

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL MODELO DE MEZCLA Y PREDICCIÓN DE CALIDADES DE GASOLINAS REFORMULADAS DE LA REFINERÍA AMUAY.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al título
de Ingeniero Químico
por el Br. Lobo Picón, Raúl Alfredo

Caracas, Mayo de 2002

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL MODELO DE MEZCLA Y PREDICCIÓN DE CALIDADES DE GASOLINAS REFORMULADAS DE LA REFINERÍA AMUAY.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Berenice Blanco

TUTORES INDUSTRIALES: Ing. José Luis López

Ing. Merys Cupido

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al título
de Ingeniero Químico
por el Br. Lobo Picón, Raúl Alfredo

Caracas, Mayo de 2002

Caracas, Mayo de 2002

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Raúl A. Lobo Picón, titulado:

**“Evaluación del modelo de mezclas y predicción de calidades
de gasolinas reformuladas en la refinería de Amuay”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Josefina Trujillo

Jurado

Prof. José Fernández

Jurado

Prof. Berenice Blanco

Tutor Académico

DEDICATORIA

Hoy que he logrado alcanzar lo que hace muchos años me propuse quiero dedicar éste logro y esfuerzo a personas que son parte de la culminación de ésta meta. Que no es sólo mía, también es de ellos.

A mi madre Miriam, quien con su infinito amor de madre ha sido pilar fundamental en mi vida y jamás me dejó caer dándome toda la fuerza que necesité durante mi carrera.

A mi padre Miguel, quien siempre se esforzó para llevarme hasta donde hoy he llegado brindándome entre tantas cosas su ejemplo, enseñanzas y sobre todo por ser mi inspiración profesional.

A mi novia Joice, por todo su amor, paciencia, incondicionalidad y solidaridad en los momentos más difíciles de mi carrera y mi vida.

A mi familia que siempre se preocupó por mí y que sentía tuyas todas mis alegrías y tristezas.

AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer un agradecimiento muy sincero a:

Dios, porque a lo largo de la carrera nunca me desamparó, me guió y dio la fortaleza para continuar, gracias. Todo lo hice con amor y fe porque eso es Dios.

Mis padres Miriam y Miguel, por todo el apoyo, confianza, optimismo, empuje, esperanza y paciencia que depositan en mí, gracias a ellos lo logré.

Mi novia Joice, por su apoyo, compañía, ánimo y amor. Estas fueron armas para ponerle más cariño a mis actividades académicas y no desmayar.

A Berenice Blanco, mí querida y admirada profesora, por su apoyo, colaboración, enseñanzas y comentarios constructivos. Realmente ha sido un placer y una suerte conocerla.

A los Ingenieros del CRP, José Luis López y Merys Cupido, por su confianza y toda su colaboración durante el desarrollo del presente Trabajo Especial de Grado.

A los amigos que ésta parte de mí vida me permitió conocer, por su compañerismo y solidaridad. No los nombro por temor a olvidos injustos con alguno de ellos, les estoy infinitamente agradecido.

Por último a todas las personas que de una u otra forma colaboraron desinteresadamente durante mi carrera universitaria especialmente en la elaboración de este Trabajo Especial de Grado. A todos muchas gracias...

Lobo Picón, Raúl A.

**EVALUACIÓN DEL MODELO DE MEZCLA Y
PREDICCIÓN DE CALIDADES DE GASOLINAS
REFORMULADAS DE LA REFINERÍA AMUAY**

Tutor Académico: Prof. Berenice Blanco. Tutores Industriales: Ing. José Luis López, Ing. Merys Cupido. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Química. 2002, 170 p.

Palabras Claves: Calidad, Gasolina, Índices de mezcla, Mínimos cuadrados, Modelo.

Resumen: Las gasolinas elaboradas en la refinería de Amuay deben cumplir con una serie de restricciones de calidad impuestas por el mercado consumidor, por lo que se requieren metodologías adecuadas de predicción de cada una de las calidades. El problema radica en las desviaciones que existen entre los valores de calidad estimados por los ingenieros de programación y los obtenidos realmente mediante análisis de laboratorio.

Con el objeto de obtener modelos de predicción de calidades mejores a los usados en la refinería de Amuay, se utilizaron dos programas de regresión múltiple: El primero bajo ambiente MATLAB llamado método de los mínimos cuadrados (PLS) y el último bajo ambiente Visual Basic conocido como análisis de regresión múltiple (ARM). Se recolectaron los datos necesarios entre los que se encuentran las calidades y cantidades de los componentes y las calidades finales de las gasolinas elaboradas durante el período 2000-2001. Los datos recolectados fueron objeto de control estadístico de procesos (CEP) para hallar una base de datos lo suficientemente representativa del fenómeno de mezclado.

Luego de utilizar ambos programas se obtuvieron índices de mezcla que permiten determinar las calidades de las gasolinas. Se elaboró una hoja de mezclas en la cual se programaron los modelos lineales y la misma facilita la traducción de estos índices a los valores de calidad deseados sólo con introducir la receta de la gasolina. Tras validar los modelos PLS y ARM, y compararlos con los anteriormente usados en la refinería, se obtuvieron mejoras en la confiabilidad de 3 % hasta 30 %, por lo que a partir del mes de Septiembre del año 2001 se comenzaron a utilizar los nuevos modelos y la nueva hoja de mezclas para predecir las calidades de las gasolinas. Desde ese entonces han disminuido considerablemente las regalías por exceso de calidad, así como también la refinería ha logrado hacer una mejor distribución de sus componentes cumpliendo siempre con las exigencias del mercado.

ÍNDICE GENERAL

| | pág. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE TABLAS | x |
| LISTA DE FIGURAS | XV |
| LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS | XVII |
| GLOSARIO GENERAL | xx |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 4 |
| 3. OBJETIVOS | 7 |
| 3.1 Objetivo General | 7 |
| 3.2 Objetivos Específicos | 7 |
| 4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 9 |
| 4.1 Descripción General del Sistema de Mezclado de la Refinería de Amuay | 9 |
| 4.1.1 Componentes de las gasolinas | 10 |
| 4.1.2 Aditivos de las gasolinas | 13 |
| 4.1.3 Beneficios que aportan los diferentes componentes utilizados sobre la calidad final de la gasolina | 15 |
| 4.1.4 Configuración y variables que afectan el proceso de mezclado | 15 |
| 4.2 Tipos de gasolina que se elaboran en la refinería de Amuay | 16 |
| 4.3 Especificaciones de la gasolina | 18 |
| 4.3.1 Números de Octano | 18 |
| 4.3.2 Volatilidad | 19 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.3 Otras propiedades y características de las gasolinas formuladas en la refinería de Amuay | 20 |
| 4.4 Correlaciones de mezclado | 22 |
| 4.5 Programación lineal | 24 |
| 4.6 Análisis de Regresión Múltiple (ARM) | 26 |
| 4.7 Método de los Mínimos Cuadrados (PLS)..... | 27 |
| 4.8 Programas utilizados en la refinería de Amuay para predecir las calidades finales de las gasolinas..... | 32 |
| 4.9 MATLAB..... | 35 |
| 4.9.1 Toolbox especiales..... | 36 |
| 4.10 Control Estadístico de Procesos (CEP)..... | 37 |
| 4.10.1 Gráficas de control..... | 39 |
| 5. METODOLOGÍA | 43 |
| 5.1 Investigación Documental y Asesoría Técnica..... | 43 |
| 5.2 Recopilación y Manejo de Datos | 45 |
| 5.3 Formulación de Nuevos Modelos | 52 |
| 5.3.1 Modelos PLS..... | 52 |
| 5.3.2 Modelos ARM..... | 55 |
| 5.4 Validación de los Modelos Obtenidos | 56 |
| 5.5 Elaboración de Informes y Manuales..... | 58 |
| 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS..... | 59 |
| 6.1 Calidades de los componentes de las gasolinas durante el período 2000-2001 (Histórico de calidad)..... | 59 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2 Índices de mezcla que se encuentran en la Antigua Hoja de Mezclas de gasolinas para el período 2000-2001 | 69 |
| 6.3 Índices de Mezcla usados para generar los nuevos modelos | 70 |
| 6.4 Comparación entre Índices de Mezcla y el Histórico de calidad | 71 |
| 6.5 Descarte Primario de algunas mezclas de gasolinas | 84 |
| 6.6 Algunos Resúmenes de Mezclas de gasolinas | 86 |
| 6.7 Algunos factores de aporte de los componentes a las calidades finales de las gasolinas..... | 92 |
| 6.8 Control Estadístico de Procesos (CEP)..... | 96 |
| 6.9 Resultados del programa PLS | 102 |
| 6.10 Coeficientes seleccionados PLS..... | 107 |
| 6.11 Interfase ARM..... | 110 |
| 6.12 Resultados del programa ARM..... | 111 |
| 6.13 Coeficientes seleccionados ARM | 112 |
| 6.14 Confiabilidad de los modelos propuestos y los anteriores para las mezclas pertenecientes a las bases de datos..... | 115 |
| 6.15 Descripción y uso de la Nueva Hoja de Mezclas..... | 118 |
| 6.16 Validación de los Modelos Propuestos y Hoja de Mezclas | 121 |
| 6.17 Procedimientos de los Programas | 123 |
| 7. CONCLUSIONES | 131 |
| 8. RECOMENDACIONES..... | 134 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA | 136 |
| APÉNDICE A (Confiabilidad modelos RVP utilizando el programa PLS) | 138 |
| APÉNDICE B (Confiabilidad modelos RVP utilizando el programa ARM)..... | 147 |

APÉNDICE C (Validación de los modelos seleccionados y la hoja de mezclas) 156
APÉNDICE D (Factores para los gráficos de control) 170

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 4.1 Valores típicos de calidad de los componentes para gasolina de Amuay... 15 | |
| Tabla 4.2 Especificaciones típicas de las gasolinas de Amuay..... 21 | |
| Tabla 4.3 Datos genéricos mínimos cuadrados..... 28 | |
| Tabla 5.1 Fuentes consultadas..... 45 | |
| Tabla 5.2 Códigos Silaclie. 47 | |
| Tabla 5.3 Calidades que no reciben análisis de laboratorio. 49 | |
| Tabla 6.1.a Calidades Alquilato año 2000. 59 | |
| Tabla 6.1.b Calidades Alquilato año 2001..... 60 | |
| Tabla 6.2.a Calidades HCN año 2000..... 60 | |
| Tabla 6.2.b Calidades HCN año 2001..... 61 | |
| Tabla 6.3.a Calidades HVN año 2000..... 62 | |
| Tabla 6.3.b Calidades HVN año 2001. 62 | |
| Tabla 6.4.a Calidades LCN año 2000. 63 | |
| Tabla 6.4.b Calidades LCN año 2001..... 63 | |
| Tabla 6.5.a Calidades LKN año 2000..... 64 | |
| Tabla 6.5.b Calidades LKN año 2001..... 64 | |
| Tabla 6.6.a Calidades LVN año 2000..... 65 | |
| Tabla 6.6.b Calidades LVN año 2001..... 65 | |
| Tabla 6.7.a Calidades MTBE año 2000..... 66 | |
| Tabla 6.7.b Calidades MTBE año 2001..... 66 | |
| Tabla 6.8.a Calidades Reformado año 2000..... 67 | |
| Tabla 6.8.b Calidades Reformado año 2001..... 67 | |
| Tabla 6.9.a Calidades TAME año 2000..... 68 | |
| Tabla 6.9.b Calidades TAME año 2001..... 68 | |
| Tabla 6.10 Índices de Mezcla período 2000-2001..... 69 | |
| Tabla 6.11 Propiedades tomadas de los Índices de Mezcla período 2000-2001..... 70 | |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 6.12.a Comparación Índices de Mezcla y calidades mínimas del Alquilate..... | 72 |
| Tabla 6.12.b Comparación Índices de Mezcla y calidades máximas del Alquilate.... | 73 |
| Tabla 6.13.a Comparación Índices de Mezcla y calidades mínimas del HCN | 74 |
| Tabla 6.13.b Comparación Índices de Mezcla y calidades máximas del HCN. | 74 |
| Tabla 6.14.a Comparación Índices de Mezcla y calidades mínimas del HVN..... | 75 |
| Tabla 6.14.b Comparación Índices de Mezcla y calidades máximas del HVN | 76 |
| Tabla 6.15.a Comparación Índices de Mezcla y calidades mínimas del LCN..... | 77 |
| Tabla 6.15.b Comparación Índices de Mezcla y calidades máximas del LCN..... | 77 |
| Tabla 6.16.a Comparación Índices de Mezcla y calidades mínimas del LVN | 78 |
| Tabla 6.16.b Comparación Índices de Mezcla y calidades máximas del LVN..... | 78 |
| Tabla 6.17.a Comparación Índices de Mezcla y calidades mínimas del MTBE..... | 79 |
| Tabla 6.17.b Comparación Índices de Mezcla y calidades máximas del MTBE..... | 80 |
| Tabla 6.18.a Comparación Índices de Mezcla y calidades mínimas del Reformado.. | 81 |
| Tabla 6.18.b Comparación Índices de Mezcla y calidades máximas del Reformado. | 81 |
| Tabla 6.19.a Comparación Índices de Mezcla y calidades mínimas del TAME | 82 |
| Tabla 6.19.b Comparación Índices de Mezcla y calidades máximas del TAME | 82 |
| Tabla 6.20 Resumen de Mezcla de LV-22 para el período Enero-Marzo de 2000..... | 87 |
| Tabla 6.21 Resumen de Mezcla de LV-23 para el período Enero-Marzo de 2000..... | 88 |
| Tabla 6.22 Resumen de Mezcla de L-154I para el período Enero-Octubre de 2000.. | 90 |
| Tabla 6.23 Mezclas de L-154V para el período 200-2001..... | 91 |
| Tabla 6.24 Factores de aporte al RVP de LV-22. | 93 |
| Tabla 6.25 Factores de aporte al RVP de LV-23 (2000-2001). | 93 |
| Tabla 6.26 Factores de aporte al RVP de L-154I (2000-2001)..... | 94 |
| Tabla 6.27 Factores de aporte al RVP de L-154V (2000-2001). | 94 |
| Tabla 6.28 Coeficientes seleccionados de los modelos PLS gasolina LV-22. | 108 |
| Tabla 6.29 Coeficientes seleccionados de los modelos PLS gasolina LV-23. | 108 |
| Tabla 6.30 Coeficientes seleccionados de los modelos PLS gasolina L-154I. | 108 |
| Tabla 6.31 Coeficientes seleccionados de los modelos PLS gasolina L-154V..... | 109 |
| Tabla 6.32 Coeficientes seleccionados de los modelos ARM gasolina LV-22. | 113 |
| Tabla 6.33 Coeficientes seleccionados de los modelos ARM gasolina LV-23. | 113 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 6.34 Coeficientes seleccionados de los modelos ARM gasolina L-154I..... | 113 |
| Tabla 6.35 Coeficientes seleccionados de los modelos ARM gasolina L-154V. | 114 |
| Tabla 6.36 Confiabilidad de los modelos anteriores y los propuestos..... | 116 |
| Tabla 6.37 Validación de los modelos (confiabilidad). | 122 |
| Tabla 6.38 Organización del histórico de calidad..... | 123 |
| Tabla A.1.a Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-22..... | 138 |
| Tabla A.1.b Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-22..... | 139 |
| Tabla A.1.c Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-22..... | 140 |
| Tabla A.2.a Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-23..... | 141 |
| Tabla A.2.b Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-23..... | 142 |
| Tabla A.2.c Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-23..... | 143 |
| Tabla A.2.d Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-23..... | 144 |
| Tabla A.3 Validación modelo PLS del RVP gasolina L-154I. | 145 |
| Tabla A.4 Validación modelo PLS del RVP gasolina L-154V..... | 146 |
| Tabla B.1.a Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-22..... | 147 |
| Tabla B.1.b Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-22..... | 148 |
| Tabla B.1.c Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-22..... | 149 |
| Tabla B.2.a Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-23..... | 150 |
| Tabla B.2.b Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-23..... | 151 |
| Tabla B.2.c Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-23..... | 152 |
| Tabla B.2.d Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-23..... | 153 |
| Tabla B.3 Validación modelo ARM del RVP gasolina L-154I. | 154 |
| Tabla B.4 Validación modelo ARM del RVP gasolina L-154V..... | 155 |
| Tabla C.1 RVP de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 156 |
| Tabla C.2 RON de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 156 |
| Tabla C.3 MON de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001. | 157 |
| Tabla C.4 Aromáticos de la LV-22 (mes de Septiembre de 2001). | 157 |
| Tabla C.5 Olefinas de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001... | 157 |
| Tabla C.6 T10 de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 157 |
| Tabla C.7 T50 de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 158 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla C.8 T90 de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 158 |
| Tabla C.9 FBP de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001. | 158 |
| Tabla C.10 RVP de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 159 |
| Tabla C.11 RON de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001. | 159 |
| Tabla C.12 MON de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001. | 159 |
| Tabla C.13 Aromáticos de la LV-23 (mes de Septiembre de 2001). | 159 |
| Tabla C.14 Olefinas de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001. | 160 |
| Tabla C.15 T10 de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 160 |
| Tabla C.16 T50 de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 160 |
| Tabla C.17 T90 de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 160 |
| Tabla C.18 FBP de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001. | 161 |
| Tabla C.19 RVP de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001. | 161 |
| Tabla C.20 RON de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 161 |
| Tabla C.21 MON de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 162 |
| Tabla C.22 Aromáticos de la L-154I (mes de Septiembre de 2001)..... | 162 |
| Tabla C.23 Azufre de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001... | 162 |
| Tabla C.24 Benceno de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001. | 163 |
| Tabla C.25 Olefinas de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001. | 163 |
| Tabla C.26 Oxígeno de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001. | 163 |
| Tabla C.27 T10 de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 164 |
| Tabla C.28 T50 de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 164 |
| Tabla C.29 T90 de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 164 |
| Tabla C.30 FBP de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001..... | 165 |
| Tabla C.31 RVP de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001..... | 165 |
| Tabla C.32 RON de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001. | 165 |
| Tabla C.33 MON de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001. ... | 166 |
| Tabla C.34 Aromáticos de la L-154V (período Julio-Agosto 2001). | 166 |
| Tabla C.35 Azufre de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001... | 166 |
| Tabla C.36 Benceno de la L-154V (período Julio-Agosto 2001). | 167 |
| Tabla C.37 Olefinas de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001. | 167 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla C.38 Oxígeno de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001. | 167 |
| Tabla C.39 T10 de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001. | 168 |
| Tabla C.40 T50 de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001. | 168 |
| Tabla C.41 T90 de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001. | 168 |
| Tabla C.42 FBP de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001..... | 169 |
| Figura D.1 Factores para los gráficos de control. | 170 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|---------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 4.1 Diagrama del mezclador de gasolinas Amuay..... | 14 |
| Figura 4.2 Correlaciones de mezclado Hoja de Mezclas..... | 34 |
| Figura 4.3 Hoja de Mezclas..... | 35 |
| Figura 5.1 Silaclié datos..... | 48 |
| Figura 5.2 Silaclié resultados..... | 48 |
| Figura 5.3 Programa PLS..... | 53 |
| Figura 5.4 Coeficientes de los modelos..... | 54 |
| Figura 6.1 Resumen de mezcla LV-23 refinería de Amuay..... | 84 |
| Figura 6.2 Gráfico Original Rango Móvil (Rm) RVP LV-22..... | 96 |
| Figura 6.3 Gráfico Original X-R (Individuos-Rango Móvil) RVP LV-22..... | 97 |
| Figura 6.4 Gráfico Definitivo Rango Móvil (Rm) RVP LV-22..... | 98 |
| Figura 6.5 Gráfico Definitivo X-R (Individuos-Rango Móvil) RVP LV-22..... | 98 |
| Figura 6.6 Gráfico Rango Móvil (Rm) RON LV-22..... | 99 |
| Figura 6.7 Gráfico X-R (Individuos-Rango Móvil) RON LV-22..... | 99 |
| Figura 6.8 Gráfico Rango Móvil (Rm) MON LV-22..... | 100 |
| Figura 6.9 Gráfico X-R (Individuos-Rango Móvil) MON LV-22..... | 100 |
| Figura 6.10 Pantalla PLS RVP..... | 102 |
| Figura 6.11 Análisis Residuales RVP..... | 102 |
| Figura 6.12 RVP laboratorio (*) y modelo..... | 103 |
| Figura 6.13 Coeficientes del modelo RVP..... | 103 |
| Figura 6.14 Análisis Residuales T50..... | 104 |
| Figura 6.15 T50 laboratorio y modelo..... | 104 |
| Figura 6.16 Pantalla PLS Oxígeno..... | 105 |
| Figura 6.17 Análisis Residuales Oxígeno..... | 105 |
| Figura 6.18 Oxígeno laboratorio y modelo..... | 105 |
| Figura 6.19 Coeficientes del modelo Oxígeno..... | 105 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 6.20 Pantalla PLS RVP..... | 106 |
| Figura 6.21 Análisis Residuales RVP..... | 106 |
| Figura 6.22 RVP laboratorio y modelo..... | 106 |
| Figura 6.23 Coeficientes del modelo RVP..... | 106 |
| Figura 6.24 Programa ARM..... | 110 |
| Figura 6.25 Ecuaciones de los modelos ARM..... | 110 |
| Figura 6.26 Resultados ARM RVP LV-22..... | 111 |
| Figura 6.27 Resultados ARM RVP LV-23..... | 111 |
| Figura 6.28 Resultados ARM RVP L-154I..... | 111 |
| Figura 6.29 Resultados ARM RVP L-154V..... | 111 |
| Figura 6.30 Receta en %Vol y calidades..... | 119 |
| Figura 6.31 Receta en volumen y calidades..... | 119 |
| Figura 6.32 Calidades de componentes e Índices de mezcla..... | 119 |
| Figura 6.33 Fechas para el control..... | 120 |
| Figura 6.34 Certificación puntual y mensual de los modelos..... | 120 |
| Figura 6.35 Factores de aporte..... | 121 |
| Figura 6.36 Pantalla de inicio programa PLS..... | 124 |
| Figura 6.37 Abrir documentos PLS..... | 125 |
| Figura 6.38 Identificación de las variables..... | 125 |
| Figura 6.39 Ejecutar programa..... | 126 |
| Figura 6.40 Comparación Gráfica entre los datos (*) y el modelo (línea continua)..... | 127 |
| Figura 6.41 Análisis Estadístico de los Residuales..... | 127 |
| Figura 6.42 Coeficientes del modelo..... | 128 |
| Figura 6.43 ARM al abrir..... | 129 |
| Figura 6.44 Datos para usar ARM..... | 129 |
| Figura 6.45 Resultados ARM..... | 130 |
| Figura 6.46 Ecuaciones de los modelos ARM..... | 130 |

