura, esto debido a los cambios de altura que ofrece el recorrido que por consiguiente dan un cambio brusco en la presión como se observa en la Tabla 73.

Tabla 69. Datos Significativos Recorrido Terpel Chimitá – Estación San Gil

	Unidades	Inicial	Final	Máxima	Mínima
Radiación	w/m2	514	880	880	514
Temperatura ambiente	°C	25,5	26,7	27,4	19,8
Temperatura Aire	°C	27,5	26,3	29,2	6,6
Velocidad	m/s	1,389	1,389	16,67	1,389
Tem. Lámina superior	°C	25,3	29,6	29,6	12,8
Tem. Vapor	°C	24	20,1	24,3	11
Tem. Lámina inferior	°C	26,7	20,2	26,7	17,2
Tem. Lámina lateral	°C	26,7	18,9	27,6	14,2
Tem. Líquido	°C	26	19	26,2	15,7
Presion Atmosférica	mmHg	708	675,13	715,2	610,2
Presión Tanque	mmHg	707,4	726,8	748,3	696

(Fuente: CDMB - ICP)

Figura 55. Perfil de Temperatura, Recorrido 2 Terpel Chimitá – San Gil



La disminución de R.V.P en la carga es de 0,1 psi (0,69 kPa) Tabla 70, un poco menor que en los recorridos anteriores y por transporte se ocasionó una pérdida de 0,06 psi (0,41 kPa), para un total en emisiones evaporativas de 18,314 kg por volumen de carga o 6,43 galones (0,024 m³) de combustible según la Figura 10. Ver Anexo B 5.

Tabla 70. Pérdida de R.V.P por transporte para el Recorrido 2 Terpel Chimitá – San Gil

	RVP (Psi)	Densidad (kg/lit)
Inicial	7,91	0,7405
Carga	7,81	0,7407
Descarga	7,75	0,7407
Pérdida de RVP	0,16	

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

Como conclusión, se observa una menor pérdida por transporte en carretera, esto debido a la mayor transferencia de calor que se observa debido al equilibrio en las temperaturas durante el trayecto y la refrigeración que ofrece el aire, en comparación a los recorridos de la ciudad.

3.2.3 Balance de calor. Con los datos experimentales obtenidos se preparó un balance de calor alrededor del tanque de distribución de combustible para obtener una aproximación del calor acumulado durante los recorridos típicos de entrega de combustible.

La Ecuación 16 proporciona el balance de energía sobre la superficie para un área unitaria

$$q_{rad} - q_{conv} - q_{cond} = \text{acumulación} \quad (16)$$

q_{rad} - Flujo neto de energía radiante por unidad de área a través de la superficie.

q_{conv} - Pérdida de calor por convección al aire del ambiente.

q_{cond} - Calor transferido por conducción

3.2.3.1 Radiación.

$$q_{rad} = \alpha_s G_s + \alpha G - \varepsilon Eb \quad (17)$$

α_s - Absortancia por radiación solar.

G_s - Radiación (W/m²).

α - Absortancia por radiación.

$$G \approx J \text{ Cielo} \approx \varepsilon_{cielo} = \sigma * T_e^4$$

ε_{cielo} - Emitancia del cielo.

T_e - Temperatura del aire.

ε - Emitancia hemisférica total.

$$Eb = \sigma * T_s^4 \quad (18)$$

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8}$$

T_s - Temperatura de superficie.

La absortancia de las superficies reales depende de la longitud de onda de la radiación incidente, la pintura epóxica blanca, que recubre las paredes laterales del tanque, tiene una absortancia de 0,85 para radiación y una absortancia para radiación solar de sólo 0,25, lo que es conveniente para el rechazo de calor solar. Las propiedades de la lámina negra material expuesto a la radiación en la parte superior del tanque son de absortancia y absortancia 0,65 y para radiación solar de 0,6.[27]

G_s es la radiación solar, depende de la hora del día, la estación del año y la latitud, los datos utilizados se obtuvieron de los reportes de estaciones meteorológicas, situadas en diferentes locaciones de la ciudad, y corresponden a la fecha y hora en que se desarrollaron las pruebas y adquisición de datos.

G corresponde a la radiación proveniente del cielo; ε del cielo depende de las condiciones atmosféricas, para el caso se aproxima a 0,77.

E_b es la potencia emisiva total de la superficie y está dada por la ley de Stefan-Boltzman. En la ecuación 17. La emisividad de la superficie real ε es el cociente de su potencia emisiva y la de una superficie negra a la misma temperatura y es igual a la absorptancia para radiación.

3.2.3.2 Convección. La ley de enfriamiento de Newton define el coeficiente de transferencia de calor convectiva por medio de la ecuación 19

$$q_{conv} = h_c (T_s - T_e) \quad (19)$$

h_c - coeficiente de transferencia de calor convectiva ($W/m^2 \cdot K$).

T_s - Temperatura en la superficie ($^{\circ}C$).

T_e - Temperatura del aire ($^{\circ}C$).

Es necesario encontrar el coeficiente de transferencia de calor, se utiliza la ecuación 20

$$\bar{h}_c = \frac{\bar{Nu} * k_e}{L} \quad (20)$$

k_e - Conductividad del aire, función de la temperatura ($W/m^2 \cdot K$).

L - Longitud del tanque (m).

$\bar{Nu}$ - Número de Nusselt, utilizado para caracterizar la transferencia de calor convectiva en flujos forzados y flujos naturales, en este caso se usa una correlación para flujo forzado externo en la ecuación 21.

$$\overline{Nu} = 0,664 Re_{tr} Pr + 0,036 Re_L^{0,8} Pr^{0,43} \left[1 - \left(\frac{Re_{tr}}{Re_L} \right)^{0,8} \right] \quad (21)$$

Re_{tr} - Número de Reynolds en la transición de flujo laminar a turbulento.

$$Re_{tr} = 1000$$

Pr - Número de Prandtl para el aire.

$$Pr = 0,705$$

$$Re_L = \frac{v^* L}{\nu} \quad (22)$$

v - Velocidad relativa del viento y el tanque (m/s).

ν - Viscosidad cinemática (m² /s) función de la temperatura del aire.

3.2.3.3 Conducción

Se define un coeficiente global de transferencia de calor en la ecuación 23

$$q_{cond} = U(T_s - T_L) \quad (23)$$

La suma de las resistencias térmicas para conducción radial en un cilindro está dada por la ecuación 24

$$\frac{1}{UA} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln(r_1/r_o)}{2\pi k_{ef} L} \quad (24)$$

$k_A = 0,33$ (W/m. K) conductividad térmica de la pintura epóxica.

$k_B = 50$ (W/m. K) conductividad térmica de la lámina negra.

Como la forma del perímetro del tanque en la prueba es elíptico se determinó un radio equivalente ecuación 25

$$r = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}} \quad (25)$$

r - radio equivalente.

a - radio mayor.

b - radio menor.

Como dentro del tanque se transmite el calor por convección natural se utilizan las ecuaciones 26, 27 y 28 en función de una conductividad efectiva para su empleo en ecuaciones de conducción:

$$\frac{k_{ef}}{k} = 0,386 \left(\frac{\text{Pr}}{0,861\text{Pr}} \right)^{1/4} Ra_{cil}^{1/4} \quad (26)$$

$$Ra_{cil} = \frac{\left[\ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right) \right]^4}{\bar{L}^3 \left(D_i^{-3,5} + D_o^{-3/5} \right)^5 Ra_L} \quad (27)$$

$$Ra_L = \frac{(\beta \Delta T) g \bar{L}^3}{\nu^2 \alpha} \quad (28)$$

donde

$$\beta = \frac{1}{T}$$

T - Temperatura media (°C).

$$\Delta T = (T_L - T_V)$$

ν - Viscosidad cinemática, función de la temperatura media entre líquido y superficie.

α - Difusividad térmica = $0,111 \cdot 10^{-6}$ (m²/seg).

$$\bar{L} = \frac{D_0 - D_i}{2}, D_i = 2r_0 \quad (29)$$

$\bar{L}$ = es el ancho del intervalo que separa los cilindros.

D_i debe ser cercano a cero.

Como la temperatura en la superficie superior y lateral del tanque son diferentes se divide el balance de calor en estas dos secciones de acuerdo al área con recubrimiento de pintura epóxica blanca y el área no recubierta, que además poseen propiedades radiativas diferentes, se realizan los cálculos expuestos con los datos adquiridos y se obtiene una aproximación del calor acumulado en los recorridos del carrotanque. Los resultados del balance de calor se encuentran en el anexo B

3.3 PROYECCIONES PARA LAS GASOLINAS OXIGENADAS

A partir de los datos de pérdida de R.V.P causada por el burbujeo de nitrógeno obtenidos en la debutanización de las gasolinas base y su mezcla con etanol anhidro (10% v/v) se comparó el efecto que causa el tiempo de burbujeo de nitrógeno en la pérdida de R.V.P. para cada combustible y así obtener una proyección de la posible pérdida de R.V.P de la mezcla de gasolina – etanol anhidro (10% v/v), a partir de la pérdida de R.V.P en las gasolinas base.