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

| | | |
|-----------------------------|---|----------------------------------------------------------------------|
| 200/300 | = | Nafta Virgen Pesada. |
| a, b, c, ..., n | = | Índices de Mezcla obtenidos después de correr PLS o ARM. |
| ALAY | = | Unidad de Alquileración de Amuay. |
| ALQ | = | Alquilato. |
| API | = | Gravedad API. |
| ARM | = | Análisis de Regresión Múltiple. |
| ARO | = | Contenido de Aromáticos (% Vol). |
| AZU | = | Contenido de Azufre (ppm). |
| B | = | Bias (término constante). |
| Calidad _{Gasolina} | = | Calidad de la gasolina producto de la mezcla. |
| Calidad _i | = | Calidad del componente i en la mezcla. |
| CEP | = | Control Estadístico de Procesos. |
| CRP | = | Centro Refinador Paraguana. |
| DCAY | = | Unidad de Conversión Catalítica de Amuay. |
| FBP | = | Punto Final de Ebullición. |
| f_{comp_i} | = | Factor de aporte del componente i a la calidad final de la gasolina. |
| G _s | = | Gravedad específica. |
| HCN | = | Nafta Catalítica Pesada. |
| HKN | = | Nafta Pesada del Coquer. |
| HVN | = | Nafta Virgen Pesada. |
| IAD | = | Índice Antidetonante. |
| L-154I | = | Gasolina reformulada de exportación con calidad de Invierno. |
| L-154V | = | Gasolina reformulada de exportación con calidad de Verano. |
| LKN | = | Nafta Liviana del Flexicoquer. |
| LV-22 | = | Gasolina Popular mercado local. |
| LV-23 | = | Gasolina Óptima mercado local. |

| | | |
|--------------|---|----------------------------------------------------------|
| LCN | = | Nafta Catalítica Liviana. |
| LVN | = | Nafta Virgen Liviana. |
| MON | = | Motor Octane Number. |
| MTBE | = | Metil-Terbutil-Éter. |
| n-C4 | = | Butano. |
| Nafta HDS | = | Nafta Hidrodesulfurada. |
| NFAY-1/2/3/4 | = | Unidad Fraccionadora de Nafta de Amuay 1/2/3/4. |
| NRAY | = | Unidad Reformadora de Nafta de Amuay. |
| Octs | = | Octanos. |
| OLE | = | Contenido de Olefinas (% Vol). |
| OXÍ | = | Contenido de Oxígeno (% p). |
| PIMS | = | Process Industry Modeling System. |
| PL | = | Programación Lineal. |
| PLS | = | Método de los Mínimos Cuadrados (Partial Least Square). |
| PSAY-5 | = | Planta de destilación atmosférica número 5 de Amuay. |
| REF | = | Reformado. |
| RON | = | Research Octane Number. |
| RVP | = | Presión de Vapor Reid. |
| s | = | Suma de los cuadrados de las diferencias (errores). |
| S | = | Azufre. |
| s/p | = | Sin Plomo (Sin TEL). |
| T10 | = | Temperatura a la cual se evapora el 10 % de la gasolina. |
| T50 | = | Temperatura a la cual se evapora el 50 % de la gasolina. |
| T90 | = | Temperatura a la cual se evapora el 90 % de la gasolina. |
| TAME | = | Ter-amil-metil-éter. |
| TEL | = | Tetraetilo de Plomo. |
| Uds | = | Unidades. |
| v_i | = | Fracción volumétrica del componente i en la mezcla. |
| x_i | = | Variable independiente. |

| | | |
|----------|---|------------------------|
| Y | = | Variable dependiente. |
| σ | = | Desviación Estándar. |
| % p | = | Porcentaje en peso. |
| % Vol | = | Porcentaje en volumen. |

GLOSARIO GENERAL

Aditivos: Son productos químicos que se dosifican a diferentes concentraciones en algunos productos hidrocarburos para mejorar ciertas propiedades.

Alquilato: Es un producto de alto octanaje, obtenido en el proceso de alquilación, usado en mezclas de gasolinas.

Aromáticos: Grupo amplio de hidrocarburos cíclicos insaturados, de olor característico, muy reactivos y químicamente versátiles. Los principales miembros del grupo son benceno, tolueno y xilenos (BTX).

Auditoría de calidad: Examen sistemático e independiente para determinar si las actividades y los resultados relativos a la calidad satisfacen las disposiciones previamente establecidas, y si éstas se han implantado efectivamente para el logro de los objetivos propuestos.

Benceno: Es un anillo de seis átomos de carbono insaturados, base de los compuestos aromáticos. Líquido altamente inflamable. Se usa como materia prima en la producción de estireno (poliestireno), cumeno (adhesivos), ciclohexano (nailon) y alquil benceno (detergentes).

Bias: Todo modelo matemático que intenta representar un fenómeno real presenta desviaciones, en algunos casos constantes (traslaciones), éstas desviaciones se compensan permitiéndose que los modelos matemáticos se asemejen a la realidad a través de la suma o resta de un parámetro o valor escalar propio para cada modelo denominado Bias.

Colinealidad: Es el fenómeno en el cual parte de la información que adoptan dos o más variables independientes para predecir una variable de salida puede ser distinta, pero parte es idéntica. Esta situación hace que el modelo no sea confiable.

Componentes: Son los diversos constituyentes que conforman una mezcla.

Destilación: Si un producto de petróleo es calentado gradualmente, altas proporciones de componentes con bajo punto de ebullición son las que primero se convierten en vapor, y sucesivamente los de alto punto de ebullición, a medida que aumenta la temperatura. De este modo, para cualquier producto de petróleo, la ebullición se lleva a cabo en un rango de temperaturas. Este rango es la medida de las pruebas de destilación.

Desulfuración: Es un tratamiento químico aplicado a los hidrocarburos para remover el azufre o los compuestos sulfurados de los mismos.

Desviación Estándar: Es un indicador de desviación respecto a un valor medio al igual que la desviación media, pero considerando el cuadrado de las desviaciones, por lo que resulta más sensible para cualquier conjunto de medidas. Se determina por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{X} - X)^2}{n}}$$

Cuando el conjunto de medidas es muy pequeño (menor de 15) es preferible usar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{X} - X)^2}{n - 1}}$$

Desviación Media: Es la desviación promedio respecto al valor medio de una serie de datos. Se determina por:

$$d = \frac{\sum |\bar{X} - X|}{n}$$

Especificación: Parámetros de calidad que se deben cumplir en las gasolinas o cualquier producto de consumo.

Estabilización: Es un proceso para separar los gases y los hidrocarburos líquidos más volátiles del petróleo o de la gasolina generando así un líquido estable (menos volátil) el cual puede ser manejado o almacenado con cambios menores en su composición.

Fracción: En una destilación fraccional, es una porción de la misma con un rango de ebullición restringido.

Gasolina: Es una mezcla de naftas y otros productos de la refinería con un octanaje lo suficientemente alto y otras características deseables para ser usada como combustible para motores de combustión interna.

Gasolinas reformuladas: Mezcla de hidrocarburos que cumple con las especificaciones dadas en el Acta del Aire Limpio de la EPA en los Estados Unidos de fecha 26 de Abril de 1995.

Goma en la gasolina: Las gomas que se presentan en la gasolina son pequeñas cantidades de productos de oxidación disueltos que no han sido evaporados, o que no se queman completamente. Aunque las concentraciones de gomas encontradas durante la elaboración del combustible no son grandes, ellas pueden aumentar a proporciones peligrosas durante el periodo de almacenamiento.

Gravedad API: Es una escala arbitraria que expresa la densidad del petróleo y sus derivados, se determina en base a la gravedad específica según la ecuación:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{41,5}{\text{ge}} - 31,5$$

Hidrosulfuración: Es un proceso catalítico cuyo principal propósito es el de remover el azufre de las fracciones del petróleo mediante el uso del hidrógeno. La desulfuración se logra al pasar la mezcla carga de aceite/gas rico en hidrógeno a través de un catalizador de cobalto y molibdeno sobre alúmina a temperatura de 360-380°C (dependiendo de la edad del catalizador), y a una presión de alrededor

de 75 Kg/cm² absoluta. El azufre es removido de las moléculas de aceite que lo contienen y reducido a sulfuro de hidrógeno (H₂S), mientras que las porciones remanentes de las moléculas son saturadas con hidrógeno.

Índice antidetonante IAD: Es el número de octano que se obtiene al promediar el RON y el MON. Es una relación de comparación para determinar octanaje, se determina por:

$$IAD = \frac{RON + MON}{2}$$

MATLAB: Es el nombre abreviado de “MATrix LABoratory”. MATLAB es un programa interactivo para realizar cálculos numéricos y tratamiento de datos con vectores y matrices. Como caso particular puede también trabajar con números escalares, tanto reales como complejos. Contiene muchas herramientas y utilidades que permiten además diversas funcionalidades, como la presentación gráfica en 2 y 3 dimensiones. Estas utilidades están agrupadas en "paquetes" (*toolboxes*). A Matlab se le pueden añadir paquetes especializados para algunas tareas (por ejemplo, para tratamiento de imágenes). MATLAB tiene un lenguaje de programación propio que se debe aprender antes de trabajar con el programa.

Mezclado: Es el proceso de combinar dos o más productos derivados del petróleo (hidrocarburos) con propiedades diferentes para elaborar un producto final con características deseadas. Las mezclas en las refinerías pueden realizarse en línea a través de un sistema especial, o se pueden realizar las mezclas en procesos por carga en tanques o recipientes especiales

Metil-Terbutil-Éter (MTBE): Oxigenado empleado como componente de gasolina. Se obtiene por reacción del isobutileno y metanol.

Motor Octane Number (MON): Se refiere al número de octano determinado por el método motor, es cuando se hace pasar la muestra de combustible por un motor a condiciones altas de severidad (altas velocidades).

Research Octane Motor (RON): Mide el número de octanos cuando se hace pasar la muestra de gasolina por un motor a condiciones bajas de severidad (bajas velocidades).

Muestra final de a bordo: Es aquella que se toma en el buque, luego de finalizada su carga. Se presentan dos casos donde se hace necesaria la toma de esta muestra:

- 1) Cuando por lo establecido en el contrato, PDVSA es responsable de la calidad del producto en el puerto de destino.
- 2) cuando los tanques involucrados en la carga no satisfacen la especificación del producto.

Naftas: Son fracciones de hidrocarburos líquidos de bajo rango de ebullición (100 – 400 °F), utilizados para obtener gasolinas (mediante mezclas de varias fracciones) o solventes. Naftas alifáticas son aquellas naftas que contienen menos de 0.1% de benceno y con átomos de carbono entre C₃ y C₆. Las naftas aromáticas contienen átomos de carbono entre C₆ y C₁₆ además contienen cantidades considerables de hidrocarburos aromáticos como el benceno (>0.1%), tolueno y xileno.

Naftas catalíticas: Se obtienen a partir de los procesos de desintegración (térmica o catalítica) de los gasóleos. Estas naftas tienen mayor octanaje que las correspondientes naftas vírgenes, pero son más inestables que éstas.

Nafta reformada: Se obtiene al procesar la nafta destilada del petróleo, en un reformador catalítico. Es la fuente principal de los hidrocarburos aromáticos (BTX).

Naftas vírgenes: Son aquellas que se obtienen por destilación y redestilación de los petróleos crudos.

Nafta Virgen Entera (Straight-Run Nafta): Nafta producida en la destilación primaria del crudo. Contiene polimerizados, no craqueados, alquilatos, reformados, entre otros.

Naftenos: Hidrocarburos (cicloalcanos) con fórmula general C_nH_{2n} , en los cuales los átomos de carbono están ordenados de manera que forman anillos.

Número de Octano: El número de octano de una gasolina es la medida de su calidad antidetonante; o sea, su habilidad para quemar sin causar detonación en los motores encendidos por bujías. Existen tres métodos básicos para medir esta propiedad: MON, RON e IAD; cada uno de ellos revela una calidad antidetonante para un combustible dado, bajo ciertas condiciones particulares.

Octanaje: Es la propiedad que mide la tendencia de la gasolina a evitar el pistoneo, cuando se le utiliza en motores de alto índice de compresión. Mientras más alto es el índice de octanos, menor será la tendencia al pistoneo.

Olefinas: Es una familia de hidrocarburos insaturados con un enlace doble carbono – carbono, fórmula general C_nH_{2n} . Representados básicamente por el etileno y el propileno. Se producen al craquear con vapor hidrocarburos gaseosos como etano, propano y butano o hidrocarburos líquidos como nafta y gasoil, o combinaciones de ellos.

Oxigenados: Entre ellos se encuentran el metil-ter-butil-éter (MTBE), ter-amil-metil-éter (TAME), el metanol, el etanol, etc. Su importancia radica en que su incorporación a la gasolina disminuye las emisiones de gas carbónico.

Parafinas: Es una familia de hidrocarburos alifáticos saturados (alcanos) con fórmula general C_nH_{2n+2} .

Parámetros de calidad: Características de calidad obtenidas como resultado del análisis químico de una sustancia, por ejemplo, RON en la gasolina.

Partes por millón (ppm): Designación usada para expresar concentraciones muy bajas (1% = 10000 ppm). Puede ser expresado en peso o en volumen. La expresión en volumen es usada para gases y en peso es usada para líquidos y sólidos.

Presión de Vapor Reid (RVP): La tendencia de todos los líquidos a vaporizarse es una manifestación de su presión de vapor, la cual es la presión ejercida por las moléculas en la superficie en su intento por escapar hacia la atmósfera. Mientras mayor sea la volatilidad de un líquido, mayor es su presión de vapor y por consiguiente más rápida será su vaporización.

Propiedad crítica: Es la especificación que restringe la calidad final de un producto, y es la que impide la obtención de beneficios incrementales con otras propiedades. Cabe destacar que la propiedad crítica de cada producto es diferente.

Reformado: Es una nafta mejorada obtenida catalíticamente o con reformado térmico.

Regalía de calidad: Es aquella que se produce cuando existe una diferencia de calidad significativa entre el valor de la propiedad de un producto despachado y su valor especificado, ocasionándose una pérdida de oportunidad al vender a menor precio un producto con una calidad superior a la especificada. Según el elemento que dió origen a la regalía de calidad, éstas se clasifican en evitables y forzadas.

Regalía evitable: Es aquella que está sujeta a potenciales mejoras con los elementos disponibles en la refinería, pudiendo ser ocasionada por condiciones operacionales de planta o por mezcla de componentes.

Regalía forzada: Es aquella que se produce como consecuencia de satisfacer una propiedad crítica del producto, causa operacional justificada o por algún elemento externo.

Relación Vapor-Líquido @ 20 °C: Es la cantidad de vapor y de líquido presentes en una gasolina. Si el combustible presenta cantidades excesivas de productos livianos se producen fallas en el encendido de un motor debido a la vaporización instantánea del combustible.

Repetibilidad: Es la diferencia entre resultados de sucesivas pruebas obtenidas por el mismo operador, con el mismo equipo bajo condiciones de operación constante, con el material de prueba idéntico en la aplicación correcta del método de ensayo.

Reproducibilidad: Es la diferencia entre los resultados sencillos e independientes, obtenidos por operadores diferentes trabajando en distintos laboratorios, con material de prueba idéntico y con una operación correcta y exacta del método de ensayo.

Tolerancia: Es el margen que se concede a la diferencia existente entre el valor de la propiedad especificada de un producto y el valor de la propiedad despachada; este valor varía de acuerdo a cada propiedad, y en algunos casos está definido por su método de análisis.

Vapor: Es la fase gaseosa de una sustancia que es líquida a temperatura ambiente y a presión atmosférica.

Volatilidad: Es la relación que determina la mayor o menor facilidad con que el combustible se evapora en condiciones ambientales. Generalmente se mide en términos de temperaturas de ebullición y de presión de vapor a 38 °C.

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se realizó con la finalidad de evaluar el modelo de mezcla y predicción de calidades en las gasolinas nacionales y de exportación, empleado en la refinería de Amuay, para desarrollar e implementar mejoras en el mismo.

Para determinar las calidades finales de las gasolinas elaboradas en la refinería de Amuay anteriormente se utilizaba un paquete de programación lineal conocido como Sistema de Modelaje de Procesos Industriales (PIMS), este programa tomaba en cuenta la demanda de las gasolinas elaboradas, la disponibilidad de materia prima y la economía del proceso, para reportar las recetas de gasolina óptimas. Estas recetas sólo servían de orientación a los ingenieros de Programación y Suministro debido a la falta de actualización del PIMS. Para disminuir las desviaciones originadas por el PIMS se usaba una hoja de Excel (llamada Hoja de Mezclas) donde se agrupan sistemas de ecuaciones lineales para cada propiedad que permiten obtener las recetas finales de las gasolinas y sus respectivas calidades. Luego de seguir este procedimiento para determinar las calidades finales de las gasolinas se obtenían desviaciones considerables con respecto a las calidades reales provenientes de análisis de laboratorio, trayendo como consecuencia serios aumentos en el costo de producción, productos fuera de especificaciones y regalías por exceso de calidad.

Una manera de mejorar el sistema de predicción de calidades de las gasolinas a largo plazo y disminuir considerablemente las desviaciones entre los valores teóricos estimados y los valores que realmente se obtienen mediante análisis de laboratorio hasta el punto de eliminarlos en gran parte de las calidades críticas de las gasolinas es mediante la implementación de nuevos modelos lineales de regresión múltiple sencillos aplicando el método de los mínimos cuadrados. Esta es una tecnología que permite obtener la ecuación lineal que mejor representa el comportamiento de una variable de salida (calidad final) en

función de una serie de variables independientes (calidades y cantidades de cada componente).

Para obtener los nuevos modelos se recolectaron, entre otros datos, los valores de calidad final de las gasolinas elaboradas durante el período 2000-2001 y los valores de calidad y volumen de cada componente usados para obtener dichas gasolinas. Las calidades finales de las gasolinas fueron objeto de descartes primarios siguiendo premisas internas del CRP, luego fueron objeto de un control estadístico de procesos gráfico para depurar los datos y obtener una base de datos representativa del fenómeno de mezclado que permitiera obtener mejores resultados a la hora de generar los nuevos modelos.

Para obtener los índices de mezcla de los modelos se utilizaron programas pertenecientes a PDVSA que emplean técnicas de regresión múltiple, uno bajo ambiente MATLAB llamado método de los mínimos cuadrados (PLS) y otro bajo ambiente Visual Basic conocido como análisis de regresión múltiple (ARM). Con este último se colaboró elaborando la interfase y los botones de comando especiales que permiten al usuario obtener respuestas por parte del programa.

Para automatizar el proceso de traducción de los índices de mezcla a los valores de calidad deseados sólo con introducir la receta de la gasolina, se elaboró una nueva hoja de mezclas en la cual se programaron los modelos lineales. Dicha hoja de mezclas se utilizó con recetas de gasolina reales al mismo tiempo que el ingeniero de programación continuaba utilizando los antiguos métodos de predicción de calidades, lo que permitió comparar los antiguos modelos con los propuestos y facilitar la selección de aquellos que reporten menores desviaciones con respecto a los valores de calidad reales.

Luego de validar los modelos PLS, ARM y hacer comparaciones con los anteriormente usados en la refinería, se obtuvieron mejoras en la confiabilidad de 3 % hasta 30 % empleando los nuevos modelos, por lo que a partir del mes de Septiembre del año 2001 éstos se comenzaron a utilizar para predecir las calidades

de las gasolinas. La confiabilidad obtenida de usar los modelos PLS y ARM es similar entre sí (menos de 1 % de diferencia en todos los modelos) resultando en algunas mezclas ligeramente superior los modelos PLS y en otras los ARM, por lo que es indiferente usar cualquiera de los dos nuevos modelos para predecir calidades finales en las gasolinas.

Al aplicar los nuevos modelos y la nueva hoja de mezclas la refinería de Amuay busca elaborar mensualmente un conjunto de recetas para cada uno de los tipos de gasolina que produce, de manera de obtener el producto deseado con las especificaciones de calidad requeridas por el mercado, tomando en cuenta factores como la economía, disponibilidad de componentes, variación de las calidades de los componentes, regulaciones ambientales, entre otros.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción actual de gasolinas en la refinería de Amuay corresponde al 15 % de la producción total de la misma. Esta producción contribuye por sus precios a aproximadamente el 40% de los ingresos que recibe el centro de trabajo. Por lo tanto, cualquier esfuerzo para disminuir el costo de producción de estas gasolinas implica beneficios económicos de primer orden al ser éste el concepto económico controlable más importante de la refinería. El objetivo del CRP-Amuay es preparar gasolinas a los menores costos posibles y que cumplan con los requerimientos de calidad y cantidad a fin de tener mayores posibilidades de aumentar la rentabilidad.

Los encargados de elaborar las mezclas para obtener las gasolinas producto son los ingenieros de Servicios y Suministro. La dificultad esencial que tienen es conocer la proporción de cada uno de los posibles componentes que se deben mezclar para obtener cada gasolina producto al menor costo ó en un momento dado maximizando el volumen, atendiendo a las necesidades de demanda y calidad requerida, tomando en cuenta la infraestructura disponible (líneas, tanques, equipo de bombeo, accesorios, etc.). Para esto requieren de la receta a elaborar según el mercado consumidor, la disponibilidad de materia prima, el margen de ganancias, etc. Esta receta es elaborada por los ingenieros de Programación y Suministro quienes usan el programa Sistema de Modelaje de Procesos Industriales (PIMS) y la Hoja de Mezcla para combinar cada uno de los componentes de la mezcla y obtener la gasolina deseada.

El problema radica en las desviaciones que existen entre los valores estimados por los ingenieros de programación y los obtenidos realmente mediante análisis de laboratorio. En muchos casos se hace necesario corregir las mezclas y esto se traduce en horas extras de trabajo para los operadores así como también en retrasos de entrega del producto a los barcos. Por cada hora de retraso que un

barco esté anclado en el muelle la refinería debe pagar elevadas multas de miles de dólares.

Actualmente, las regulaciones ambientales impuestas por el estado venezolano son muy flexibles, sin embargo, en el mercado de exportación cada vez son más las exigencias con respecto al control de emisiones de los vehículos, haciendo más estricto el control por parte de los gobiernos del rango de valores aceptado para algunas propiedades en la gasolina final. Esto dificulta la obtención de la gasolina deseada y puede acarrear pérdidas de dinero como las antes mencionadas.

Además, compañías extranjeras han patentado gasolinas con una serie de calidades específicas y las gasolinas para mercado de exportación no deben tener las mismas calidades que las patentadas, porque se considera que se estaría violando el derecho de autor de otras refinerías. En este contexto la refinería de Amuay se expone a pagar multas elevadas de cientos de miles de dólares al “copiar” todas las calidades finales de una gasolina en particular. Por considerar estas medidas de patentes injustas, actualmente en el mundo existen numerosas demandas contra refinerías que poseen patentes y hasta el presente ninguna compañía demandante ha ganado el caso.

Otro problema para la refinería radica en que los índices de mezcla con los cuales opera el PIMS no han sido actualizados desde su implementación (aproximadamente en el año 1990) hasta la fecha, debido a la complejidad y el tiempo necesario para hacerlo. Por esto el PIMS presenta las siguientes desventajas: no evita recetas que originen gasolinas producto idénticas a las patentadas por otras refinerías, toma constantes los valores de calidad de los componentes, no es estricto en relación con el control ambiental, etc.

Luego de usar el PIMS se hace uso de la Hoja de Mezclas, en ésta es más sencillo actualizar los índices de mezcla y demás datos, pero el tiempo que se debe invertir para hacerlo es considerable y no se puede hacer sobre la marcha

porque requiere de dedicación absoluta, por lo que sólo se hacen actualizaciones puntuales. Además la hoja de mezclas requiere de un minucioso estudio para su comprensión, puede ser usada por cualquier ingeniero pero quien realmente la entiende y es capaz de actualizarla es quien trabaja diariamente con ella.

En el CRP no se tiene una herramienta robusta y amigable para la generación de modelos que integren los datos operacionales y los datos de laboratorio. Las compañías especializadas cobran alrededor de 20000 \$ por cada modelo desarrollado con el software que venden y en el caso de las mezclas de gasolinas elaboradas en la refinería de Amuay como mínimo se requieren alrededor de 42 modelos en total para definir las calidades críticas y más importantes de las mismas.

Por todo esto, se hace necesario determinar una nueva forma de predecir las calidades finales de las gasolinas elaboradas en la refinería de Amuay. El nuevo método de predicción de calidades deberá ser sencillo de usar y permitir actualizaciones de una manera rápida y confiable en poco tiempo, además, los valores de calidad obtenidos de la aplicación del mismo deberán ser confiables.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

El objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado es el de evaluar el modelo de mezcla y predicción de calidades en las gasolinas nacionales y de exportación, empleado en la refinería de Amuay, con la finalidad de desarrollar e implementar mejoras en el mismo.

3.2 Objetivos Específicos

1. Entender el procedimiento y sistema de mezcla de gasolinas (operación) utilizado en la Refinería de Amuay del Complejo Refinador Paraguaná (CRP) para el mezclado nacional y de exportación.
2. Estudiar el método utilizado en la refinería de Amuay para la predicción de calidades de las gasolinas reformuladas destinadas al mercado nacional y de exportación para definir el principio básico del funcionamiento de este método de predicción y puntualizar las posibles mejoras que se puedan realizar.
3. Estudiar los fundamentos básicos del PIMS, para visualizar la metodología de predicción de calidades finales de las gasolinas elaboradas en la refinería de Amuay.
4. Proporcionar un modelo matemático flexible y de fácil aplicación, utilizando la herramienta MATLAB, basado en la aplicación del método de los mínimos cuadrados (PLS) y la programación lineal, el cual pueda ser actualizado fácilmente por cualquier ingeniero del área, y permita encontrar los índices de mezcla más adecuados para predecir linealmente las calidades de las gasolinas comerciales elaboradas en la refinería de Amuay.