Tabla 71. Proyección del valor de Pérdida de R.V.P para las Gasolinas Oxigenadas a partir de su correspondiente Gasolina Base

Gasolina		Proyección
GCB	Regular	$y = 0,9006x + 0,0357$
	Extra	$y = 1,4422x - 0,0108$
GRC	Regular	$y = 0,925x + 0,3045$
	Extra	$y = 0,7267x + 0,3913$

(Fuente: Carolina Acero / Maritza Rojas)

En el recorrido realizado desde Terpel Chimitá hasta la estación “La Rosita” se tuvo una disminución en la R.V.P de 0,33 psi (2,28 kPa). Con los resultados presentados en la Tabla 71 se puede efectuar la proyección de los índices de emisión partiendo del valor de R.V.P reportado en el recorrido, calculando a cuando equivaldría este valor para la mezcla gasolina regular GCB – etanol anhidro (10% v/v) y con ayuda de la Figura 10 finalmente se obtiene el valor de los índices de emisión por litro de muestra. Esto indica que para la pérdida especificada para la gasolina regular GCB, la mezcla tendrá una disminución de 0,33 psi (2,28 kPa) en el valor de R.V.P, que significa una pérdida en volumen de 14,99 gal (0,057 m³) en el recorrido hasta la estación “La Rosita”.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los estudios realizados en combustibles reformulados se ha encontrado que la mezcla gasolina – etanol anhidro (10% v/v), es una de las mejores opciones porque disminuye las emisiones en combustión en el motor de NO_x y otros compuestos altamente contaminantes, sin embargo, las propiedades de la mezcla cambian considerablemente con respecto a la gasolina base, específicamente en el caso de estudio se encontró que la presión de vapor Reid aumenta y por consiguiente las emisiones de compuestos orgánicos volátiles que la mezcla libera antes de su combustión a la atmósfera son mayores convirtiéndose en un problema ambiental por las implicaciones que se describen en el capítulo 1.

La presión de vapor Reid es una propiedad que mide la volatilidad en los combustibles y depende fundamentalmente de la naturaleza. La mezcla de las gasolinas base con el etanol aumenta su R.V.P debido a que el etanol al combinarse con estas debilita sus enlaces y se comporta como un componente volátil.

La adición de etanol a la gasolina regular GCB aumento la R.V.P en 0,69 psi (4,76 kPa) e incremento la pérdida de compuestos orgánicos volátiles en un 41% para una disminución de R.V.P de 1 psi (6,89 kPa); con el mismo análisis para la gasolina extra GCB, se mostró un aumento en un 2,96% y una variación de R.V.P de 0,56 psi. (3,86 kPa).

Para la mezclas de las gasolina provenientes de la Gerencia Refinería de Cartagena el aumento fue de 0,79 psi (5,45 kPa) y 0,48 psi (3,31 kPa) para la gasolina regular y extra respectivamente en los valores iniciales de R.V.P. El incremento en las

emisiones evaporativas fue de 23,98% para la gasolina regular y de 41,26% para extra para una disminución en 1 psi (6,89 kPa) en su valor de R.V.P inicial.

El mayor aumento porcentual de los índices de emisión en las gasolinas oxigenadas se presenta en los compuestos con seis carbonos y más de la siguiente forma: mezcla con regular GCB 66,57 %; Extra GCB 65,85%; Regular GRC 57,7% y Extra GRC 117,28%, para una disminución del valor inicial de R.V.P en 1 psi (6,89 kPa).

Los componentes olefínicos reportados en las cromatografías de gases presentaron un aumento de aproximadamente 20% para la gasolina regular GCB, 18% para la gasolina extra GCB, para la gasolina extra GRC 30%. La gasolina regular GRC no mantuvo una tendencia clara en las emisiones de estos COV's, resultados considerados de gran importancia por la alta reactividad en la atmósfera como precursores de ozono fotoquímico de las olefinas.

La pérdida R.V.P durante el llenado con combustible del carro tanque para la distribución a las estaciones de servicio Terpel ubicadas en Bucaramanga, su área metropolitana y fuera de ella, oscila entre 0,11 y 0,12 psi (0,76 – 0,83 kPa) manteniéndose aproximadamente constante para cualquier hora en que se efectúe la carga.

Se registró un mayor valor en el cambio de R.V.P para los recorridos cortos realizados en la distribución de combustible para la ciudad comparados con el valor obtenido para los recorridos largos efectuados en carretera, debido a que la transferencia de calor por convección es favorecida por el aumento en la velocidad que se puede alcanzar en los recorridos fuera de la ciudad, la disminución en la temperatura del aire y la alta resistencia térmica de la gasolina que disminuye la transferencia de calor, contrario al fenómeno que se presenta en los recorridos cortos y en consecuencia

esto ocasiona una mayor acumulación de calor en los recorridos cortos que contribuye a una mayor evaporación.

Por último, al realizar la proyección de la pérdida de R.V.P por transporte de la mezcla gasolina base – etanol anhidro (10% v/v), se espera un aumento inminente de este valor, como consecuencia de la mayor volatilidad que presentan las gasolinas oxigenadas.

RECOMENDACIONES

El manejo de los combustibles oxigenados debe ser cuidadoso y conciente, ya que el aumento de las emisiones evaporativas con respecto a las gasolinas base, acarrearán tanto pérdidas económicas, como un incremento en el aporte a la contaminación y producción de ozono troposférico. Por esta razón se recomienda, realizar la carga de los vehículos de distribución por la parte inferior del tanque, para evitar el escape en el periodo de carga, y además, la revisión constante de los tanques de los vehículos para constatar la ausencia de fugas. Por otra parte, se debe mantener en buen estado la pintura de recubrimiento en el tanque, para disminuir la transferencia de calor y por consiguiente las pérdidas por evaporación.

Se recomienda realizar la carga y descarga de combustible del tanque de los vehículos de distribución, en terminales y estaciones de servicio implantando un sistema de recolección de compuestos livianos.

A su vez, se recomienda que para la disminución en las pérdidas por evaporación de la mezcla gasolina – etanol anhidro (10% v/v) se dispongan los horarios de distribución para los vehículos en los periodos del día de menor radiación y temperatura ambiente, los factores que más influyen en la emisión de COV's. Esta recomendación se puede extender a los vehículos que llenan sus tanques en las estaciones de servicio.

BIBLIOGRAFIA

1. EPA. Volatility (RVP). En: <http://www.epa.gov/otag/volatility.htm>. 29 Junio del 2004
2. ECOPETROL. Proyecto de Optimización de la Calidad de las Gasolinas. Piedecuesta: 1990. p. 53 - 63, 14 – 18.
3. CONSUMER. Biocombustibles, más limpios pero el doble de caros que la gasolina. En: <http://revista.consumer.es/web/es/20000101/medioambiente/30668.jsp>. N°29 Enero 2000
4. ECOGUIA. Qué es la Biogasolina y cómo van estos productos en Colombia. En: www.ecoguia.com/noticias/biogasolina.htm.
5. TORRES, Jaime et all. “Estudio de la Mezcla de Gasolina con 10% de Etanol Anhidro. Evaluación de Propiedades Fisicoquímicas”. *Ciencia Tecnología y Futuro* (2): 71-82
6. CUESTA, J.D. Estudio de Mezcla de Etanol y Combustión Derivados del Petróleo. Bucaramanga, 1979, p.p 134. tesis (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.
7. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for distillation petroleum products at atmospheric pressure. Pennsylvania. (ASTM D-86-00a).
8. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test for vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method) Pennsylvania. (ASTM 323-99).

9. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method research octane number of spark-ignition engine fuel IP. Pennsylvania. (ASTM D-2699-01)
10. EUSKADI. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's). En: http://www.euskadi.net/vima_aire/organicos_volatiles_c.html. 30 de Marzo del 2004.
11. SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFERICO. Red de Monitoreo de Partículas PM_{2.5} de la Ciudad de México. En: http://www.Red_de_Monitoreo_de_PM_2_5.html. 9 de Agosto del 2004.
12. GOBIERNO DE CHILE COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. Compuestos Orgánicos Volátiles, Precursores del Ozono y amigos del Cáncer. En: <http://www.conama.cl/rm/568/propertyvalue-991.html>. 27 de Marzo dl 2004.
13. CAST. Fotoquímica. En: <http://www.chem.leeds.ac.uk/Atmospheric/MCM/main.html>. 30 de Marzo del 2004
14. SEINFELD, J. H. Atmospheric Chemistry and physics of air pollution. 1986: John Wiley & sons, NY, NY.
15. CARTER, W and ATKINSON, R. An experimental Study of Incremental Hydrocarbon Reactivity. En: American Chemical -Society. 1987.
16. SYKES, R.I, SANTOS, L.P and HENN, D.S. Large Eddy Simulation of a turbulent racting Plume in a Convective Boundary Layer. En: American Meteorological Society. (Enero, 1998). p.p 569-543
17. CARTER, W.P.L. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds. J. Air & Waste Management Association 44. 1994, p.p 881 –889.

18. USEPA. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, EPA Publication AP-42, Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Research Triangle Park, NC.1995.
19. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Manual of Petroleum Measurement Standards. Washington, D.C: API Publication 2518. (October 1991). p.p 2-10, 28-36.
20. PINTO, C.A y RUEDA U.F. Estudio de la Mezcla Gasolina con 10% de Etanol Anhidro y Evaluación de sus propiedades fisicoquímicas. Bucaramanga, 2002 p.p 62,67-70.Tesis de Grado (Química). Universidad Industrial de Santander Facultad de Ciencias.
21. MILLS, Anthony. Transferencia de Calor. Mc Graw Hill. Santa Fe de Bogotá 1997 p. p 295, 317, 553.
22. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Evaporation Loss from Fixed Roof. Washington, D.C: API Publication 2518. (October 1991). p.p 2-10, 28-36.
23. TREYBALL, R.E. Operaciones de Transferencia de Masa. México: Mc Graw Hill. 2^a ed. p.p 289.

ANEXO A
CUANTIFICACIÓN DE COV'S DE LAS GASOLINAS BASE Y OXIGENADAS

Anexo A.1 Cuantificación de COV's Prueba 1 Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol Anhidro (10% v/v).

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0	0	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	6,068	6,126	114	6,9175	6,9836	32,7321	35,4990	1,0089	1,5703	2,5791	34,3628
CO2	0,0112	0	44	0,0049	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1 PROPANO	1,575	0,78	44	0,6930	0,3432	3,2791	1,7445	0,1011	0,0772	0,1782	2,3747
1 PROPILENO	0,192	0,084	42	0,0806	0,0353	0,3816	0,1793	0,0118	0,0079	0,0197	0,2624
I BUTANO	2,021	1,561	58	1,1722	0,9054	5,5465	4,6022	0,1710	0,2036	0,3745	4,9900
N BUTANO	3,508	3,013	58	2,0346	1,7475	9,6275	8,8830	0,2967	0,3929	0,6897	9,1887
H2S	0	0	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,64	0,53	56	0,3584	0,2968	1,6959	1,5087	0,0523	0,0667	0,1190	1,5856
1 BUTENO	0,619	0,511	56	0,3466	0,2862	1,6402	1,4546	0,0506	0,0643	0,1149	1,5308
T BUTENO	1,055	0,923	56	0,5908	0,5169	2,7955	2,6274	0,0862	0,1162	0,2024	2,6964
I PENTANO	8,043	7,816	72	5,7910	5,6275	27,4015	28,6056	0,8446	1,2654	2,1099	28,1112
C2 BUTENO	1,017	0,908	56	0,5695	0,5085	2,6948	2,5847	0,0831	0,1143	0,1974	2,6299
N PENTANO	2,76	2,722	72	1,9872	1,9598	9,4030	9,9622	0,2898	0,4407	0,7305	9,7326
1,3 BUTADIENO	0,0165	0,0138	54	0,0089	0,0075	0,0422	0,0379	0,0013	0,0017	0,0030	0,0396
1 PENTENO	0,629	0,615	72	0,4529	0,4428	2,1429	2,2508	0,0660	0,0996	0,1656	2,2065
ETILENO	0,0254	0	28	0,0071	0,0000	0,0337	0,0000	0,0010	0,0000	0,0010	0,0138
ETANO	0,382	0,0393	30	0,1146	0,0118	0,5423	0,0599	0,0167	0,0027	0,0194	0,2580
METANO	0,0545	0	16	0,0087	0,0000	0,0413	0,0000	0,0013	0,0000	0,0013	0,0169
CO	0	0	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	0,369	0,00737	32	0,1181	0,0024	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	71,015	74,353	28	19,8842	20,8188	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			41,1409	40,4940	COV's (gr/lt)		3,0821	4,4235	7,5056	
	gr de COV's/mol			21,1337	19,6728						
	gr de COV's en la bolsa			18,8011	19,7729						

Anexo A.2 Cuantificación de COV's Prueba 2 (Repetibilidad) Mezcla Gasolina Regular GCB – Etanol Anhidro (10% v/v).

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0	0	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	6,005	6,238	114	6,8457	7,1113	33,1410	36,2497	1,1595	2,3256	3,4851	35,1498
CO2	0,0108	0	44	0,0048	0,0000	0,0230	0,0000	0,0008	0,0000	0,0008	0,0081
1 PROPANO	1,347	0,571	44	0,5927	0,2512	2,8692	1,2807	0,1004	0,0822	0,1826	1,8411
1 PROPILENO	0,161	0,0583	42	0,0676	0,0245	0,3274	0,1248	0,0115	0,0080	0,0195	0,1963
I BUTANO	1,91	1,402	58	1,1078	0,8132	5,3630	4,1451	0,1876	0,2659	0,4536	4,5745
N BUTANO	3,392	2,866	58	1,9674	1,6623	9,5243	8,4734	0,3332	0,5436	0,8768	8,8435
H2S	0	0	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,611	0,491	56	0,3422	0,2750	1,6564	1,4016	0,0580	0,0899	0,1479	1,4914
1 BUTENO	0,596	0,477	56	0,3338	0,2671	1,6158	1,3616	0,0565	0,0874	0,1439	1,4512
T BUTENO	1,024	0,884	56	0,5734	0,4950	2,7761	2,5235	0,0971	0,1619	0,2590	2,6124
I PENTANO	7,989	7,97	72	5,7521	5,7384	27,8466	29,2513	0,9743	1,8766	2,8509	28,7533
C2 BUTENO	0,993	0,882	56	0,5561	0,4939	2,6921	2,5177	0,0942	0,1615	0,2557	2,5790
N PENTANO	2,751	2,807	72	1,9807	2,0210	9,5889	10,3022	0,3355	0,6609	0,9964	10,0497
1,3 BUTADIENO	0,0164	0,0119	54	0,0089	0,0064	0,0429	0,0328	0,0015	0,0021	0,0036	0,0363
1 PENTENO	0,623	0,629	72	0,4486	0,4529	2,1715	2,3085	0,0760	0,1481	0,2241	2,2600
ETILENO	0,0159	0	28	0,0045	0,0000	0,0216	0,0000	0,0008	0,0000	0,0008	0,0076
ETANO	0,238	0,0177	30	0,0714	0,0053	0,3457	0,0271	0,0121	0,0017	0,0138	0,1395
METANO	0,0227	0	16	0,0036	0,0000	0,0176	0,0000	0,0006	0,0000	0,0006	0,0062
CO	0	0	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	0,118	0,00447	32	0,0378	0,0014	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	72,177	74,691	28	20,2096	20,9135	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			40,9084	40,5325	COV's (gr/lt)		3,4995	6,4155	9,9151	
	gr de COV's/mol			20,6563	19,6176						
	gr de COV's en la bolsa			22,6718	28,3138						

Anexo A.3 Cuantificación de COV's Prueba 1 Gasolina Extra GCB.

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HEXANOS+	7,210	7,360	114	8,219	8,390	37,327	38,643	1,226	1,503	2,729	38,040
CO2	0,006	0,000	44	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1 PROPANO	0,046	0,025	44	0,020	0,011	0,092	0,051	0,003	0,002	0,005	0,070
1 PROPILENO	0,094	0,053	42	0,040	0,022	0,180	0,102	0,006	0,004	0,010	0,138
I BUTANO	0,938	0,794	58	0,544	0,461	2,471	2,121	0,081	0,082	0,164	2,281
N BUTANO	1,927	1,758	58	1,118	1,020	5,076	4,696	0,167	0,183	0,349	4,870
H2S	0,000	0,000	34	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
I BUTENO	0,797	0,708	56	0,446	0,396	2,027	1,826	0,067	0,071	0,138	1,918
1 BUTENO	0,747	0,659	56	0,418	0,369	1,900	1,700	0,062	0,066	0,129	1,791
T BUTENO	1,668	1,536	56	0,934	0,860	4,242	3,962	0,139	0,154	0,293	4,090
I PENTANO	9,532	9,505	72	6,863	6,844	31,167	31,519	1,024	1,226	2,250	31,358
C2 BUTENO	1,676	1,564	56	0,939	0,876	4,262	4,034	0,140	0,157	0,297	4,138
N PENTANO	2,411	2,409	72	1,736	1,734	7,883	7,988	0,259	0,311	0,570	7,940
1,3 BUTADIENO	0,036	0,020	54	0,019	0,011	0,088	0,049	0,003	0,002	0,005	0,067
1 PENTENO	0,989	0,998	72	0,712	0,719	3,234	3,309	0,106	0,129	0,235	3,275
ETILENO	0,014	0,000	28	0,004	0,000	0,018	0,000	0,001	0,000	0,001	0,008
ETANO	0,024	0,000	30	0,007	0,000	0,033	0,000	0,001	0,000	0,001	0,015
METANO	0,000	0,000	16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO	0,000	0,000	28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
OXIGENO	0,196	0,030	32	0,063	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NITROGENO	71,687	72,581	28	20,072	20,323	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			42,158	42,045	COV's (gr/lt)		3,2850	3,8895	7,1745	
	gr de COV's/mol			22,020	21,713						
	gr de COV's en la bolsa			22,460	20,450						

Anexo A.4 Cuantificación de COV's Prueba 2 (Repetibilidad) Gasolina Extra GCB.