5. Colaborar con los ingenieros de Programación y Suministros en la elaboración de un método alternativo para optimizar la predicción de calidades de las gasolinas elaboradas en la refinería de Amuay.
6. Validar el funcionamiento tanto del programa MATLAB que aplica PLS como del método de predicción alternativo propuesto por los ingenieros, usando datos de mezclas reales de gasolinas.
7. Elaborar una nueva Hoja de Mezclas en Excel, la cual lea los coeficientes numéricos arrojados por MATLAB y/o el método alternativo y sea capaz de reportar los resultados de calidades finales de las mezclas, requeridos para aprobar o desechar determinada receta de gasolina.
8. Validar el funcionamiento de la nueva Hoja de Mezclas, comparando las calidades resultantes de su aplicación con las obtenidas a partir de análisis de laboratorio a mezclas reales.
9. Elaborar un manual de procedimientos detallados a seguir para utilizar los modelos propuestos y un documento sencillo que describa el uso de la nueva hoja de mezclas.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se muestran y discuten los aspectos teóricos más resaltantes que de una u otra forma contribuyeron a sentar las bases para facilitar la puesta en marcha del presente Trabajo Especial de Grado.

4.1 Descripción General del Sistema de Mezclado de la Refinería de Amuay

El proceso de mezcla para la obtención de gasolinas toma las corrientes de intermedios básicos provenientes de las distintas plantas o unidades de la refinería, con el objeto de mezclarlas en diferentes proporciones y obtener productos de mayor valor comercial con características y propiedades específicas exigidas por el mercado.

El mezclado de productos no es tan sencillo como parece ya que se deben mezclar en cantidades y condiciones apropiadas cada uno de los básicos intermedios, para obtener un producto final que debe cumplir con las especificaciones del mercado, sin incurrir en regalías y utilizando en la medida de lo posible mayor cantidad de materias primas más económicas para dar un mayor valor agregado al producto final.

La refinería de Amuay a partir de sus procesos de destilación primaria, fraccionamiento de naftas, craqueo catalítico, isomerización y alquilación, produce fracciones de hidrocarburos de rango de ebullición entre 100 °F y 430 °F conocidos como naftas, de tipo virgen, craqueadas y alquilato. La disposición de estas fracciones es la siguiente:⁽¹⁾

- ✓ Mezclado para la producción de gasolinas con o sin plomo, para el mercado nacional e internacional.
- ✓ Exportación directa.

4.1.1 Componentes de las Gasolinas ⁽¹⁾

Entre los componentes básicos de la gasolina utilizados en la refinería de Amuay se encuentran: ⁽²⁾

- ✓ Nafta Virgen Liviana.
- ✓ Nafta Virgen Pesada (Nafta 200/300).
- ✓ Alquilato.
- ✓ Nafta Pesada Craqueada del Flexicoquer Hidrotratada (Nafta HDS).
- ✓ Nafta Catalítica Liviana y Pesada.
- ✓ Reformado (Producido en la Refinería de Cardón).
- ✓ Nafta Liviana Craqueada tanto Flexicoquer como Delay Coquer (Nafta Liviana del Flexicoquer).
- ✓ Butano.
- ✓ TAME.
- ✓ MTBE.

- **Nafta Virgen Liviana**

La fracción de nafta virgen liviana (LVN) proviene del tope de los fraccionadores de las unidades NFAY-1/2/4. Tiene un rango de ebullición entre 97 °F (C₅) – 200 °F y su disposición es como componente para mezclar gasolinas con o sin plomo. Sin embargo, en ocasiones se producen excedentes que son colocados en el mercado de exportación.

- **Nafta Virgen Pesada**

La nafta virgen pesada (HVN) se produce por el fraccionamiento de la nafta virgen entera (rango de ebullición 200 – 400 °F) en la unidad NRA Y, donde se recupera por el tope y por el fraccionamiento en la unidad NFAY-4 (fondo) de la nafta proveniente de PSAY-5.

La nafta virgen pesada tiene un rango de ebullición 200 – 300 °F. Se emplea como componente para la gasolina LV-22 y se exporta su excedente como nafta para reformación catalítica, cuyo proceso convierte la nafta virgen pesada,

con alto contenido de compuestos nafténicos de bajo octanaje, a compuestos aromáticos de alto octanaje.

- **Alquilato**

El alquilato (ALQ) es una fracción de hidrocarburos proveniente de la unidad de conversión ALAY, cuyo rango de ebullición es aproximadamente entre 97 °F (C₅) – 390 °F. Debido a algunas características de calidad como su elevado octanaje se dispone de manera preferencial para el mezclado de gasolinas destinadas al mercado de exportación. El alquilato al igual que los oxigenados prácticamente no son usados para producir gasolinas destinadas al mercado nacional, además de las razones de calidad antes expuestas esto se debe a el poco valor agregado que se obtendría si se dedicara a la mezcla para la producción de gasolinas destinadas al mercado local.

- **Nafta HDS**

Es producida en NFAY-3 de HDS y consta principalmente de Nafta Pesada del Coquer (HKN), y fracciones livianas originadas en el proceso de hidrodesulfuración. La HKN tiene un rango de destilación de 220 – 370 °F y gravedad API a 60 °F de 50.

- **Nafta Catalítica**

La nafta catalítica es una fracción de hidrocarburos proveniente de la unidad de conversión DCAY, cuyo rango de ebullición es aproximadamente entre 97 °F (C₅) – 440 °F. Su disposición preferencial es el mezclador de gasolinas locales y de exportación.

- **Reformado**

Se forma como producto pesado de la reformación catalítica, rango de ebullición 100 – 220 °C, se usa para elaborar gasolinas “Premium” por su alto octanaje, con un MON que generalmente está sobre 100.

- **Nafta Liviana del Flexicoquer**

La nafta liviana del flexicoquer es producida en la unidad de livianos del flexicoquer. Algunas de sus características de calidad son: tiene un rango de ebullición comprendido entre 95 y 200 °F, una gravedad API a 60 °F de 73 y un RVP de 11,3 psi. Gracias a sus valores de RVP altos y sus otras características se dispone generalmente para mezclado de gasolinas con calidades específicas de invierno, ya que permite garantizar el encendido de los motores a bajas temperaturas.

- **Butano**

El butano es uno de los componentes más económicos de la gasolina, se obtiene en distintos procesos a lo largo de la refinería, éste un compuesto con alto contenido de sustancias livianas el cual ofrece beneficios de aumento de la presión del compuesto final, el mismo puede ser inyectado en la planta de Alquilación para ser usado como materia prima en la obtención del alquilato.

- **TAME**

El TAME es un producto de alto octanaje proveniente de la reacción del metanol con los isoamilenos presentes en la gasolina liviana de la unidad de craqueo catalítico; no es tóxico ni contaminante, características que le confieren ventajas comparativas, como componente de mezcla de las gasolinas, frente a aditivos que contienen plomo.

- **MTBE**

El MTBE es un compuesto oxigenado que al igual que el TAME se obtiene en la unidad de craqueo catalítico, es de octanaje elevado. La incorporación de éstos oxigenados en las mezclas de gasolinas les confiere importantes ventajas tales como:

- ✓ Permiten significativo aumento de octanaje.
- ✓ Mejoran la eficiencia de aceleración a bajas velocidades.
- ✓ Son miscibles con los hidrocarburos en el rango de ebullición de las gasolinas.

- ✓ Evitan problemas de alta presión de vapor, tienen un punto de congelación favorable y además no son corrosivos.
- ✓ El MTBE posee un bajo punto de ebullición que favorece el índice de manejabilidad de las gasolinas.
- ✓ Su uso permite reducir las emisiones.

La desventaja de la adición de estos oxigenados al pool de gasolina radica en que aumenta la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, en comparación con el alquilato o butano que también constituyen componentes añadidos para incrementar el octanaje.

4.1.2 Aditivos de las Gasolinas

En la refinería de Amuay se mezclan los diferentes componentes de la gasolina, provenientes de las distintas unidades de proceso, con aditivos especiales para uno u otro tipo de gasolina, como lo son: ⁽¹⁾

- ✓ El marcador EB.
- ✓ El colorante rojo B.
- ✓ El inhibidor de goma u oxidación.
- ✓ Los desactivadores de metales.
- ✓ El aditivo detergente.
- ✓ El anticongelante (usado en países fríos en invierno).
- ✓ Antidetonantes como el tetraetilo de plomo.

Los aditivos para combustibles son químicos que se utilizan con la finalidad de proveer o mejorar características relacionadas con el funcionamiento óptimo de los motores, así como para disminuir los problemas de manejo y almacenamiento de éstos combustibles. Entre los más comunes se encuentran los inhibidores de oxidación (antioxidantes), inhibidores de corrosión, desactivadores de metal, detergentes, marcadores, antidetonantes y colorantes. La especificación

de contenido de plomo en gasolina, obedece a dos parámetros fundamentales para la formulación y estrategia de la Corporación, tales como:

- ✓ Limitaciones por efectos de la contaminación ambiental que éste elemento ocasiona; la máxima cantidad permisible en mezclas de gasolina es de 3 cc de TEL por galón de gasolina.
- ✓ Factor económico debido al costo que encierra la adición de tetraetilo de plomo a la gasolina.

La adición de tetraetilo de plomo es empleada para mejorar el octanaje y es muy efectiva, no afecta las otras propiedades de la corriente de mezcla y al mismo tiempo es usado en concentraciones muy bajas. A continuación se presenta un diagrama simplificado del sistema mezclador de gasolinas de la refinería de Amuay. En él se resume gráficamente como es el proceso así como también componentes, aditivos y gasolinas producto.

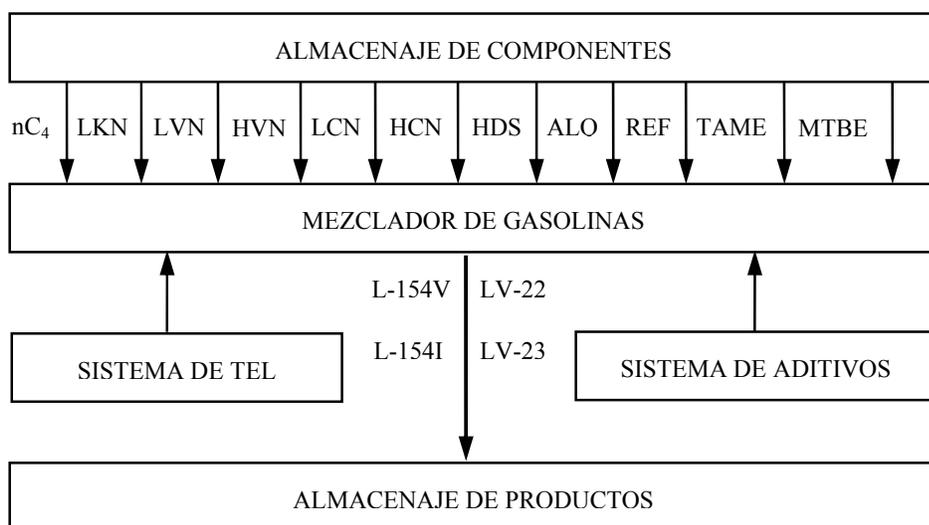


Figura 4.1 Diagrama del mezclador de gasolinas Amuay.

4.1.3 Beneficios que aportan los diferentes componentes utilizados sobre la calidad final de la gasolina

Todos y cada uno de los posibles componentes de una determinada gasolina poseen calidades específicas. El uso de un componente u otro está influenciado por el valor agregado que éste pueda adquirir al ser mezclado, además de la disponibilidad del mismo, pero principalmente se ve afectado por los aportes en una determinada calidad final en la gasolina. Para evidenciar los beneficios de un componente con respecto a otro en una determinada mezcla es necesario observar los valores típicos de las calidades más importantes de los componentes de las gasolinas en la refinería de Amuay, los cuales se encuentran resumidos en la tabla 4.1. ⁽³⁾

Tabla 4.1 Valores típicos de calidad de los componentes para gasolina de Amuay.

| Componente | Octanaje | | RVP | Oxígeno | Olefinas | Aromáticos | Benceno | Azufre |
|------------------|----------|----------|-----------|---------|----------|------------|---------------|---------|
| | RON | MON | | | | | | |
| REF | 103 oct | 93 oct | 3-4 psi | Bajo | | 79 %v | Más de 0.8 %v | Bajo |
| MTBE | 130 oct | 120 oct | 9 psi | 18 %p | Cero | Cero | Cero | Cero |
| TAME | 98 oct | 87 oct | 7 psi | 6 %p | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo |
| ALQ | 90 oct | 89 oct | 4 psi | Cero | No posee | No Posee | | |
| n-C ₄ | 91 oct | 90 oct | 60 psi | Cero | | | | |
| LCN | 90 oct | 80 oct | 5 a 7 psi | Cero | 25 %v | 20 %v | 0.5 %v | 180 ppm |
| HCN | 90 oct | 80 oct | 12 psi | Cero | 47 %v | 19 %v | 0.4 %v | 0.15 %p |
| LVN | 70oct | 67 oct | 12 psi | Cero | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo |
| HVN | 55 oct | 54 oct | 2-4 psi | Cero | Bajo | Alto | Alto | Alto |
| HDS | 65.8 oct | 60.4 oct | 2-4 psi | Cero | Bajo | Alto | Alto | Bajo |
| LKN | 87.8 oct | 76 oct | 11.7 psi | Cero | Muy alto | Bajo | Bajo | 1700ppm |

Referencia: Guía de Especificaciones Productos LAGOVEN.

4.1.4 Configuración y Variables que afectan el Proceso de Mezclado

Las instalaciones del sistema de mezclado de gasolinas están ampliamente distribuidas a través del área de la refinería, debido a la ubicación de los tanques los cuales se encuentran distribuidos en los bloques 1, 4, 7, 8 y 23. Los componentes de las gasolinas, las soluciones de aditivos y el TEL son mezclados

en línea por control de relación de flujo a través de las secciones del sistema de mezclado de gasolinas. Las cinco secciones que conforman dicho sistema son: ⁽²⁾

1. Sección de almacenaje de componentes.
2. Sección de preparación de aditivos.
3. Sección de inyección de TEL.
4. Sección de mezcla.
5. Sección de almacenaje de productos.

Las variables principales que afectan el proceso de mezcla, y por lo tanto la operación del sistema de mezclado, son las siguientes: ⁽²⁾

- ✓ Flujo y volumen de componentes.
- ✓ Flujo, concentración y volumen de los aditivos.
- ✓ Volumen y flujo de inyección de TEL.
- ✓ Flujo y volumen de mezcla.
- ✓ Destilación de la mezcla.
- ✓ RVP de la mezcla.
- ✓ Número de octano de la mezcla.
- ✓ Presión del cabezal de mezcla.

Estas variables deben mantenerse bajo control para garantizar la calidad de los productos deseados. Dado que los componentes de la mezcla están en control de relación de flujo, cualquier variación en el flujo de uno de ellos se ajusta automáticamente mediante cambios proporcionales en las otras corrientes para de esta manera mantener el producto en especificación. ⁽²⁾

4.2 Tipos de Gasolina que se elaboran en la Refinería de Amuay

En la refinería de Amuay se preparan varios tipos de gasolinas tanto para el mercado nacional como para el internacional, formado principalmente por Estados Unidos, Puerto Rico, Colombia, Ecuador, Perú y el Caribe, cada una con características específicas requeridas por un sector en particular del mercado.

La nomenclatura utilizada para designar los productos terminados en la refinería de Amuay, es la siguiente: ⁽¹⁾

- ✓ Para el mercado nacional se antepone la sigla “LV” o simplemente “V” a un número de dos dígitos.
- ✓ Para el mercado de exportación se antepone la sigla “L” a un número de tres dígitos.

Las gasolinas Popular (LV-22) y Óptima (LV-23) son producidas para satisfacer el mercado local de acuerdo a las especificaciones permitidas por el gobierno. El marcador y colorante son aditivos exclusivos para la gasolina Popular, ya que por sus características de octanaje, es necesario diferenciarla visualmente por lo que se agrega el colorante a la gasolina popular, adicionalmente se garantiza la pureza de ambos combustibles con la aplicación de una sustancia denominada marcador que pueda detectar contaminación de gasolina Óptima con Popular.

Para el mercado de exportación está destinada la gasolina reformulada, cuyas calidades finales varían según la estación del año y se clasifica en reformulada invierno (L-154I) y en reformulada verano (L-154V). La gasolina reformulada no contiene plomo, colorante, ni marcador, para cumplir con las leyes de protección ambiental impuestas por el gobierno de los Estados Unidos.