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HEXANOS+	7,696	7,609	114	8,773	8,674	37,864	39,599	1,847	1,836	3,683	38,040
CO2	0,015	0,000	44	0,006	0,000	0,028	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
1 PROPANO	0,045	0,020	44	0,020	0,009	0,085	0,040	0,004	0,002	0,006	0,070
1 PROPILENO	0,093	0,041	42	0,039	0,017	0,169	0,079	0,008	0,004	0,012	0,138
I BUTANO	0,965	0,742	58	0,560	0,430	2,416	1,965	0,118	0,091	0,209	2,281
N BUTANO	2,002	1,701	58	1,161	0,987	5,011	4,504	0,244	0,209	0,453	4,870
H2S	0,000	0,000	34	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
I BUTENO	0,823	0,680	56	0,461	0,381	1,989	1,738	0,097	0,081	0,178	1,918
1 BUTENO	0,770	0,631	56	0,431	0,353	1,861	1,613	0,091	0,075	0,166	1,791
T BUTENO	1,731	1,497	56	0,969	0,838	4,183	3,827	0,204	0,177	0,382	4,090
I PENTANO	9,977	9,517	72	7,183	6,852	31,002	31,281	1,512	1,450	2,963	31,358
C2 BUTENO	1,741	1,534	56	0,975	0,859	4,208	3,922	0,205	0,182	0,387	4,138
N PENTANO	2,523	2,426	72	1,817	1,747	7,840	7,974	0,382	0,370	0,752	7,940
1,3 BUTADIENO	0,037	0,019	54	0,020	0,010	0,085	0,048	0,004	0,002	0,006	0,067
1 PENTENO	1,046	1,038	72	0,753	0,747	3,250	3,412	0,159	0,158	0,317	3,275
ETILENO	0,011	0,000	28	0,003	0,000	0,014	0,000	0,001	0,000	0,001	0,008
ETANO	0,019	0,000	30	0,006	0,000	0,025	0,000	0,001	0,000	0,001	0,015
METANO	0,000	0,000	16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO	0,000	0,000	28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
OXIGENO	0,330	0,004	32	0,106	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NITROGENO	70,176	72,541	28	19,649	20,311	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			42,932	42,218	COV's (gr/lt)		4,8795	4,6363	9,5158	
	gr de COV's/mol			23,171	21,906						
	gr de COV's en la bolsa			32,275	21,740						

Anexo A.5 Cuantificación de COV's Prueba 1 Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol Anhidro (10% v/v).

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lit gasolina)		Total (gr/lit)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HEXANOS+	10,152	9,934	114	11,573	11,325	45,429	47,342	2,442	2,885	5,328	46,444
CO2	0,004	0,000	44	0,002	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
1 PROPANO	0,038	0,015	44	0,017	0,006	0,066	0,027	0,004	0,002	0,005	0,045
1 PROPILENO	0,079	0,034	42	0,033	0,014	0,131	0,060	0,007	0,004	0,011	0,093
I BUTANO	0,905	0,670	58	0,525	0,389	2,060	1,624	0,111	0,099	0,210	1,829
N BUTANO	1,915	1,581	58	1,111	0,917	4,360	3,833	0,234	0,234	0,468	4,080
H2S	0,000	0,000	34	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
I BUTENO	0,673	0,541	56	0,377	0,303	1,479	1,266	0,080	0,077	0,157	1,366
1 BUTENO	0,708	0,562	56	0,396	0,315	1,556	1,316	0,084	0,080	0,164	1,428
T BUTENO	1,627	1,374	56	0,911	0,769	3,576	3,217	0,192	0,196	0,388	3,385
I PENTANO	9,844	9,273	72	7,088	6,677	27,822	27,910	1,496	1,701	3,197	27,868
C2 BUTENO	1,635	1,414	56	0,916	0,792	3,594	3,310	0,193	0,202	0,395	3,443
N PENTANO	2,486	2,376	72	1,790	1,711	7,026	7,151	0,378	0,436	0,814	7,092
1,3 BUTADIENO	0,026	0,020	54	0,014	0,011	0,054	0,045	0,003	0,003	0,006	0,049
1 PENTENO	1,007	0,963	72	0,725	0,693	2,846	2,898	0,153	0,177	0,330	2,874
ETILENO	0,000	0,000	28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ETANO	0,000	0,000	30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
METANO	0,000	0,000	16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO	0,000	0,000	28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
OXIGENO	1,426	0,067	32	0,456	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NITROGENO	67,477	71,177	28	18,894	19,930	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			44,827	43,872	COV's (gr/lit)		5,3759	6,0950	11,4709	
	gr de COV's/mol			25,475	23,921						
	gr de COV's en la bolsa			34,269	28,189						

Anexo A.6 Cuantificación de COV's Prueba 2 (Repetibilidad) Mezcla Gasolina Extra GCB – Etanol Anhidro (10% v/v)

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HEXANOS+	8,992	9,417	114	10,251	10,735	44,599	46,654	1,981	2,685	4,666	38,040
CO2	0,005	0,000	44	0,002	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1 PROPANO	0,038	0,017	44	0,017	0,007	0,072	0,032	0,003	0,002	0,005	0,070
1 PROPILENO	0,076	0,032	42	0,032	0,014	0,138	0,059	0,006	0,003	0,010	0,138
I BUTANO	0,847	0,665	58	0,491	0,386	2,137	1,676	0,095	0,096	0,191	2,281
N BUTANO	1,778	1,559	58	1,031	0,904	4,487	3,930	0,199	0,226	0,425	4,870
H2S	0,000	0,000	34	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
I BUTENO	0,621	0,530	56	0,348	0,297	1,513	1,290	0,067	0,074	0,141	1,918
1 BUTENO	0,661	0,561	56	0,370	0,314	1,610	1,365	0,072	0,079	0,150	1,791
T BUTENO	1,504	1,351	56	0,842	0,757	3,664	3,288	0,163	0,189	0,352	4,090
I PENTANO	8,977	9,008	72	6,463	6,486	28,121	28,186	1,249	1,622	2,871	31,358
C2 BUTENO	1,509	1,390	56	0,845	0,778	3,677	3,383	0,163	0,195	0,358	4,138
N PENTANO	2,259	2,301	72	1,626	1,657	7,076	7,200	0,314	0,414	0,729	7,940
1,3 BUTADIENO	0,019	0,017	54	0,010	0,009	0,045	0,041	0,002	0,002	0,004	0,067
1 PENTENO	0,913	0,926	72	0,657	0,667	2,860	2,897	0,127	0,167	0,294	3,275
ETILENO	0,000	0,000	28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
ETANO	0,000	0,000	30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015
METANO	0,000	0,000	16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO	0,000	0,000	28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
OXIGENO	3,643	0,034	32	1,166	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NITROGENO	68,159	72,191	28	19,085	20,213	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			43,237	43,235	COV's (gr/lt)		4,4432	5,7544	10,1976	
	gr de COV's/mol			22,984	23,011						
	gr de COV's en la bolsa			26,101	23,737						

Anexo A.7 Cuantificación de COV's Prueba 1 Gasolina Regular GRC .

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	6,347	6,139	114	7,2356	6,9985	35,8625	36,6510	1,7218	1,5224	3,2442	36,2282
CO2	0,002	0,000	44	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1 PROPANO	0,691	0,287	44	0,3040	0,1263	1,5069	0,6613	0,0723	0,0275	0,0998	1,1147
1 PROPILENO	0,023	0,008	42	0,0095	0,0032	0,0468	0,0167	0,0022	0,0007	0,0029	0,0328
I BUTANO	2,728	1,910	58	1,5822	1,1078	7,8422	5,8016	0,3765	0,2410	0,6175	6,8957
N BUTANO	4,068	3,220	58	2,3594	1,8676	11,6943	9,7806	0,5615	0,4063	0,9677	10,8067
H2S	0,000	0,000	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,824	0,624	56	0,4614	0,3494	2,2871	1,8300	0,1098	0,0760	0,1858	2,0751
1 BUTENO	1,083	0,812	56	0,6065	0,4547	3,0060	2,3814	0,1443	0,0989	0,2432	2,7162
T BUTENO	2,131	1,715	56	1,1934	0,9604	5,9148	5,0296	0,2840	0,2089	0,4929	5,5042
I PENTANO	6,843	6,261	72	4,9270	4,5079	24,4200	23,6080	1,1724	0,9806	2,1530	24,0434
C2 BUTENO	1,906	1,573	56	1,0674	0,8809	5,2903	4,6132	0,2540	0,1916	0,4456	4,9762
N PENTANO	0,000	2,033	72	0,0000	1,4638	0,0000	7,6657	0,0000	0,3184	0,3184	3,5557
1,3 BUTADIENO	0,015	0,009	54	0,0080	0,0046	0,0396	0,0242	0,0019	0,0010	0,0029	0,0325
1 PENTENO	0,552	0,512	72	0,3974	0,3686	1,9699	1,9306	0,0946	0,0802	0,1748	1,9516
ETILENO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ETANO	0,080	0,004	30	0,0241	0,0012	0,1195	0,0062	0,0057	0,0003	0,0060	0,0670
METANO	0,000	0,000	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	0,515	0,029	32	0,1648	0,0092	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	72,192	74,864	28	20,2138	20,9619	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			40,5555	40,0660	COV's (gr/lt)		4,8011	4,1537	8,9548	
	gr de COV's/mol			20,1759	19,0949						
	gr de COV's en la bolsa			30,7945	19,2541						

Anexo A.8 Cuantificación de COV's Prueba 2 (Repetibilidad) Gasolina Regular GRC .