En función de lo antes expuesto las gasolinas producidas en el Centro de Refinación Paraguaná Amuay principalmente se clasifican en popular y óptima para mercado local y reformulada (invierno o verano) para exportación. A continuación se resumen todos y cada uno de los tipos de gasolinas preparados en la refinería de Amuay a partir de la mezcla de una o más naftas y otros componentes: ⁽³⁾

- **Mercado Nacional**

1. Gasolina Popular, 89 RON (LV-22).
2. Gasolina Óptima, 95 RON (LV-23).

- **Mercado de Exportación**

1. Gasolina Convencional s/p, 87 IAD (USA y Puerto Rico).
2. Gasolina Reformulada s/p, con oxigenados para cumplir con las regulaciones de la EPA, 87 IAD (USA y Puerto Rico) (L-154I/V).
3. Gasolina s/p, 87 IAD (Sudamérica y el Caribe) (L-154V).
4. Gasolina s/p, 92 RON y 95 RON (Sudamérica y el Caribe).

4.3 Especificaciones de la Gasolina

La calidad de un tanque de almacenamiento de gasolina está determinada por un conjunto de propiedades medidas en el laboratorio, las cuales deben estar en los valores y/o rangos aceptables según las exigencias del cliente y de los parámetros establecidos por los entes gubernamentales. Las propiedades más importantes de las gasolinas son:

4.3.1 Números de Octano

Es la medida de la resistencia de la gasolina a la detonación y es un factor determinante en la calidad del producto. Una gasolina con una calidad antidetonante inferior al requerimiento del vehículo provoca el pistoneo del motor, el cual lo afecta negativamente en términos de pérdida de potencia y posible daño al mismo.

El octanaje se expresa en términos de RON, MON o IAD, cuyos valores son indicativos de la calidad antidetonante del producto, relativos a combustibles de referencia. El análisis del RON (Research Octane Number) de una gasolina consiste en determinar el número de octano, en una prueba donde se hace pasar la muestra a través de una máquina de octanaje, sometida a condiciones de baja severidad. El análisis del MON (Motor Octane Number) de una gasolina consiste en determinar el número de octano, en una prueba donde la muestra se hace pasar a través de una máquina de octanaje sometida a condiciones de alta severidad.

El IAD (Índice Antidetonante) es el promedio del RON y el MON. Se concluye que mientras más alto es el RON, MON o IAD llamado octanaje, mejor es la calidad de la gasolina y por ende se obtiene un mayor rendimiento en un motor de combustión. ⁽⁸⁾

4.3.2 Volatilidad

Indica la tendencia a la vaporización o cambio de estado líquido al gaseoso del combustible, lo cual incide en el comportamiento del vehículo. La volatilidad de las gasolinas se establece en función de las condiciones ambientales del lugar donde se consumen y de los requerimientos del parque automotor. Conjuntamente a la volatilidad del producto es relevante su presión de vapor Reid (RVP) y la curva de destilación. ⁽⁸⁾

La presión de vapor Reid (RVP) mide cuán volátil puede ser una gasolina. El término volátil significa la cantidad de gasolina que puede evaporarse por sí sola, a condiciones ambientales. Mientras más alto es el RVP más tendencia tendrá la gasolina de evaporarse en los tanques de almacenamiento. Sin embargo en los meses de invierno es necesario mantener un RVP alto, tal que garantice el encendido de los motores a bajas temperaturas.

La destilación ASTM es usada para establecer las características de volatilidad de la gasolina. Para la determinación de la destilación de una gasolina, parte de la misma es calentada y los vapores que se generan, son después enfriados (condensados). El volumen del líquido recuperado es medido, así como la temperatura a la cual se evaporó y de esta forma se obtiene la curva de destilación.

La destilación proporciona información relativa a cuán liviana puede ser una gasolina, puesto indica la mayor presencia de componentes livianos o pesados en el combustible. Es decir, si los valores de temperatura a la cual se recuperan los condensados son bajas significa la presencia de componentes menos pesados, lo

que conlleva a la conclusión de que la gasolina es liviana. Por el contrario sí las temperaturas de recuperación de condensados son muy altas indica que la gasolina es más pesada y que posee componentes menos livianos. El IBP (Initial Boiling Point) es la temperatura a la cual la muestra de gasolina comenzó a ebulir. El FBP (Final Boiling Point) es la temperatura a la cual la muestra de gasolina se ha evaporado completamente. Típicamente la curva de destilación se logra definir con puntos claves como la temperatura a la cual se evapora el 10% de la gasolina (T10), el 50% (T50), el 90% (T90) y el FBP.

4.3.3 Otras propiedades y características de las gasolinas formuladas en la refinería de Amuay

Además de cumplir con el número de octano (RON, MON, IAD) que no son más que distintas medidas de la calidad antidetonante de la gasolina en los motores, la curva de destilación y la presión de vapor (RVP), las gasolinas formuladas deben cumplir con otras características como °API, relación vapor-líquido @ 20 °C, color, curva de destilación, corrosión, formación de goma, entre otras. ⁽⁴⁾

En las gasolinas pueden encontrarse compuestos que normalmente son de átomos de carbono con otros elementos, como azufre, oxígeno, nitrógeno, entre otros. Muchos de estos compuestos son indeseables en la gasolina por el poder contaminante que poseen. La Ley Penal del Ambiente en su Decreto N° 638 “Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica” de fecha 26 de Abril de 1995 establece valores máximos de contenidos de éstos compuestos en las gasolinas que utilizan los vehículos automotores.

Los compuestos principales de este tipo y las unidades en que se expresan éstas calidades son: Olefinas (% en volumen), Aromáticos (% en volumen), Benceno (% en volumen), Oxígeno (% en peso) y Azufre (% en peso).

Todas y cada una de las propiedades antes mencionadas dependen del tipo de gasolina a preparar y se manejan en base a rangos; la calidad de las gasolinas destinadas al consumo nacional presenta rangos constantes a través de todo el año, sin embargo, las calidades de las gasolinas destinadas al mercado de exportación varían de acuerdo a la estación del año y al destino de las mismas.

Para definir la calidad de una gasolina formulada, se utilizan las propiedades antes mencionadas, las cuales dependen de las condiciones de mezclado y las propiedades y cantidades de los componentes que se utilizaron para la formulación de ésta. A continuación se presentan en la tabla 4.2 las especificaciones más importantes que deben cumplir las gasolinas formuladas en la refinería de Amuay: ⁽³⁾

Tabla 4.2 Especificaciones típicas de las gasolinas de Amuay.

| TIPO DE GASOLINA | POPULAR | ÓPTIMA | REFORMULADA |
|-------------------------|----------------|---------------|--------------------|
| CÓDIGO DEL PRODUCTO | LV-22 | LV-23 | L-154V / L-154I |
| AROMÁTICOS, % Vol | | | |
| VERANO | | | - / 32 |
| INVIERNO | | | - / 26,4 |
| BENCENO, % p | | | - / 1,0 |
| DESTILACIÓN, ° F | | | |
| 10% EVAPORADO (T10) | - / 158 | - / 158 | 122 / 158 MAX, |
| 50% EVAPORADO (T50) | 171 / 250 | 171 / 250 | 170 MIN. |
| 90% EVAPORADO (T90) | - / 383 | - / 383 | 230 / 250 MAX. |
| PUNTO FINAL (FBP) | - / 437 | - / 437 | - / 332 |
| OCTANO | | | |
| MON | 80 / - | 87 / - | 82,0 / - |
| RON | 89 / - | 95 / - | - |
| OLEFINAS, % Vol | | | - / 10,8 |
| OXIGENO, % p | | | 2,0 / 2,7 |
| AZUFRE, % p | - / 0,15 | - / 0,15 | - / 0,02 |
| RVP, PSI | - / 9,5 | - / 9,5 | |
| VERANO | | | 7,2 / 8,1 |
| INVIERNO | | | 11,8 / 15,0 MAX. |

Referencia: Guía de Especificaciones Productos LAGOVEN.

4.4 Correlaciones de Mezclado

Las correlaciones de mezclado son las fórmulas matemáticas que determinan los comportamientos de las propiedades finales de una mezcla luego de combinar una serie de componentes. En el caso particular del presente Trabajo Especial de Grado se enfocara la atención en las correlaciones de mezclado de gasolina. ⁽⁵⁾

Las correlaciones para mezclado de gasolinas han sido principalmente estudiadas por compañías especializadas dadas sus necesidades de predecir el comportamiento de determinada propiedad para la obtención de gasolinas producto. De este modo encontramos correlaciones de Ethyl Corporation, Dupont's Interactive Coefficients, ABB Correlations Blending, entre otras.

Las propiedades de las cuales se requiere conocer el comportamiento al mezclar son diversas y variadas dependiendo de la gasolina producto que se vaya a preparar, del uso al que vaya a ser destinada dicha gasolina, de las características de calidad especificadas para cada zona geográfica y de las restricciones ecológicas propias de cada área.

Las propiedades más comunes generalmente estudiadas mediante correlaciones son: gravedad API, gravedad específica, azufre, RVP, RON, MON, punto de ebullición volumétrico promedio (Volumetric Average Boiling Point), temperatura de destilación ASTM D-86, porcentaje en volumen de aromáticos, porcentaje en volumen de olefinas, etc.

Dentro del estudio de correlaciones para predecir el Octano de una mezcla existen a la vez varios tipos, los Octanos Research y Motor de mezclas pueden ser generalmente calculados de las ecuaciones R-70 de Ethyl Corporation ó de los métodos de interacción binaria de Dupont. ⁽⁵⁾

Como ya se mencionó, para definir la calidad de una gasolina, se utilizan una serie de propiedades, las cuales dependen de las cantidades y de las propiedades específicas de cada uno de los componentes que se utilizaron para la formulación de ésta. La dependencia en algunos casos es lineal o aditiva, es decir que la calidad del conjunto resultante puede ser expresado como el promedio volumétrico de la calidad de los componentes. En otras palabras se debe cumplir la siguiente ecuación:⁽⁴⁾

$$\text{Calidad}_{\text{Gasolina}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Calidad}_i * v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (1)$$

Donde:

Calidad_{Gasolina} = Calidad de la gasolina producto de la mezcla.

Calidad_i = Calidad del componente i en la mezcla.

v_i = Fracción volumétrica del componente i en la mezcla.

Las propiedades de una mezcla pueden ser función de los volúmenes o fracciones volumétricas y de las propiedades de los componentes. La relación de mezcla, es entonces un balance volumen - calidad, el cual es el producto de la calidad por el volumen.

Con algunas propiedades es necesario aplicar aproximaciones teóricas y estadísticas. En algunos casos, un estudio superficial puede sugerir que la mezcla lineal funciona de manera aproximada. Sin embargo, se ha demostrado que ciertos componentes interactúan con otros en una forma tal que desvirtúan el análisis teórico. Esto ocurre principalmente en propiedades como el octanaje y la destilación.

Se ha encontrado que estas propiedades no siguen un comportamiento lineal, por lo cual se hace necesario la aplicación de métodos que permitan

predecir tanto el octanaje como la destilación de una gasolina a partir de las propiedades de cada uno de los componentes básicos utilizados en la producción de ésta.

Los componentes pueden mezclarse, de modo tal, que cumplan con varias especificaciones simultáneamente. A medida, que el número de especificaciones aumenta, se incrementa el número de ecuaciones y esto complica la solución. ⁽⁴⁾

Como se puede observar la mezcla de componentes para la obtención de gasolinas no es sencilla. Muchas veces propiedades como el RVP que mezcla linealmente no se comportan de la manera esperada. Una de las herramientas más útiles para predecir las calidades finales de las gasolinas es el uso de la programación lineal.

4.5 Programación Lineal

La programación lineal (PL) es un procedimiento matemático por el cual se puede resolver el problema de cómo distribuir recursos escasos, con medios limitados, de tal forma que se obtengan ganancias máximas al mismo tiempo que se cumplan con los requisitos exigidos. En términos matemáticos, un problema de programación lineal consiste simplemente en un sistema indeterminado de ecuaciones lineales simultáneas, el cual representa las condiciones del problema, y una función lineal que expresa el objetivo del problema. El sistema puede igualmente ser de inecuaciones; puede estar formado por igual o menor número de variables que de ecuaciones, si es linealmente dependiente. ⁽⁶⁾

Debe quedar claro que este procedimiento matemático es capaz de resolver únicamente sistemas donde la relación de las variables se exprese como funciones lineales. Funciones no lineales, si embargo, pueden ser representadas como funciones lineales dividiéndolas en “sub-funciones” que representen segmentos de la función original.

El procedimiento empleado para resolver problemas de programación lineal consiste en un proceso iterativo, basado en un algoritmo pre-programado, examinando varias soluciones hasta seleccionar el conjunto de variables y sus valores positivos que lleven al máximo, o al mínimo si es el caso, el valor de la función objetivo. Debido a la complejidad del procedimiento, para la solución de problemas de programación lineal se hace indispensable el uso de computadores digitales.

Se debe enfatizar que la programación lineal es sólo un instrumento de ayuda, el cual, basándose en la información suministrada, puede determinar cuál es el mejor uso de los ingredientes y equipos disponibles para satisfacer las condiciones especificadas.

Mediante el uso de la programación lineal se facilita la toma de decisiones en aquellos problemas donde intervienen un gran número de variables, así como también permite analizar numerosos casos. Si los datos que conforman el problema de programación lineal poseen alguna incertidumbre, no se debe pretender que la solución sea mejor que la información contenida en los datos del problema. ⁽⁶⁾

Para el caso específico de las gasolinas, objeto del presente estudio, los parámetros a optimizar con el objeto de obtener modelos de mezclado más confiables son principalmente: RVP, concentración de azufre, contenido de aromáticos, olefinas, MON, RON, destilación y benceno. De este modo, la integración en un modelo matemático de la manera más conveniente de preparación de gasolinas, sujeto a una serie de restricciones que cumplir y las fórmulas para predecir los parámetros de calidad, conducen a buscar mejoras a los métodos actuales o a proponer nuevos métodos capaces de inferir calidades y recetas de una manera mas acertada.

4.6 Análisis de Regresión Múltiple (ARM)

La regresión múltiple no es más que un método estadístico para especificar, estimar e interpretar un modelo explicativo en el que una variable dependiente se estudia en función de una serie de una o más variables explicativas o independientes. El objetivo consiste en cuantificar la relación entre la variable dependiente y las variables independientes, y en establecer con qué grado de confianza se puede afirmar que la cuantificación realizada se ajusta a la realidad observada.

El método más sencillo y común de análisis de regresión múltiple es el que permite hallar una relación lineal entre las variables independientes y la variable dependiente, éste método es conocido como mínimos cuadrados. Aparte de los modelos lineales se pueden introducir formas funcionales más elaboradas como por ejemplo las exponenciales y logarítmicas, la innovación consiste en calcular otra variable Z que es igual a $Z = f(Y)$, donde “ Y ” es la variable dependiente en cuestión y “ f ” es la función matemática (logarítmica o exponencial). Pero las transformaciones exponenciales y logarítmicas no agotan las posibilidades del modelo de regresión en cuanto a formas funcionales. Otra forma funcional importante es la polinómica, la cual relaciona las variables independientes con las dependientes a través de polinomios de orden n .

Conocer el proceso a estudiar es una gran ventaja, ya que permite ser selectivo a la hora de realizar las transformaciones funcionales, es decir, afectar solamente a algunas de las variables en el modelo o teniendo en cuenta la naturaleza teórica del problema a estudiar (conociendo de antemano el comportamiento del fenómeno) poder realizar el cambio de variable a la función más apropiada.⁽⁴⁾

4.7 Método de los Mínimos Cuadrados (PLS)

En la industria de refinación existen numerosas variables que son procesadas con gran frecuencia, lo que origina gran cantidad de información almacenada en las bases de datos de los computadores. Con frecuencia esta información almacenada es redundante cuando se utiliza para generar modelos. Es deseable desarrollar una técnica predictiva para generar modelos de variables medidas poco frecuentemente usando las mediciones de las variables que son medidas más frecuentemente.⁽⁹⁾

El método matemático conocido como mínimos cuadrados (PLS) es usado para determinar los mejores valores de los parámetros de una ecuación ajustando una serie de datos, es decir, permite hallar la mejor relación lineal entre una serie de variables de entrada (independientes) y una variable de salida (dependiente). Un problema de mínimos cuadrados es válido siempre y cuando el número de datos sea superior a la cantidad de coeficientes de la ecuación que se requieren determinar.