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	6,929	6,971	114	7,8991	7,9469	33,8086	36,5385	1,5421	1,9085	3,4506	38,5336
CO2	0,002	0,000	44	0,0010	0,0000	0,0042	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0021
1 PROPANO	0,720	0,327	44	0,3168	0,1439	1,3559	0,6615	0,0618	0,0346	0,0964	1,0765
1 PROPILENO	0,023	0,009	42	0,0095	0,0038	0,0404	0,0173	0,0018	0,0009	0,0027	0,0307
I BUTANO	2,876	2,156	58	1,6681	1,2505	7,1395	5,7495	0,3257	0,3003	0,6260	6,9903
N BUTANO	4,309	3,647	58	2,4992	2,1153	10,6969	9,7256	0,4879	0,5080	0,9959	11,1215
H2S	0,000	0,000	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,872	0,705	56	0,4883	0,3948	2,0900	1,8152	0,0953	0,0948	0,1901	2,1234
1 BUTENO	1,145	0,917	56	0,6412	0,5135	2,7444	2,3611	0,1252	0,1233	0,2485	2,7751
T BUTENO	2,263	1,945	56	1,2673	1,0892	5,4241	5,0079	0,2474	0,2616	0,5090	5,6839
I PENTANO	7,341	7,182	72	5,2855	5,1710	22,6224	23,7754	1,0319	1,2418	2,2737	25,3911
C2 BUTENO	2,028	1,786	56	1,1357	1,0002	4,8608	4,5985	0,2217	0,2402	0,4619	5,1582
N PENTANO	2,354	2,345	72	1,6949	1,6884	7,2542	7,7629	0,3309	0,4055	0,7364	8,2231
1,3 BUTADIENO	0,015	0,009	54	0,0078	0,0050	0,0335	0,0230	0,0015	0,0012	0,0027	0,0305
1 PENTENO	0,592	0,590	72	0,4262	0,4248	1,8243	1,9531	0,0832	0,1020	0,1852	2,0685
ETILENO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ETANO	0,082	0,008	30	0,0245	0,0023	0,1049	0,0104	0,0048	0,0005	0,0053	0,0595
METANO	0,000	0,000	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	0,274	0,040	32	0,0877	0,0129	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	68,174	71,363	28	19,0887	19,9816	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			42,5414	41,7440	COV's (gr/lt)		4,5615	5,2232	9,7847	
	gr de COV's/mol			23,3641	21,7495						
	gr de COV's en la bolsa			29,4375	26,3637						

Anexo A.9 Cuantificación de COV's Prueba 1 Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol Anhidro (10% v/v).

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	8,213	8,136	114	9,3628	9,2750	39,9935	43,6923	2,0172	2,3328	4,3500	41,8935
CO2	0,005	0,000	44	0,0024	0,0000	0,0101	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	0,0049
1 PROPANO	0,671	0,294	44	0,2952	0,1294	1,2611	0,6094	0,0636	0,0325	0,0961	0,9259
1 PROPILENO	0,021	0,009	42	0,0088	0,0037	0,0375	0,0174	0,0019	0,0009	0,0028	0,0271
I BUTANO	2,641	1,898	58	1,5318	1,1008	6,5430	5,1858	0,3300	0,2769	0,6069	5,8448
N BUTANO	3,949	3,185	58	2,2904	1,8473	9,7836	8,7021	0,4935	0,4646	0,9581	9,2270
H2S	0,000	0,000	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,891	0,695	56	0,4990	0,3892	2,1313	1,8334	0,1075	0,0979	0,2054	1,9780
1 BUTENO	1,019	0,788	56	0,5706	0,4413	2,4375	2,0788	0,1229	0,1110	0,2339	2,2529
T BUTENO	2,020	1,665	56	1,1312	0,9324	4,8320	4,3923	0,2437	0,2345	0,4782	4,6056
I PENTANO	6,639	6,178	72	4,7801	4,4482	20,4182	20,9541	1,0298	1,1188	2,1486	20,6928
C2 BUTENO	1,798	1,520	56	1,0069	0,8512	4,3009	4,0098	0,2169	0,2141	0,4310	4,1510
N PENTANO	2,122	2,007	72	1,5278	1,4450	6,5262	6,8072	0,3292	0,3635	0,6926	6,6704
1,3 BUTADIENO	0,013	0,009	54	0,0071	0,0049	0,0302	0,0231	0,0015	0,0012	0,0028	0,0266
1 PENTENO	0,521	0,496	72	0,3751	0,3571	1,6023	1,6823	0,0808	0,0898	0,1706	1,6434
ETILENO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ETANO	0,080	0,009	30	0,0240	0,0026	0,1025	0,0121	0,0052	0,0006	0,0058	0,0560
METANO	0,000	0,000	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	1,228	0,028	32	0,3930	0,0089	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	68,169	73,085	28	19,0873	20,4638	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			42,8935	41,7008	COV's (gr/lt)		5,0442	5,3393	10,3835	
	gr de COV's/mol			23,4108	21,2281						
	gr de COV's en la bolsa			33,7298	27,6418						

Anexo A.10 Cuantificación de COV's Prueba 2 (Repetibilidad) Mezcla Gasolina Regular GRC – Etanol Anhidro (10% v/v).

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	8,532	9,033	114	9,7265	10,2976	41,0583	44,7032	1,8514	2,3166	4,1680	43,0052
CO2	0,006	0,000	44	0,0025	0,0000	0,0104	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	0,0048
1 PROPANO	0,640	0,298	44	0,2816	0,1311	1,1887	0,5692	0,0536	0,0295	0,0831	0,8574
1 PROPILENO	0,020	0,008	42	0,0082	0,0034	0,0346	0,0149	0,0016	0,0008	0,0023	0,0240
I BUTANO	2,601	1,992	58	1,5086	1,1554	6,3681	5,0156	0,2872	0,2599	0,5471	5,6446
N BUTANO	3,912	3,376	58	2,2690	1,9581	9,5779	8,5003	0,4319	0,4405	0,8724	9,0012
H2S	0,000	0,000	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,884	0,734	56	0,4950	0,4110	2,0897	1,7844	0,0942	0,0925	0,1867	1,9263
1 BUTENO	1,009	0,831	56	0,5650	0,4654	2,3852	2,0202	0,1076	0,1047	0,2122	2,1899
T BUTENO	1,981	1,745	56	1,1094	0,9772	4,6829	4,2421	0,2112	0,2198	0,4310	4,4470
I PENTANO	6,655	6,642	72	4,7916	4,7822	20,2267	20,7603	0,9121	1,0758	1,9879	20,5110
C2 BUTENO	1,790	1,617	56	1,0024	0,9055	4,2314	3,9310	0,1908	0,2037	0,3945	4,0706
N PENTANO	2,123	2,161	72	1,5286	1,5559	6,4525	6,7544	0,2910	0,3500	0,6410	6,6136
1,3 BUTADIENO	0,012	0,010	54	0,0062	0,0052	0,0262	0,0228	0,0012	0,0012	0,0024	0,0244
1 PENTENO	0,524	0,536	72	0,3773	0,3859	1,5926	1,6753	0,0718	0,0868	0,1586	1,6368
ETILENO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ETANO	0,067	0,005	30	0,0202	0,0015	0,0851	0,0063	0,0038	0,0003	0,0042	0,0430
METANO	0,000	0,000	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	1,670	0,029	32	0,5344	0,0092	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	67,576	70,985	28	18,9213	19,8758	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			43,1476	42,9206	COV's (gr/lt)		4,5097	5,1821	9,6918	
	gr de COV's/mol			23,6895	23,0355						
	gr de COV's en la bolsa			30,9655	27,7474						

Anexo A.11 Cuantificación de COV's Prueba 1 Mezcla Gasolina Extra GRC.

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	5,242	5,237	114	5,9759	5,9702	27,2527	30,1760	0,8546	1,1388	1,9934	28,8493
CO2	0,057	0,000	44	0,0252	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1 PROPANO	1,195	0,588	44	0,5258	0,2587	2,3979	1,3077	0,0752	0,0494	0,1245	1,8025
1 PROPILENO	0,036	0,015	42	0,0152	0,0062	0,0691	0,0312	0,0022	0,0012	0,0033	0,0484
I BUTANO	5,899	4,547	58	3,4214	2,6373	15,6032	13,3299	0,4893	0,5031	0,9924	14,3616
N BUTANO	7,134	6,144	58	4,1377	3,5635	18,8699	18,0117	0,5917	0,6797	1,2715	18,4011
H2S	0,000	0,000	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,643	0,530	56	0,3601	0,2968	1,6421	1,5002	0,0515	0,0566	0,1081	1,5646
1 BUTENO	0,638	0,521	56	0,3573	0,2918	1,6294	1,4747	0,0511	0,0557	0,1067	1,5449
T BUTENO	2,049	1,788	56	1,1474	1,0013	5,2328	5,0609	0,1641	0,1910	0,3551	5,1389
I PENTANO	4,838	4,749	72	3,4834	3,4193	15,8857	17,2826	0,4982	0,6522	1,1504	16,6486
C2 BUTENO	1,651	1,474	56	0,9246	0,8254	4,2164	4,1721	0,1322	0,1575	0,2897	4,1922
N PENTANO	1,784	1,787	72	1,2845	1,2866	5,8578	6,5033	0,1837	0,2454	0,4291	6,2103
1,3 BUTADIENO	0,008	0,005	54	0,0045	0,0027	0,0207	0,0139	0,0006	0,0005	0,0012	0,0170
1 PENTENO	0,308	0,302	72	0,2218	0,2174	1,0113	1,0990	0,0317	0,0415	0,0732	1,0592
ETILENO	0,009	0,000	28	0,0025	0,0000	0,0113	0,0000	0,0004	0,0000	0,0004	0,0051
ETANO	0,219	0,024	30	0,0657	0,0073	0,2996	0,0368	0,0094	0,0014	0,0108	0,1561
METANO	0,000	0,000	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	2,170	0,132	32	0,6944	0,0422	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	66,118	72,156	28	18,5130	20,2037	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			41,1603	40,0304	COV's (gr/lt)		3,1359	3,7739	6,9098	
	gr de COV's/mol			21,9277	19,7845						
	gr de COV's en la bolsa			22,9610	21,1039						

Anexo A.12 Cuantificación de COV's Prueba 2 (Repetibilidad) Mezcla Gasolina Extra GRC.

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	5,227	5,120	114	5,9588	5,8368	27,1404	29,8413	0,9829	1,0610	2,0438	29,5788
CO2	0,054	0,000	44	0,0238	0,0000	0,1086	0,0000	0,0039	0,0000	0,0039	0,0569
1 PROPANO	1,194	0,571	44	0,5254	0,2512	2,3929	1,2845	0,0867	0,0457	0,1323	1,9150
1 PROPILENO	0,039	0,014	42	0,0163	0,0060	0,0740	0,0309	0,0027	0,0011	0,0038	0,0547
I BUTANO	5,921	4,507	58	3,4342	2,6141	15,6417	13,3647	0,5665	0,4752	1,0416	15,0744
N BUTANO	7,156	6,097	58	4,1505	3,5363	18,9042	18,0795	0,6846	0,6428	1,3274	19,2103
H2S	0,000	0,000	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,644	0,528	56	0,3606	0,2957	1,6426	1,5117	0,0595	0,0537	0,1132	1,6387
1 BUTENO	0,640	0,516	56	0,3584	0,2890	1,6324	1,4773	0,0591	0,0525	0,1116	1,6157
T BUTENO	2,053	1,777	56	1,1497	0,9951	5,2364	5,0877	0,1896	0,1809	0,3705	5,3622
I PENTANO	4,848	4,730	72	3,4906	3,4056	15,8984	17,4115	0,5758	0,6190	1,1948	17,2913
C2 BUTENO	1,654	1,466	56	0,9262	0,8210	4,2187	4,1973	0,1528	0,1492	0,3020	4,3707
N PENTANO	1,788	1,777	72	1,2874	1,2794	5,8635	6,5413	0,2123	0,2326	0,4449	6,4388
1,3 BUTADIENO	0,011	0,008	54	0,0058	0,0041	0,0263	0,0208	0,0010	0,0007	0,0017	0,0245
1 PENTENO	0,309	0,305	72	0,2225	0,2196	1,0133	1,1227	0,0367	0,0399	0,0766	1,1088
ETILENO	0,011	0,000	28	0,0032	0,0000	0,0144	0,0000	0,0005	0,0000	0,0005	0,0076
ETANO	0,220	0,019	30	0,0660	0,0056	0,3006	0,0287	0,0109	0,0010	0,0119	0,1723
METANO	0,000	0,000	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	2,119	0,107	32	0,6781	0,0342	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	66,111	72,458	28	18,5111	20,2882	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			41,1684	39,8819	COV's (gr/lt)		3,6254	3,5553	7,1808	
	gr de COV's/mol			21,9554	19,5594						
	gr de COV's en la bolsa			25,4387	19,8135						

Anexo A.13 Cuantificación de COV's Prueba 1 Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol Anhidro (10% v/v).

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	6,555	7,382	114	7,4727	8,4155	35,8382	39,0433	0,8352	1,0885	1,9238	37,5830
CO2	0,027	0,002	44	0,0119	0,0010	0,0000	0,0048	0,0000	0,0001	0,0001	0,0026
1 PROPANO	0,896	0,585	44	0,3942	0,2574	1,8907	1,1942	0,0441	0,0333	0,0774	1,5113
1 PROPILENO	0,025	0,015	42	0,0103	0,0063	0,0493	0,0292	0,0012	0,0008	0,0020	0,0384
I BUTANO	4,884	4,396	58	2,8327	2,5497	13,5854	11,8292	0,3166	0,3298	0,6464	12,6285
N BUTANO	6,048	5,888	58	3,5078	3,4150	16,8232	15,8440	0,3921	0,4417	0,8338	16,2894
H2S	0,000	0,000	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,526	0,500	56	0,2946	0,2800	1,4127	1,2991	0,0329	0,0362	0,0691	1,3508
1 BUTENO	0,519	0,489	56	0,2906	0,2738	1,3939	1,2705	0,0325	0,0354	0,0679	1,3266
T BUTENO	1,677	1,657	56	0,9391	0,9279	4,5039	4,3051	0,1050	0,1200	0,2250	4,3955
I PENTANO	4,180	4,493	72	3,0096	3,2350	14,4337	15,0085	0,3364	0,4184	0,7548	14,7464
C2 BUTENO	1,368	1,375	56	0,7661	0,7700	3,6740	3,5724	0,0856	0,0996	0,1852	3,6186
N PENTANO	1,540	1,682	72	1,1088	1,2110	5,3177	5,6186	0,1239	0,1566	0,2806	5,4814
1,3 BUTADIENO	0,006	0,005	54	0,0033	0,0027	0,0158	0,0125	0,0004	0,0003	0,0007	0,0140
1 PENTENO	0,257	0,281	72	0,1850	0,2023	0,8874	0,9387	0,0207	0,0262	0,0469	0,9153
ETILENO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ETANO	0,121	0,025	30	0,0363	0,0075	0,1741	0,0349	0,0041	0,0010	0,0050	0,0983
METANO	0,000	0,000	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	3,201	0,368	32	1,0243	0,1178	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	68,170	70,856	28	19,0876	19,8397	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			40,9751	41,5127	COV's (gr/lt)		2,3306	2,7882	5,1187	
	gr de COV's/mol			20,8512	21,5542						
	gr de COV's en la bolsa			15,8769	14,0709						

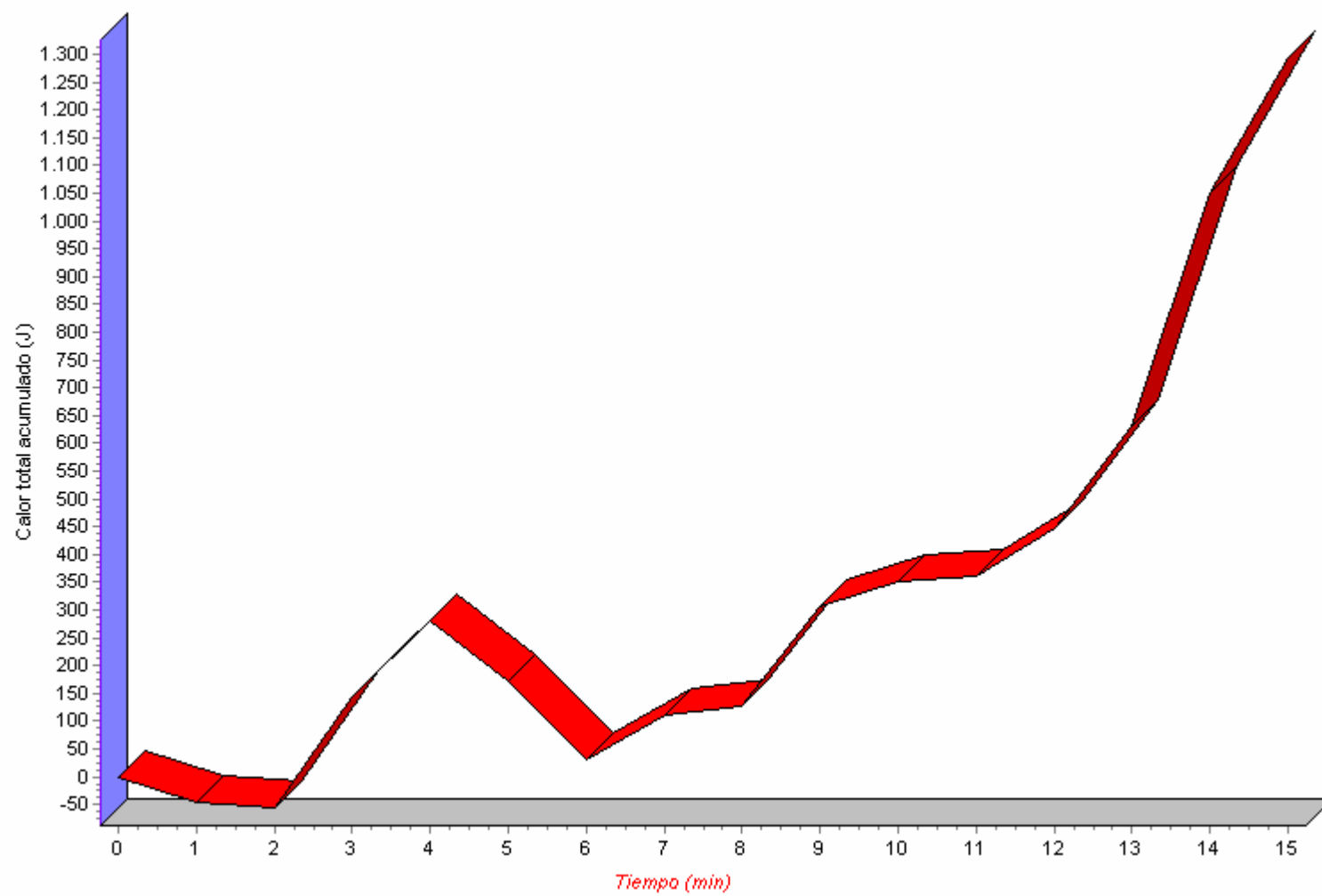
Anexo A.14 Cuantificación de COV's Prueba 2 (Repetibilidad) Mezcla Gasolina Extra GRC – Etanol Anhidro (10% v/v).