El método de los mínimos cuadrados permite hallar modelos “robustos” cuyos parámetros no cambian demasiado cuando se introducen nuevos datos a la población (asumiendo que las condiciones operacionales cambiantes no hayan modificado el modelo), debido a la capacidad de remover información redundante.⁽⁹⁾

Si se supone que se tienen “n” cantidad de datos de futuras salidas dados por los valores de alguna variable medida “y”, además se conocen los valores de dos variables independientes “ x_1 ” y “ x_2 ” (se generalizará hasta m variables independientes más adelante).⁽¹⁰⁾

Tabla 4.3 Datos genéricos mínimos cuadrados.

| Datos | | |
|----------------|---------------------------|---------------------------|
| Valores de y | Valores de x ₁ | Valores de x ₂ |
| y ₁ | x ₁₁ | x ₁₂ |
| y ₂ | x ₂₁ | x ₂₂ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| y _n | x _{n1} | x _{n2} |

Referencia: Luyben, Control de procesos.

Supóngase que se quiere encontrar el valor de dos parámetros (a₁ y a₂) en una ecuación

$$\hat{y}_{(x_1, x_2)} = (a_1) x_1 + (a_2) x_2 \quad (2)$$

tal que se ajusten los datos de “la mejor manera”. El valor de y calculado de la precedente ecuación se denomina \hat{y} .

El índice de desempeño es la suma de los cuadrados de las diferencias entre los “n” valores datos de la variable de salida (y_i) y los valores calculados a partir de la ecuación anterior (\hat{y}).

$$\hat{y}_i = (a_1) x_{i1} + (a_2) x_{i2} \quad (3)$$

El índice de desempeño es

$$J = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

Para cada uno de los “n” valores de datos, los valores de “y”, “x₁” y “x₂” son conocidos. La tarea es encontrar los valores de a₁ y a₂ de manera de realizar el mejor ajuste de los datos a la ecuación 2.

El procedimiento para resolver este problema es el de sustituir la ecuación 3 en la ecuación 4 y hallar las derivadas parciales con respecto a los dos

parámetros desconocidos a_1 y a_2 . Luego las dos ecuaciones de derivadas parciales se igualan a cero, obteniéndose un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas.⁽¹⁰⁾

$$J = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_1 x_{i1} - a_2 x_{i2})^2 \quad (5)$$

$$\frac{\partial J}{\partial a_1} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_1 x_{i1} - a_2 x_{i2})(-x_{i1}) = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial J}{\partial a_2} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_1 x_{i1} - a_2 x_{i2})(-x_{i2}) = 0 \quad (7)$$

Reordenando las ecuaciones 6 y 7 se tiene:

$$a_1 \sum_{i=1}^n (x_{i1})^2 + a_2 \sum_{i=1}^n (x_{i1} x_{i2}) = \sum_{i=1}^n (y_i x_{i1}) \quad (8)$$

$$a_1 \sum_{i=1}^n (x_{i1} x_{i2}) + a_2 \sum_{i=1}^n (x_{i2})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i x_{i2}) \quad (9)$$

Estas dos ecuaciones se pueden comprimir escribiéndolas en forma matricial:

$$\underline{\mathbf{x}}^T \underline{\mathbf{x}} \underline{\mathbf{a}} = \underline{\mathbf{x}}^T \underline{\mathbf{y}} \quad (10)$$

Donde:

$$\underline{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \\ x_{21} & x_{22} \\ \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\underline{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad \underline{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

La ecuación 10 puede ser resuelta para hallar los parámetros desconocidos a_1 y a_2 .

$$\underline{a} = [\underline{x}^T \underline{x}]^{-1} \underline{x}^T \underline{y} \quad (13)$$

La ecuación 3 se puede extender hasta contener “m” valores de los parámetros desconocidos “a” y “m” variables independientes x_i .

$$\hat{y}_i = a_1 x_{i1} + a_2 x_{i2} + a_3 x_{i3} + \dots + a_m x_{im} = \sum_{k=1}^m a_k x_{ik} \quad (14)$$

mediante la simple redefinición del vector \underline{a} de parámetros desconocidos y la matriz \underline{x} de valores datos:

$$\underline{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} \quad \underline{x} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Las ecuaciones 10 y 13 aún aplican.⁽¹⁰⁾

El método de los mínimos cuadrados (PLS) es un poderoso método de análisis debido a que es poco exigente en cuanto a escalas de medidas, tamaño de la muestra y distribución residual. Este método hace énfasis en predecir el comportamiento de las variables resultantes o "respuestas" y no necesariamente en entender la relación entre los factores. Por ejemplo, PLS no es apropiado para

monitorear factores que tengan un efecto despreciable en la respuesta. Por el contrario cuando se tiene como meta la predicción de la respuesta y no hay necesidad de limitar el número de factores medidos, PLS puede ser una herramienta útil. ⁽⁹⁾

En principio, el método PLS puede ser aplicado usando una gran cantidad de fenómenos tipo. Sin embargo, si el número de los mismos es muy grande se obtendrá un modelo que se ajuste a los datos muestreados perfectamente, pero fallará en la predicción de la respuesta de nuevos datos, este fenómeno es llamado "sobre ajuste". En tales casos, aunque existen muchas variables que influyen, sólo algunas de ellas son resaltantes y tienen la mayor influencia en la respuesta. El objetivo general de PLS es extraer las variables resaltantes para modelar mejor las respuestas.

Luego de la aplicación de PLS se obtiene un modelo lineal que genera la recta de mejor ajuste al comportamiento del fenómeno, es decir, la recta que minimiza la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores de la variable dependiente "reales" y los obtenidos a través del modelo, esto es fácil de comprender, puesto que esta suma representa la discrepancia entre los puntos y la recta obtenida. Si se llama s a la suma del cuadrado de los errores, se tiene: ⁽¹¹⁾

$$s = e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2$$
$$s = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 \quad (16)$$

En la refinería de Amuay existe una herramienta de cálculo elaborada por el departamento de diseño y control de procesos basada en el método de los mínimos cuadrados. Éste programa es llamado PLS, se utiliza para hallar la relación lineal que mejor ajusta una variable dependiente (calidad de la gasolina) en función de una serie de variables independientes (factores de aporte a la calidad de la gasolina de cada componente). El resultado de aplicarlo en la obtención de

modelos para la predicción de calidades en las gasolinas son los índices de mezcla y el valor constante (Bias) que permiten satisfacer la ecuación 17.

$$\text{Calidad}_{\text{Gasolina}} = a.f_{\text{comp } 1} + b.f_{\text{comp } 2} + \dots + n.f_{\text{comp } n} + B \quad (17)$$

Donde:

Calidad_{Gasolina}: Calidad estimada de la gasolina.

a,b,n: Índices de mezcla obtenidos tras aplicar el programa PLS.

f_{comp*i*}: Factor de aporte del componente i a la calidad final de la gasolina.

B: Bias.

Para obtener los factores de aporte que sirven de datos para generar los modelos haciendo uso del programa PLS o cualquier otra técnica de ajuste de datos y regresión múltiple se aplicó la siguiente fórmula.

$$f_{\text{Comp}} = \frac{\%Vol_{\text{Comp}} * \text{Calidad}_{\text{Comp}}}{100} \quad (18)$$

Donde:

%Vol_{Comp}: Porcentaje en volumen del componente.

Calidad_{Comp}: Calidad del componente.

4.8 Programas utilizados en la refinería de Amuay para predecir las calidades finales de las gasolinas

Actualmente, en el CRP – Amuay se utiliza un sistema de programación lineal llamado Sistema de Modelaje de Procesos Industriales (PIMS de las siglas en inglés) para determinar las recetas base mensuales (óptimas) que serán usadas a lo largo de cada mes para elaborar las mezclas de gasolinas. Las calidades finales de las gasolinas son obtenidas luego en hojas de cálculo de Excel, a través de la programación lineal.

El PIMS es un sistema computarizado para formular modelos individuales de refinerías, complejos petroquímicos y otras facilidades de la industria de procesos, mediante sistema de ecuaciones lineales. Este programa emplea la técnica de programación lineal para optimizar la operación y diseño de la industria de procesos a fin de maximizar ganancias o minimizar costos. PIMS es licenciado por la compañía ASPEN-PIMS, perteneciente a la tecnología ASPEN. Esta compañía ofrece una serie de paquetes de software que cubren una gran variedad de aplicaciones en el área de programación matemática para la industria petrolera.

Algunas de las aplicaciones del PIMS en las refinerías son las siguientes:⁽⁷⁾

- ✓ Evaluación de crudos y otros insumos: ¿Qué crudo se debe comprar y a que precio?
- ✓ Plan de operaciones - Procesando una dieta: ¿Qué productos se deben producir y cómo se mezclan para maximizar beneficios?
- ✓ Planes de inversión a mediano y/o largo plazo: Capacidad de la expansión o planta nueva. ¿Es rentable?
- ✓ Planificación de paradas de plantas: ¿Cuál es el impacto económico de una parada de planta?, ¿Se debe programar?
- ✓ Impacto nuevos mercados o restricciones ambientales: ¿Cuál oportunidad de mercado es más beneficiosa?
- ✓ Políticas de inventario.

La fuente de información del sistema PIMS es a través de hojas de cálculo de Excel o Lotus 1-2-3. Estas hojas de cálculo llamadas en el sistema PIMS tablas, permiten al usuario describir la economía y tecnología de procesos de la planta considerada. El uso del PIMS es exclusivo para personal del CRP especializado en el área de programación.⁽⁷⁾

La hoja de cálculo de Excel usada para corregir las recetas “óptimas” reportadas mensualmente por el PIMS y para determinar las calidades finales de las gasolinas, se denominó Hoja de Mezclas. Es ésta hoja la que finalmente determinará las proporciones requeridas de cada componente en las mezclas para

satisfacer la calidad del producto deseado. La Hoja de Mezclas posee una serie de relaciones matemáticas que permiten obtener la calidad final de la gasolina producto. Para el caso de las gasolinas destinadas al mercado local con la hoja de mezclas se pueden predecir los valores finales de: RVP, RON, MON, aromáticos, olefinas y curva de destilación (T10, T50, T90 y FBP).

Debido a las mayores exigencias de calidad por parte del mercado de exportación, para las gasolinas reformuladas destinadas a dicho mercado se pueden determinar mediante el uso de la hoja de mezclas las siguientes calidades: RVP, RON, MON, oxígeno, azufre, olefinas, aromáticos, benceno y curva de destilación.

La Figura 4.2, corresponde a una correlación de la hoja de mezclas, en este ejemplo la correlación permite determinar el RVP final de una gasolina. Además del RVP para todas las calidades antes mencionadas de las gasolinas producto de la refinería de Amuay existe una correlación en la hoja de mezclas.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|----------|----------|------|--------|--------|---|---|---|---|
| 16 | ESTACION | | | | VERANO | | | | |
| 17 | CC/GAL | PLOMO | 0,64 | 1,29 | | | | | |
| 18 | | 1,013 | 19,0 | 25,5 | MBD | | | | |
| 19 | | MON | 80,5 | 87,7 | 86,4 | | | | |
| 20 | | RON | 87,8 | 96,5 | 92,6 | | | | |
| 21 | | IAD | 84,1 | 92,1 | 89,5 | | | | |
| 22 | | RVP | 9,3 | =SUMAP | 6,4 | | | | |
| 23 | | VBI, VIL | 14,7 | 12,6 | 156,2 | | | | |

Figura 4.2 Correlaciones de mezclado Hoja de Mezclas.

La figura 4.3 representa parte de la hoja de mezclas. El cuadrante superior izquierdo corresponde a la cantidad de los componentes, el inferior izquierdo a las correlaciones usadas para determinar las calidades finales. Los cuadrantes del lado derecho corresponden a las calidades de los componentes usadas para obtener la calidad final de la gasolina, la tabla superior se usa para gasolinas destinadas al mercado local y la inferior para gasolinas de exportación.

| | A | B | C | D | E | K | L | M | N | O | P | Q | R |
|----|---------|---------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | Guardar | | | | | V22 | 0.0 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | MON |
| 3 | | LVN | 20.0 | | 11.2 | LVN | 68.4 | 77.0 | 82.0 | 85.2 | 86.6 | 89.6 | 89.6 |
| 4 | | HVN | 19.0 | | | HVN | 66.0 | 71.0 | 76.0 | 80.0 | 82.3 | 84.1 | 84.3 |
| 5 | | LKN | 20.0 | 13.0 | | LKN | 88.6 | 72.4 | 74.7 | 75.9 | 76.7 | 77.5 | 81.3 |
| 6 | | MHDS | | | | MHDS | 82.9 | 72.7 | 76.9 | 79.4 | 81.2 | 83.6 | 84.4 |
| 7 | | HCN | 20.0 | 21.7 | | HCN | 73.2 | 81.7 | 83.0 | 81.0 | 85.1 | 84.7 | 89.0 |
| 8 | | ALQ | | 23.3 | 18.3 | ALQ | 90.3 | 84.1 | 87.6 | 89.7 | 124.0 | 131.6 | 91.2 |
| 9 | | HCN | 35 | 33 | | HCN | 81.0 | 83.5 | 86.5 | 86.6 | 87.5 | 88.5 | 87.1 |
| 10 | | MIB | | | 5.0 | MIB | 106.0 | 106.0 | 106.0 | 106.0 | 106.0 | 106.0 | 115.3 |
| 11 | | LCN | 17.5 | 38.7 | 28.7 | LCN | 79.2 | 81.7 | 83.0 | 81.0 | 85.1 | 84.7 | 89.0 |
| 12 | | ST | | | 17.0 | ST | 88.6 | 80.3 | 81.6 | 85.6 | 86.5 | 88.6 | 88.0 |
| 25 | | OXIGENO | | | 2.62 | 1.154 | BEN | MON | BEN | DOG | 106 | 506 | 906 |
| 26 | | OLEF | 18.8 | 18.7 | 18.8 | LVN | 72.1 | 72.3 | 75.1 | 0.00 | 127 | 126 | 205 |
| 27 | | BEN | 6.98 | 8.66 | 5.46 | HVN | 54.1 | 52.0 | 0.74 | 0.00 | 213 | 247 | 295 |
| 28 | | EAF | 74 | 75 | 154 | LKN | 88.0 | 75.0 | 1.00 | 0.00 | 113 | 140 | 189 |
| 29 | | GHE | 99 | 106 | 158 | MHDS | 80.4 | 69.9 | 0.77 | 0.00 | 139 | 223 | 289 |
| 30 | | 9HE | 131 | 148 | 262 | HCN | 88.6 | 80.2 | 0.61 | 0.00 | 238 | 342 | 399 |
| 31 | | ABO | 16.5 | 17.8 | 14.5 | ALQ | 90.3 | 90.1 | 0.00 | 0.00 | 170 | 217 | 226 |
| 32 | | EBP | 163 | 178 | 319 | HCN | 97.3 | 91.1 | 0.00 | 0.00 | 91 | 100 | 102 |
| 33 | | E2B | | | 56.3 | MIB | 132.0 | 123.0 | 0.00 | 10.40 | 113 | 125 | 133 |

Figura 4.3 Hoja de Mezclas.

4.9 MATLAB

El programa de mínimos cuadrados existente en la refinería de Amuay trabaja bajo ambiente MATLAB, por lo que se hizo necesario estudiar este paquete de programación. El nombre MATLAB viene de "matrix laboratory" (laboratorio matricial). MATLAB es un entorno de computación y desarrollo de aplicaciones totalmente integrado orientado para llevar a cabo proyectos en donde se encuentren implicados elevados cálculos matemáticos y la visualización gráfica de los mismos. MATLAB integra análisis numérico, cálculo matricial, procesamiento de señales y visualización gráfica en un entorno completo donde los problemas y sus soluciones son expresados del mismo modo en que se escribirían tradicionalmente, sin necesidad de hacer uso de la programación tradicional.

MATLAB dispone también en la actualidad de un amplio abanico de programas de apoyos especializados, denominados "Toolboxes" (cajas de herramientas), que extienden significativamente el número de funciones incorporadas en el programa principal. Estos Toolboxes cubren en la actualidad prácticamente casi todas las áreas principales en el mundo de la ingeniería y la simulación, destacando entre ellos: procesamiento de imágenes y señales, control robusto, estadística, análisis financiero, matemáticas simbólicas, lógica difusa,

identificación de sistemas, simulación de sistemas dinámicos, etc. Es un entorno de cálculo técnico, que se ha convertido en una importante referencia en la industria, con excelentes capacidades en computación y visualización numérica.