COMPUESTOS	% MOLAR		PM	peso en gr (B.C. 1 mol)		% p/p Libre N2, O2, CO2 y CO		Pérdida COV's (gr/lt gasolina)		Total (gr/lt)	% p/p COV'S
	Bolsa 1	Bolsa 2		Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 1	Bolsa 2		
HIDROGENO	0,000	0,000	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
HEXANOS+	6,818	7,808	114	7,7725	8,9011	37,1005	43,4830	1,4488	1,9195	3,3684	65,8048
CO2	0,013	0,000	44	0,0055	0,0000	0,0263	0,0000	0,0010	0,0000	0,0010	0,0200
1 PROPANO	0,793	0,343	44	0,3489	0,1509	1,6655	0,7373	0,0650	0,0325	0,0976	1,9065
1 PROPILENO	0,022	0,007	42	0,0094	0,0029	0,0449	0,0142	0,0018	0,0006	0,0024	0,0465
I BUTANO	4,706	3,515	58	2,7295	2,0387	13,0286	9,9593	0,5088	0,4397	0,9484	18,5287
N BUTANO	5,946	5,090	58	3,4487	2,9522	16,4615	14,4218	0,6428	0,6366	1,2795	24,9963
H2S	0,000	0,000	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
I BUTENO	0,514	0,421	56	0,2878	0,2358	1,3739	1,1517	0,0537	0,0508	0,1045	2,0415
1 BUTENO	0,505	0,412	56	0,2828	0,2307	1,3499	1,1271	0,0527	0,0498	0,1025	2,0019
T BUTENO	1,655	1,452	56	0,9268	0,8131	4,4239	3,9722	0,1728	0,1754	0,3481	6,8007
I PENTANO	4,225	4,287	72	3,0420	3,0866	14,5203	15,0786	0,5670	0,6656	1,2327	24,0818
C2 BUTENO	1,356	1,225	56	0,7594	0,6860	3,6246	3,3512	0,1415	0,1479	0,2895	5,6554
N PENTANO	1,563	1,629	72	1,1254	1,1729	5,3717	5,7297	0,2098	0,2529	0,4627	9,0395
1,3 BUTADIENO	0,006	0,004	54	0,0031	0,0020	0,0149	0,0099	0,0006	0,0004	0,0010	0,0199
1 PENTENO	0,263	0,272	72	0,1894	0,1958	0,9039	0,9567	0,0353	0,0422	0,0775	1,5146
ETILENO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ETANO	0,081	0,005	30	0,0243	0,0015	0,1158	0,0073	0,0045	0,0003	0,0048	0,0947
METANO	0,000	0,000	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CO	0,000	0,000	28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
OXIGENO	1,309	0,101	32	0,4189	0,0323	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
NITROGENO	70,226	73,430	28	19,6633	20,5604	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	peso en gr (B.C. 1 mol)			41,0376	41,0631	COV's (gr/lt)		3,9062	4,4145	8,3206	
	gr de COV's/mol			20,9499	20,4703						
	gr de COV's en la bolsa			25,6274	21,9344						

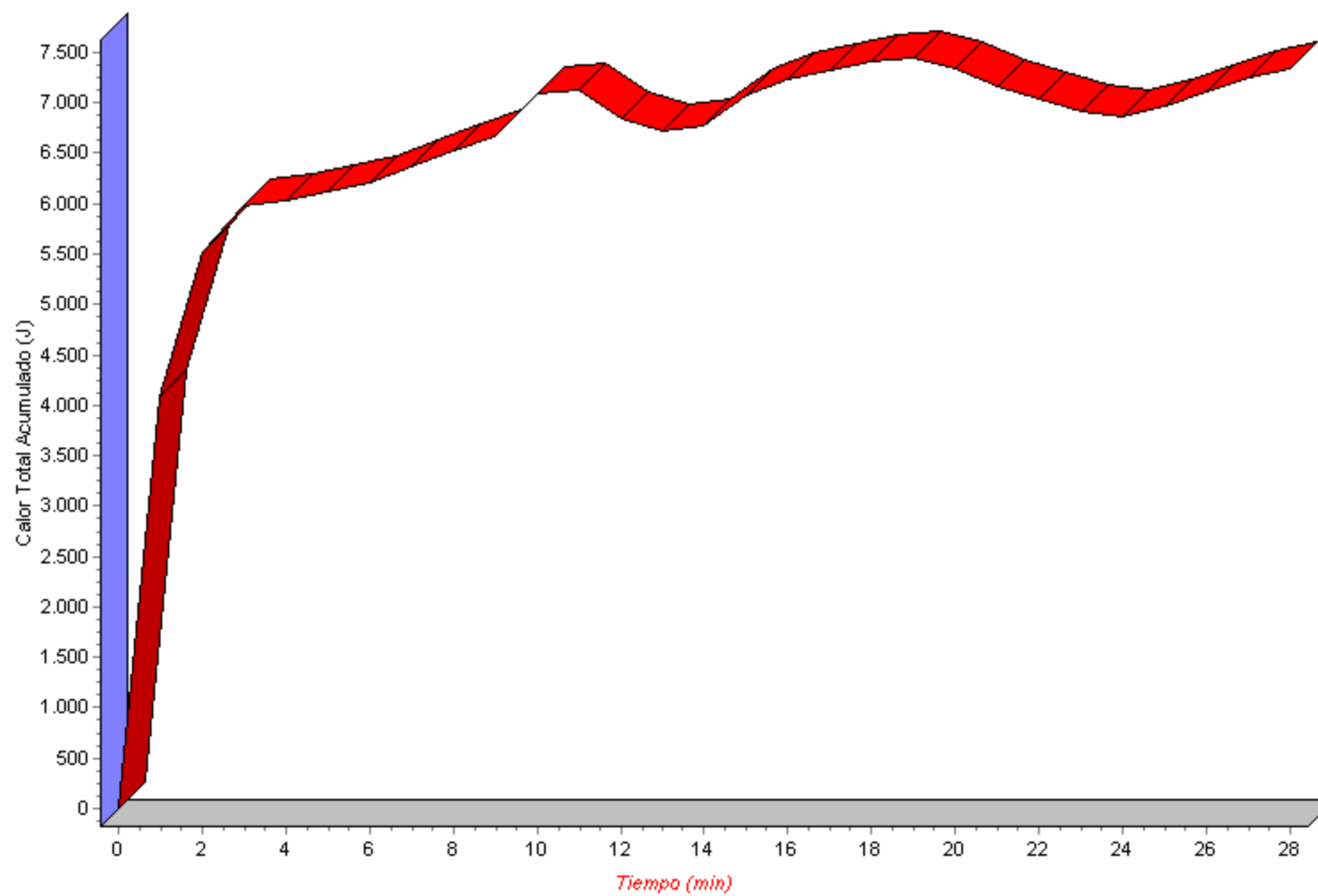
ANEXO B

**ACUMULACIÓN DE CALOR EN VEHICULOS DE DISTRIBUCIÓN DE
COMBUSTIBLE DURANTE RECORRIDOS TÍPICOS A ESTACIONES DE
SERVICIO.**

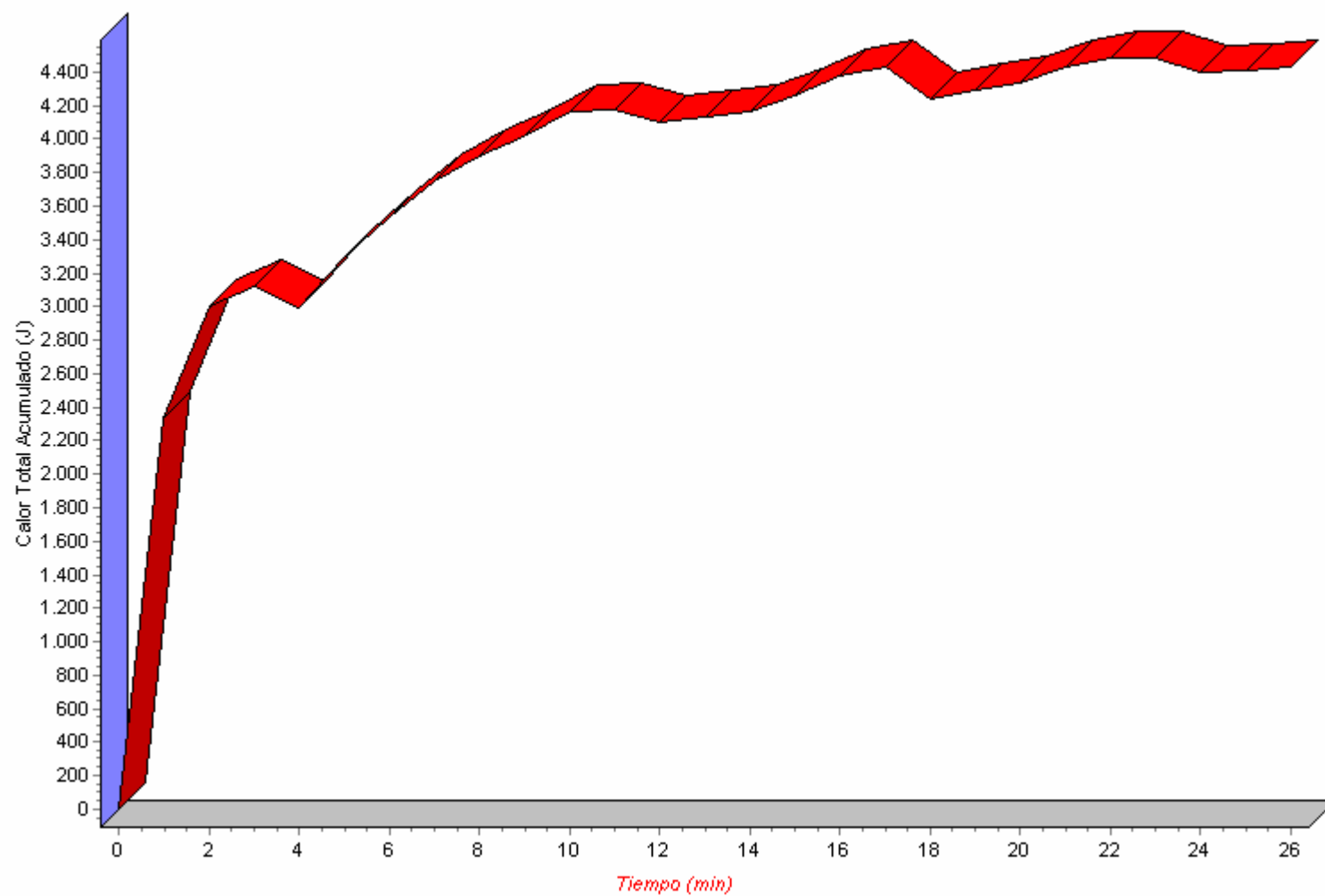
Anexo B.1 Calor Acumulado en el recorrido Terpel Chimitá – estación de servicio “La Flora”



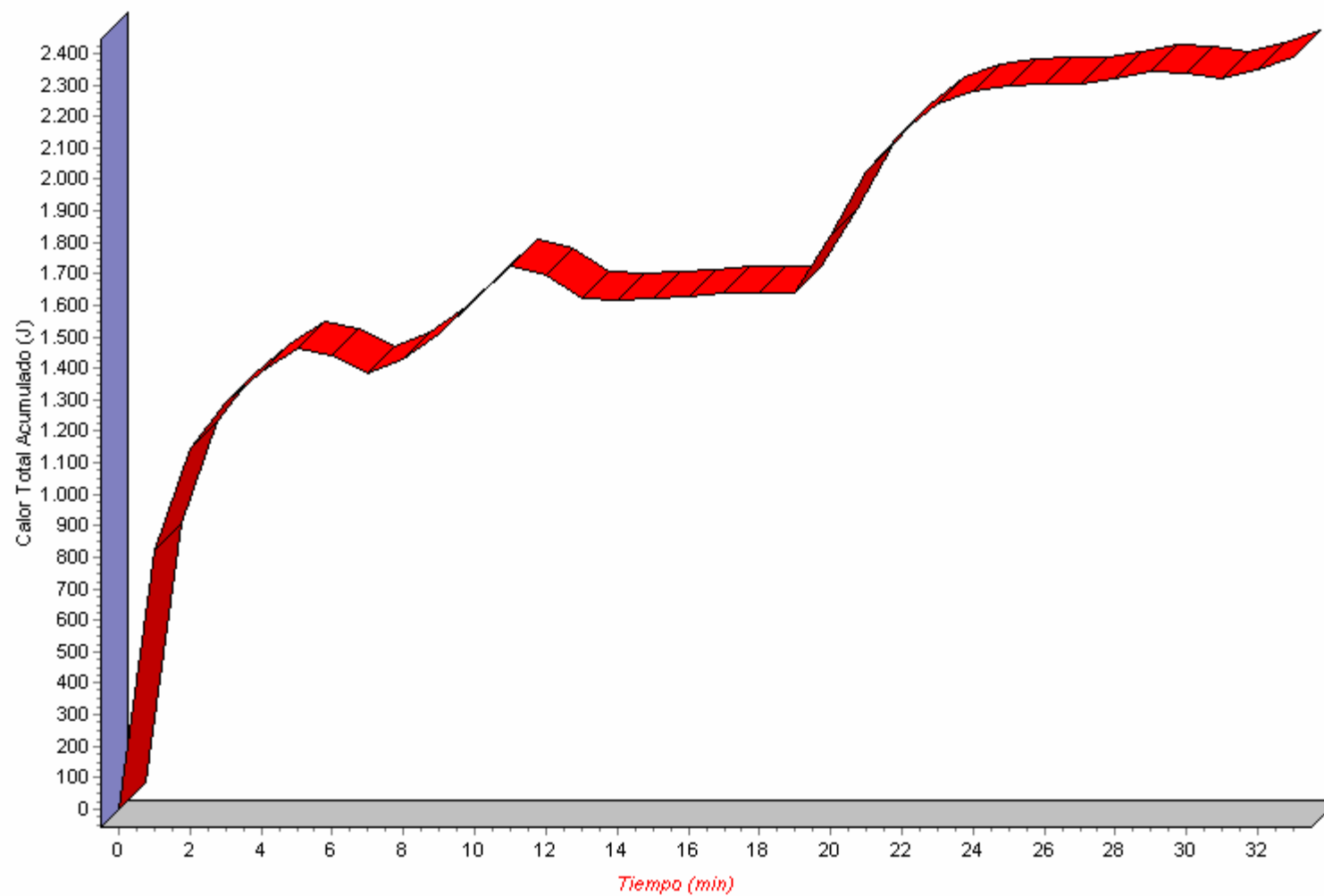
Anexo B.2 Calor Acumulado en el recorrido Terpel Chimitá – estación de servicio “Río Frío”



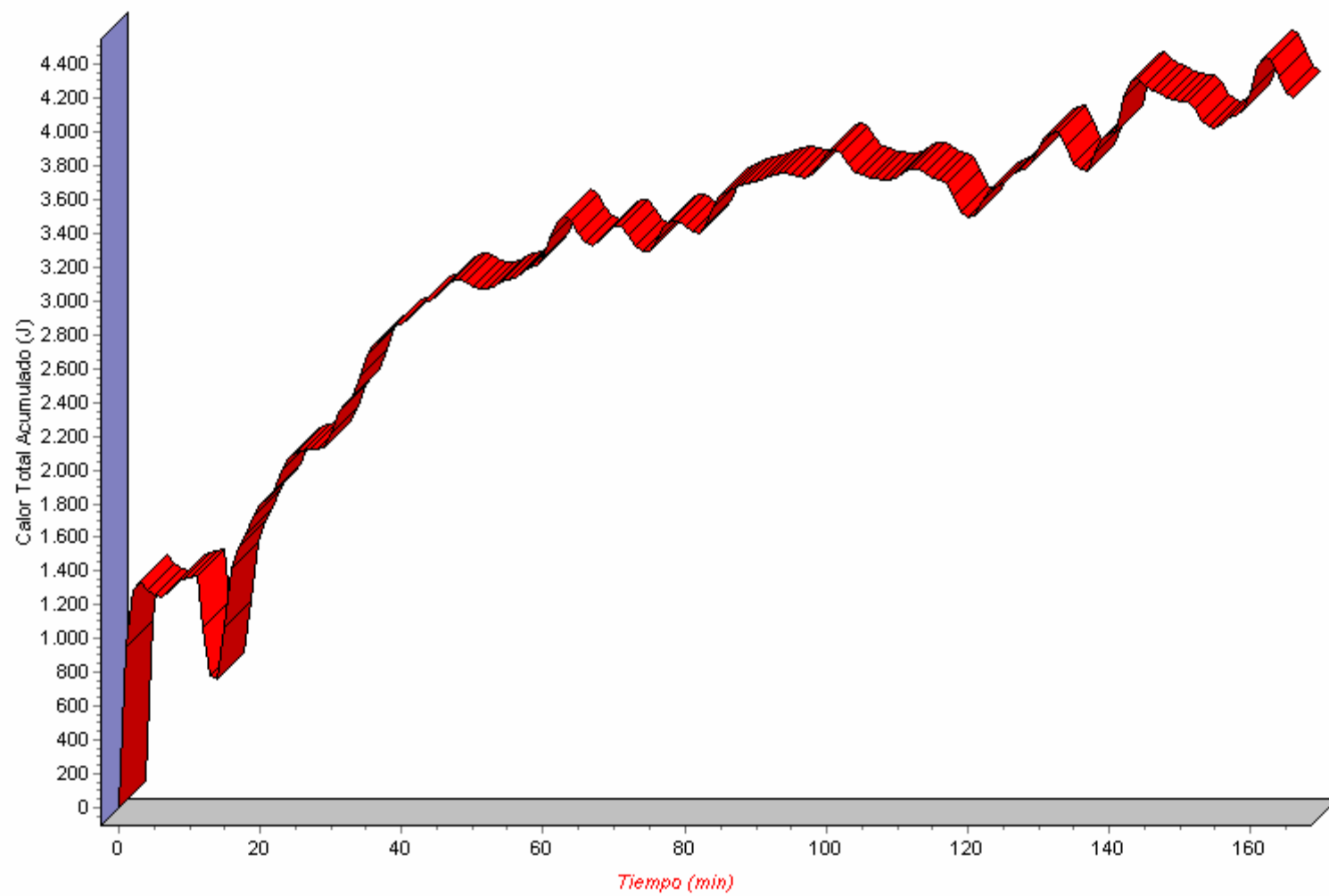
Anexo B.3 Calor Acumulado en el recorrido Terpel Chimitá – estación de servicio “La Rosita 1”



Anexo B.4 Calor Acumulado en el recorrido Terpel Chimitá – estación de servicio “La Rosita 2”



Anexo B.5 Calor Acumulado en el recorrido Terpel Chimitá – estación de servicio en San Gil



ANEXO C
EQUIPOS

Anexo C.1 Cromatógrafo de Gases Hp 5890



Anexo C.2 Equipo Medidor de R.V.P Herzog Lauda