De forma coherente y sin ningún tipo de fisuras, integra los requisitos claves de un sistema de computación técnico: cálculo numérico, gráficos, herramientas para aplicaciones específicas y capacidad de ejecución en múltiples plataformas. Esta familia de productos proporciona al usuario un medio de carácter único, para resolver los problemas más complejos y difíciles. Las funciones especiales que se destacan por su utilidad en este programa son las siguientes: ⁽¹²⁾

- ✓ Funciones matemáticas.
- ✓ Álgebra lineal numérica.
- ✓ Polinomios e interpolación.
- ✓ Métodos numéricos no lineales.
- ✓ Estadística y análisis de Fourier.
- ✓ Operaciones algebraicas y lógicas.

4.9.1 Toolbox especiales

El Departamento de Control de Procesos de la refinería de Amuay elabora programas bajo ambiente MATLAB con la finalidad de dar solución a los problemas más comunes que se presentan en la misma. Dentro de estos programas se encuentran la generación de modelos predictivos de algunas variables de proceso mediante el uso como datos de otras variables que de una u otra forma se relacionan con la variable estudiada. Con el objetivo de dar solución a estos problemas usando MATLAB, los ingenieros de la refinería de Amuay se apoyan fundamentalmente en el toolbox de optimización. ⁽¹³⁾

Toolbox de Optimización

El toolbox de optimización consta de un conjunto de funciones que resuelven problemas de extremos (máximos o mínimos), con o sin condiciones, de funciones reales las cuales son generalmente multivariantes y no lineales. Así mismo, posee funciones para la resolución de algunos tipos de problemas matriciales en extremos.

Algunas de las áreas básicas que cubre este toolbox para MATLAB son las siguientes: ⁽¹³⁾

- ✓ Cálculo de un extremo local (máximo o mínimo) de una función real $f(x)$, en general multivariable y no lineal, sin imponer ninguna restricción o condición a la solución. Como caso particular, incluye una rutina especial para problemas de mínimos cuadrados no lineales.
- ✓ Cálculo de un extremo local (máximo o mínimo) de una función real $f(x)$, en general multivariable y no lineal, condicionado a que la solución satisfaga ciertas condiciones de desigualdad ($g(x)<0$ ó $g(x)>0$) y/o igualdad ($g(x)=0$).
- ✓ Problemas de aproximación a un conjunto de objetivos.
- ✓ Cálculo de soluciones de un sistema de ecuaciones continuas y, en general, no lineales.
- ✓ Programación lineal.
- ✓ Programación cuadrática.
- ✓ Problemas de mínimos cuadrados no negativos.

4.10 Control Estadístico de Procesos (CEP)

Cada vez que se realiza un cálculo matemático para resolver un problema, lo que se está haciendo es aplicar un “modelo matemático” a un fenómeno de la realidad. Al enfrentar un problema de física, química, ingeniería o de algún otro tipo, se está analizando e investigando una parte o aspecto de la realidad material. Para resolver el problema, se necesita modelar esa realidad, es decir, construir una “representación en la mente” de cómo ocurren los hechos, junto con ecuaciones matemáticas que permitan calcular los efectos de los mismos. ⁽¹⁴⁾

En ningún caso se debe confundir modelo con realidad. Un modelo es sólo una representación de la realidad, utilizado para estudiar y analizar dicha realidad. Los modelos matemáticos que después de efectuar los cálculos dan un resultado numérico preciso se denominan determinísticos. Hay fenómenos para los cuales no hay una ecuación que con todos los datos disponibles permita calcular en forma precisa el valor deseado. En todos estos casos, el resultado del experimento no se puede predecir con absoluta certeza. Para ello se necesitan otro tipo de modelos matemáticos, que se denominan no determinísticos, probabilísticos o estocásticos. El resultado no es un valor determinado, sino la probabilidad de un valor.

Un espacio muestral es el conjunto de todos los resultados posibles que pueden producirse al realizar el experimento. Un suceso, respecto a un espacio muestral asociado con determinado experimento, es un subconjunto de resultados pertenecientes a dicho espacio. En muchos casos es necesario trabajar con experiencias o procesos que generan un número muy grande de datos o resultados numéricos, es decir, espacios muestrales con un número infinito o muy grande de elementos. Cuando se tiene un conjunto muy grande de datos numéricos para analizar se dice que se tiene un universo o población de observaciones.

La estadística trabaja con poblaciones de datos y con muestras extraídas de las mismas. Los conceptos de población y muestra a veces resultan ambiguos en su aplicación práctica. El análisis estadístico de una población o universo de datos tiene como objetivo final descubrir las características y propiedades de aquello que generó los datos. El ingeniero realiza esta tarea no porque esté interesado en jugar con números, sino porque a través de los datos numéricos obtenidos se puede evaluar el comportamiento del proceso, que es lo que realmente le interesa.⁽¹⁴⁾

A la hora de poner un proceso bajo control estadístico usando técnicas que mediante la gráfica de indicadores permite cumplir las metas trazadas, se debe tener en cuenta que existen dos tipos de variables en todo proceso:⁽¹⁴⁾

1. Variables casuales o accidentales: son las que no se pueden controlar ni eliminar, son debidas al proceso mismo.
2. Variables asignables o atribuibles: son las que si se pueden controlar y eliminar, se deben al factor humano, a la temperatura, la materia prima, maquinaria, etc.

4.10.1 Gráficas de control

Se puede definir a la gráfica de control como un método gráfico para evaluar si un proceso está o no en un "estado de control estadístico". En su forma más usual, la gráfica de control es una comparación gráfica cronológica (hora a hora, día a día) de las características de calidad reales del producto, parte o unidad, con límites que reflejan la capacidad del producirla de acuerdo con la experiencia de las características de calidad de la unidad.

En todo proceso se requiere establecer ciertas mediciones que permitan verificar si se está logrando el propósito del mismo (eficacia) y si se están utilizando los recursos de manera adecuada (eficiencia). Para ello es necesario identificar y definir indicadores, es decir, valores o relaciones que midan la satisfacción de dichas expectativas. Algunos ejemplos de indicadores son:⁽¹⁵⁾

- ✓ Volumen de productos medido en barriles, toneladas, libras, etc.
- ✓ Tiempo de entrega, medido en días, meses, años.
- ✓ Defectos o desviaciones medidos en N°, %, etc.

Una vez identificado el indicador y la unidad de medición, es necesario determinar de qué tipo de datos se trata y como obtenerlo (fuente). Existen dos tipos de datos a saber:⁽¹⁵⁾

1. Variables: Son mediciones o datos referidos a propiedades o características tales como: presión, tiempo, temperatura, viscosidad, octanaje, etc.

2. Atributos: son mediciones o datos referidos a características que sólo pueden tomar ciertos valores precisos, por ejemplo, “Cumple o no cumple”.

Dependiendo de la cantidad y tipo de datos, en la industria se utilizan comúnmente tres tipos de gráfica de control. Los gráficos X-R se utilizan cuando la característica de calidad que se desea controlar es una variable. El gráfico P y el gráfico np sirven para detectar la fracción de artículos defectuosos cuando se están analizando variables por atributos, proporcionan la fracción o porcentaje de artículos defectuosos en la población que se encuentra bajo estudio. Dependiendo de si el tamaño de la muestra es constante o variable, se selecciona el gráfico np o p respectivamente.

En el caso particular de la serie de datos que permiten generar los modelos de mezcla para predecir las calidades más importantes de las gasolinas, se cuenta única y exclusivamente con datos de tipo variable. Por esta razón solo se estudiará el gráfico X-R.⁽¹⁵⁾

Gráfico X-R

El gráfico X-R ayuda al usuario a conocer si el proceso se encuentra dentro de las especificaciones. La medición de las variables y de los rangos de éstas indica si el proceso es constante o no. Si hay una gran variación en los valores significa que el proceso está fuera de control o en otras palabras que existen variables asignables o atribuibles que están ocasionando una variación. Existen dos tipos de frecuencias: Alta y Baja.⁽¹⁵⁾

Frecuencia Alta: Cada vez que se revisa el proceso o se muestrea, se obtienen uno o más datos, por ejemplo, un analizador en línea genera datos cada seis minutos sobre una calidad del producto. Para esta frecuencia se utilizan los gráficos de ubicación \bar{X} R (promedio de los promedios) y el rango \bar{R} (variabilidad).⁽¹⁵⁾

Gráfico de Promedio:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{K} \quad (19)$$

X_i = Promedio de cada subgrupo

K = N° de subgrupos

$$LC = \bar{X} \quad (20)$$

$$LCS = \bar{X} + A_2 R \quad (21)$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 R \quad (22)$$

A_2 es un factor depende del tamaño de la muestra (Apéndice D)

Gráfico de Rango:

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{K} \quad (23)$$

R_i = Rango en cada subgrupo

K = Número de subgrupos

$$LC = \bar{R} \quad (24)$$

$$LCS = D_4 * \bar{R} \quad (25)$$

$$LCI = D_3 * \bar{R} \quad (26)$$

D_3 y D_4 , factores que depende del tamaño de la muestra (Apéndice D).

Frecuencia Baja: Los datos son generados con una frecuencia semanal, mensual o anual. Para esta frecuencia se utilizan los gráficos de \bar{X} y \bar{R}_m (Rango Móvil), ya que el tamaño de cada subgrupo siempre es 2. ⁽¹⁵⁾

Gráfico de Individuos:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{K} \quad (27)$$

X_i = Valor de cada dato

K = Número de lecturas individuales

$$LC = \bar{X} \quad (28)$$

$$LCS = \bar{X} + 1.773 \bar{R}_m \quad (29)$$

$$LCI = \bar{X} - 1.773 \bar{R}_m \quad (30)$$

Gráfico de Rango Móvil:

$$\bar{R}_m = \frac{\sum R_i}{(K - 1)} \quad (31)$$

R_i = Diferencia entre dos datos Consecutivos (Lectura Mayor - Lectura Menor)

K = Número de lecturas individuales

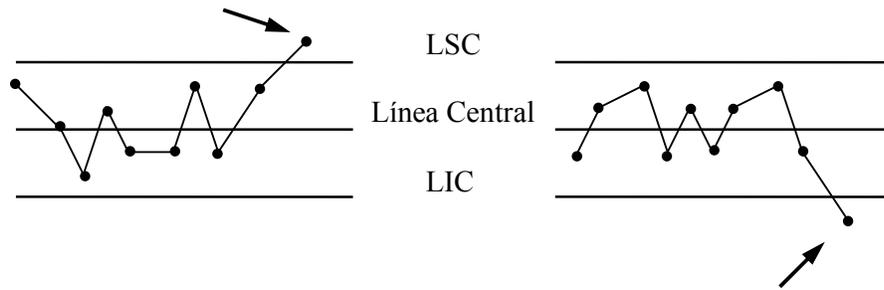
$$LCS = 3.27 \bar{R}_m \quad (32)$$

$$LCI = 0 \quad (33)$$

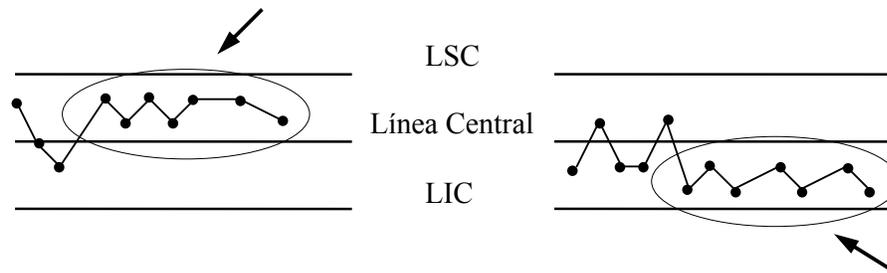
$$LC = \bar{R}_m \quad (34)$$

Una vez elaboradas las gráficas \bar{R} o \bar{R}_m es necesario evaluar si el proceso es consistente; para ello se deben verificar las siguientes reglas:

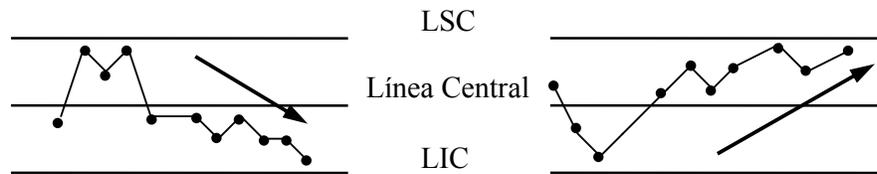
- ✓ Ningún punto fuera de los límites de control.



- ✓ No debe existir siete (7) o más valores consecutivos por encima o por debajo de la media.



- ✓ No deben existir patrones o tendencias definidas



Si del análisis de la variabilidad resulta que el proceso no es consistente, se deben estudiar las causas especiales y tomar acciones, entre las que se encuentran descartar los valores que no se corresponden con el resto de los datos así como también aquellos que violen las reglas antes mencionadas. Si del análisis de la variabilidad resulta que el proceso es consistente, entonces se procede a utilizar aquellos valores que satisfacen el control estadístico. También es posible ser más riguroso y se pueden realizar otros cálculos estadísticos que permitan estar más seguros de la solución, pero en el caso de estudio en particular estos procedimientos anexos no hacen falta.⁽¹⁵⁾

5. METODOLOGÍA

Para realizar la evaluación del modelo de mezcla y predicción de calidades de gasolinas, destinadas tanto al mercado nacional como al de exportación formuladas en la refinería de Amuay, se hizo necesario establecer un orden de prioridades que permitió llevar a cabo un desarrollo sistemático de la actividad y la obtención de mejores resultados. El presente marco metodológico se estructuró en fases o etapas para facilitar la comprensión del mismo. A continuación se describe la metodología a seguir para llevar a cabo cada una de estas etapas y obtener los resultados deseados:

5.1 Investigación Documental y Asesoría Técnica

La importancia de esta primera fase radicó fundamentalmente en que facilitó la comprensión de la magnitud del problema. Además, permitió sentar las bases teóricas importantes e indispensables para llevar a cabo este proyecto. Consta de revisión bibliográfica (libros, manuales, documentos afines, entre otros) y asesoría a cargo de personal calificado de la refinería (Ingenieros de Proceso, Ingenieros de Programación y Suministro, Técnicos y Operadores) sobre tópicos indispensables para llevar a cabo el objetivo planteado, entre los que se encuentran:

- ✓ Proceso de mezclado de gasolinas.
- ✓ Modelos de mezcla de gasolinas.
- ✓ Programación Lineal.
- ✓ Fundamentos Básicos del PIMS.
- ✓ Análisis de regresión múltiple.
- ✓ Método de los mínimos cuadrados.
- ✓ Control estadístico de procesos.
- ✓ Fundamentos básicos de MATLAB y Visual Basic.

Para comprender el proceso de mezclado de gasolinas y las variables más importantes que lo afectan, así como también las características de los componentes utilizados en las mezclas y los tipos de gasolinas formuladas en la refinería de Amuay, se utilizaron manuales pertenecientes al CRP-Amuay, entre los que destacan:

- ✓ Manual de Naftas y Gasolinas de la Refinería de Amuay.
- ✓ Manual de operaciones del mezclador de gasolinas.
- ✓ Guía de Especificaciones de Calidad de Productos LAGOVEN.
- ✓ Libros de Texto sobre la refinación del petróleo (James Gary).

Para el estudio del modelo de mezcla usado en la refinería de Amuay a la hora de predecir la calidad de las gasolinas producto, se estudiaron tanto el PIMS como la “hoja de mezclas”, haciendo uso de:

- ✓ Manual del usuario de PIMS versión 7.
- ✓ Asesoría a cargo de los programadores en cuanto al uso de PIMS y de la hoja de mezclas.

Para asegurar la comprensión final de la hoja de mezclas y facilitar la familiarización con la misma, ésta se usó con datos reales bajo la asesoría del ingeniero dedicado a hacerlo diariamente en la refinería.

El estudio de las técnicas de control estadístico de procesos usadas comúnmente en la refinería de Amuay se realizó a través de la revisión de documentos como:

- ✓ Procedimientos estadísticos empleados en el CRP.
- ✓ Análisis estadístico de indicadores CRP.
- ✓ Páginas de Internet relacionadas.

Para el estudio del resto de los fundamentos teóricos antes mencionados se utilizaron entre otros: libros, tutoriales y manuales especializados. La siguiente tabla muestra los principales tipos de fuentes que aplicaron sobre cada uno de los tópicos.

Tabla 5.1 Fuentes consultadas.

| Tema | Principal Fuente Consultada |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Programación Lineal | Páginas de Internet relacionadas, Documentos UCV (Representación de mezclas de gasolina en un modelo lineal). |
| Análisis de regresión múltiple | Libros, Documentos técnicos PDVSA (Regalías El Palito). |
| Método de los mínimos cuadrados | Documentos técnicos del CRP y Libros que tratan el tema (Luyben). |
| Fundamentos básicos de MATLAB y Visual Basic | Guías de usuario MATLAB y Visual Basic, respectivamente. |

5.2 Recopilación y Manejo de Datos

Para evaluar los modelos de predicción de calidades existentes en la refinería de Amuay, introducir mejoras en los mismos y formular nuevos modelos, fue necesario recoger datos históricos que representaran durante el tiempo el fenómeno a estudiar. Para ello se realizó una selección de los tipos de gasolina a estudiar. Generalmente, las gasolinas que se elaboran todos los meses en la refinería de Amuay son: la gasolina mercado local popular (LV-22), la gasolina mercado local óptima (LV-23) y dependiendo de la estación del año en los Estados Unidos la gasolina reformulada con calidad invierno (L-154I) o verano (L-154V), por lo que fueron éstos los tipos de gasolina seleccionados para posteriormente elaborar los modelos. Se recopilaron 127 mezclas de LV-22, 147 mezclas de LV-23, 36 mezclas de L-154I y 47 mezclas de L-154V correspondientes período Enero 2000-Agosto 2001.

Dependiendo de las propiedades y normas de calidad más estrictas que deben cumplirse para satisfacer al mercado consumidor de las gasolinas

seleccionadas, se escogieron como variables críticas y necesarias para elaborar los nuevos modelos las siguientes:

Gasolinas mercado local:

RVP, RON, MON, aromáticos, olefinas, curva de destilación (T10, T50, T90 y FBP).

Gasolinas reformuladas de exportación:

RVP, RON, MON, oxígeno, azufre, olefinas, aromáticos, benceno, curva de destilación.

Los datos recolectados para generar los nuevos modelos de predicción de estas calidades en las gasolinas seleccionadas estuvieron conformados por:

- ✓ Calidades seleccionadas de los componentes.
- ✓ Volúmenes de los componentes usados en cada mezcla.
- ✓ Índices de mezcla contenidos en la hoja de mezcla.
- ✓ Calidades finales de la gasolina elaborada.

Para obtener los datos de las calidades de cada uno de los componentes que al ser mezclados afectan la calidad final de la gasolina elaborada se utilizó un programa interno del CRP-Amuay, llamado Silaclie. Dicho programa es capaz de reportar la gran mayoría de los análisis realizados en el laboratorio de la refinería de Amuay durante los últimos dos años. Cabe destacar que para la mayoría de los componentes de la gasolina el laboratorio sólo hace un análisis mensual, por lo que se asumió la calidad constante durante todo el mes. Para aquellos componentes que son muestreados con mayor frecuencia durante el mes se halló el promedio mensual y éste valor es el que fue reportado en el histórico de calidad.

La base de datos del Silaclie se actualiza periódicamente, esto quiere decir que cada vez que el laboratorio realiza un nuevo análisis los valores comienzan a ser reportados por el Silaclie. Para el presente proyecto se consideró conveniente trabajar con los datos correspondientes a los años 2000 y 2001.

Al usar el Silaclie se colocó un código correspondiente a cada componente y se seleccionaron las fechas dentro de las cuales se requerían los análisis (generalmente un mes completo). El programa reportaba los resultados de los análisis, éstos fueron tomados y llevados al histórico de calidad de cada componente, a continuación se presenta una tabla donde se encuentran los nombres de los componentes que eran objeto de análisis de laboratorio con el respectivo código a utilizar en Silaclie.

Tabla 5.2 Códigos Silaclie.

| Componentes | Código Silaclie |
|------------------------------|------------------------|
| Alquilato | ALX797 |
| Butano | T-COMP/BUT |
| Nafta catalítica pesada | DCX634 |
| Nafta catalítica liviana | DCX635 |
| Nafta virgen pesada | L062 |
| Nafta virgen liviana | L033 |
| TAME | TMX417 |
| MTBE | T-COMP/MTBE |
| Reformado | T-COMP/REF |
| Nafta liviana del flexicoker | FKX396 |

A continuación se muestran un par de figuras que ejemplifican el uso del Silaclie, en la pantalla de interacción del programa (Figura 5.1) se insertaron el código del componente y las fechas para las cuales se requieren los análisis. Luego el programa se ejecuta busca en la base de datos del laboratorio de la refinería de Amuay y reporta en una hoja de Excel los resultados (Figura 5.2).

Figura 5.1 Silacie datos.

| Muestra: | | T-COMP/MTBE |
|------------------------|-----------|--------------|
| Descripcion: | Unidades | BMES DE NOV1 |
| ANALISIS | | |
| GRAV. API 15.9C (60F) | GRAD API | 58 |
| PRESION DE VAPOR Reid | LEI/PULG2 | 8,12 |
| PTO INICIAL EBULLICION | GRAD F | 124,2 |
| 10% RECUPERADO | GRAD F | 127,9 |
| 50% RECUPERADO | GRAD F | 130,9 |
| 90% RECUPERADO | GRAD F | 133,4 |
| PTO FINAL EBULLICION | GRAD F | 150,2 |
| NO. OCTANO RESEARCHRON | OCTANO | 133,6 |
| NO. OCTANO MOTOR MON | OCTANO | 126 |

Figura 5.2 Silacie resultados.

Existen componentes como el HDS y algunas calidades de otros componentes importantes a la hora de generar los modelos, que no reciben análisis por parte del laboratorio bien sea por considerar que no varían significativamente en el tiempo o por la dificultad y costo de los análisis y su poca relevancia en relación a otros análisis en la refinería. La siguiente tabla muestra los parámetros de calidad que no son analizados constantemente en cada componente.

Tabla 5.3 Calidades que no reciben análisis de laboratorio.

| Componentes | Calidades no analizadas |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Alquilato | Oxígeno, azufre, olefinas, aromáticos, benceno. |
| Butano | RON, MON, oxígeno, azufre, olefinas, aromáticos, benceno, T10, T50, T90, FBP, RVP. |
| Nafta catalítica pesada | Oxígeno, benceno. |
| Nafta catalítica liviana | Oxígeno, benceno. |
| Nafta virgen pesada | Oxígeno, benceno. |
| Nafta virgen liviana | Oxígeno, benceno. |
| TAME | Benceno, azufre, olefinas, aromáticos, T10, T50, T90, FBP. |
| MTBE | Oxígeno, benceno. |
| Reformado | Oxígeno. |
| Nafta liviana del flexicoker | RON, oxígeno, azufre, olefinas, aromáticos, benceno. |
| Nafta pesada craqueada HDS | RON, MON, RVP, oxígeno, azufre, olefinas, aromáticos, benceno, T10, T50, T90, FBP. |

En virtud de la negativa del laboratorio de la refinería de Amuay de realizar estos análisis adicionales, para poder generar los modelos con las calidades antes mencionadas, se tomaron los índices de mezcla usados por los ingenieros de programación. Éstos corresponden a los valores de calidad teóricos y constantes mes a mes que se encuentran en las tablas de datos de calidades de componentes en la hoja de mezclas.

El resto de las calidades de los componentes reportados por el Silaclie y llevadas al histórico se compararon con los índices de mezcla (hoja de mezclas) que fueron usados por el programador para predecir la calidad de las gasolinas con el objeto de descartar o determinar si existían errores considerables por altas

desviaciones entre la propiedad de los componentes y los índices de mezcla con los cuales trabajó el programador.

Los valores correspondientes a las calidades finales de las gasolinas evaluadas se hallaron en los archivos de los ingenieros de programación, los cuales han guardado los reportes que el laboratorio les ha enviado en los últimos tres años. Dichos datos se llevaron al histórico de calidad y se organizaron junto con los coeficientes de aporte de cada componente para su posterior uso.

Los volúmenes de cada componente usados en las mezclas de gasolina se obtuvieron a partir de hojas de resúmenes de mezclas de gasolina, las cuales son hojas de Excel que el programador elabora mensualmente a partir de los balances de masa al sistema de mezclado de gasolinas y los resultados de los análisis de laboratorio a las gasolinas elaboradas.

Es importante reconocer que la calidad final de la gasolina varía dependiendo de las cantidades y calidades de los componentes que la conforman, valores que a su vez no son constantes. Por lo tanto, se determinaron los factores de aporte de cada componente en la calidad final de las mezclas de las gasolinas seleccionadas durante el periodo estipulado. Esto se hizo multiplicando el porcentaje en volumen de cada componente en cada mezcla (años 200-2001) por la calidad que le correspondía en el histórico de calidad o los índices de mezcla según sea el caso. Se obtuvieron alrededor de 11430 factores de aporte de los componentes a las calidades seleccionadas en la gasolina LV-22, 13230 correspondientes a la LV-23, 4752 a la L-154I y 7204 a la L-154V, lo que necesitó de alrededor de 80 horas hombre (h/H). Toda esta serie de factores obtenidos fueron almacenados en hojas de cálculo de Excel para su posterior uso.

Para simplificar los cálculos es conveniente realizar descartes de mezclas, utilizando los resúmenes elaborados por los jefes de guardia y luego generar los modelos a partir de la nueva base de datos depurada. En el caso del presente trabajo, se invirtió este orden del procedimiento, lo que conllevó a realizar un

mayor número de cálculos y a invertir más tiempo del necesario en esta fase del marco metodológico.

Para generar los nuevos modelos los factores de aporte calculados fueron depurados con el objeto de minimizar los errores y evitar el uso de mezclas erróneas y/o atípicas, como se contaba con una población considerable de datos las muestras seleccionadas para generar los modelos debían ser las que mejor representaran y permitieran modelar el fenómeno. El proceso de depuración utilizado, se dividió en descarte primario y luego aplicación de técnicas de control estadístico de procesos (CEP).

Descarte Primario:

1. Se eliminaron las mezclas realizadas con talones en los tanques que contenían un volumen mayor al 15 % del volumen total de la mezcla.
2. Se descartaron las mezclas que fueron corregidas después de haber finalizado.
3. Se descartan las mezclas en las cuales cualquier calidad toma una tendencia durante el proceso de mezclado y al final de la mezcla el resultado es totalmente contrario al esperado.
4. En el caso de las gasolinas reformuladas destinadas a la exportación se descartan las primeras mezclas de cada estación climática.

CEP:

5. Los factores de aporte de las mezclas restantes fueron objeto de análisis estadísticos sencillos. Tomando en cuenta la frecuencia bajo la cual se generaron los datos evaluados (baja) se aplicaron el gráfico de individuos y el gráfico de rango móvil para cada una de las calidades de las gasolinas LV-22, LV-23, L-154I y L-154V. Se obtuvieron en total 42 gráficos, luego de elaborarlos se procedió a evaluar la consistencia de los datos siguiendo las premisas que se encuentran en la revisión bibliográfica del presente documento.

6. Si para ambos gráficos se satisfacen las premisas de CEP, la base de datos es consistente. En los casos donde del estudio de los gráficos los datos resultaron inconsistentes se ameritó la eliminación de algunas mezclas de la base de datos original. Éste proceso llevo alrededor de 160 h/H, luego de descartar las mezclas necesarias se volvieron a elaborar los gráficos antes mencionados y se comprobó de nuevo la consistencia de los datos.

Este procedimiento se repitió para cada una de las calidades estudiadas de los cuatro tipos de gasolinas seleccionadas una y otra vez hasta obtener estadísticamente una base de datos consistente.

5.3 Formulación de nuevos modelos

Esta es la parte más importante del presente trabajo. Con los datos recolectados y depurados, se propuso un modelo para cada tipo de gasolina producto seleccionada. Primero se utilizó un programa elaborado por el departamento de control de la refinería de Amuay, el cual aplica un método lineal como el de los mínimos cuadrados (PLS) y luego se utilizó una hoja de Excel programada en Visual Basic que se llamó ARM, la cual se elaboró en conjunto con los ingenieros de programación de la refinería de Amuay.

5.3.1 Modelos PLS

Para aplicar PLS se utilizó el programa antes mencionado, dicho programa trabaja bajo ambiente MATLAB. A continuación se describen de una forma muy general los pasos seguidos para aplicar dicho programa:

Los datos conformados por los coeficientes de aporte (volumen por calidad) a cada propiedad de los distintos componentes en las mezclas realizadas para los años 2000-2001 y los valores de calidad finales de las gasolinas fueron

llevados a documentos de tipo texto, en los cuales se organizó la información de manera que ésta pudiera ser leída por el programa. Una vez en el programa dependiendo del tipo de gasolina se declararon las variables que afectaban la calidad final, es decir, las variables correspondientes a los componentes de la gasolina cuyos coeficientes de aporte no sean cero en al menos una mezcla.

Se ejecutó el programa y se variaron los datos siguiendo las recomendaciones del procedimiento mostrado en la sección 6.16 por alrededor de 160 h/H hasta que se obtuvieron los modelos que con una muestra de datos lo suficientemente representativa (mínimo 15 mezclas) reportaron como resultado un ajuste de mínimos cuadrados cuyo R^2 excedía el 75%. Al llegar a este punto se ha encontrado la relación lineal que mejor representa el fenómeno. De acabar las posibles combinaciones de mezclas usadas como datos y no hallar el R^2 deseado se tomaba la combinación de mezclas con la cual el R^2 era mayor. Luego de obtener esta buena relación entre el fenómeno que realmente ocurre en el proceso de mezclado y el modelo lineal reportado por el PLS se procedió a interpretar los resultados gráficos que reporta el programa para escoger los resultados numéricos adecuados, en la figura 5.3 se muestra el programa PLS después de ser ejecutado:

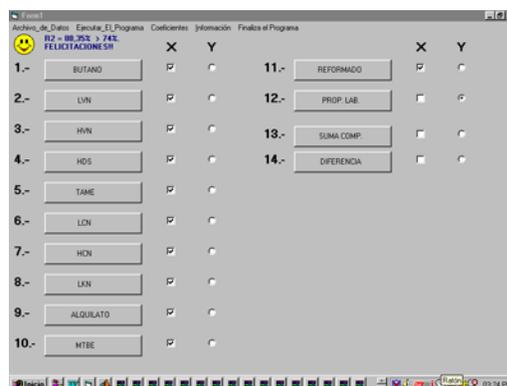


Figura 5.3 Programa PLS.

Los resultados numéricos obtenidos después de aplicar el programa fueron los coeficientes (a,b,c,d,...) que también fueron llamados índices de mezcla (son

valores constantes que permiten predecir la calidad final) y el valor escalar (Bias) que permite solventar las diferencias entre el modelo y la realidad.

Para cada calidad estudiada de los tipos de gasolina seleccionados se halló una ecuación similar a la 17, para el caso del octanaje RON y MON de las gasolinas mercado local (LV-22 y LV-23) se utilizó como variable adicional la dosificación en g/lt de tetraetilo de plomo (TEL) en las mezclas, ya que el octanaje es el único parámetro de calidad que depende de la concentración de TEL además de la cantidad y calidad de los componentes.

Es por esto que en los modelos de RON y MON para las gasolinas LV-22 y LV-23 el programa PLS reporta un coeficiente que depende de la concentración del TEL. En la Figura 5.4 se muestran los coeficientes resultantes de aplicar el programa PLS.

| | Factor #1 | Factor #2 | Factor #3 | Factor #4 | Factor #5 | Factor #6 | Factor #7 | Factor #8 | Factor #9 | Factor #10 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| BUTANO | 0.2616 | 0.3414 | 0.3932 | 0.4721 | 0.5066 | 0.5903 | 0.5709 | 0.5941 | 0.6249 | 0.6039 |
| LVN | 0.0764 | 0.0952 | 0.1021 | 0.2025 | 0.2241 | 0.1963 | 0.2513 | 0.2772 | 0.5309 | 0.0801 |
| MON | 0.5953 | 0.6918 | 0.6729 | 0.5793 | 0.6526 | 0.2629 | 0.1626 | 0.0946 | 0.9411 | 0.1403 |
| HDS | 0.2644 | 0.0161 | -0.0002 | 0.2069 | 0.1764 | 0.0664 | 0.0995 | -0.1103 | 0.0602 | 1.2402 |
| THME | 0.1172 | 0.2224 | 0.1569 | 0.0142 | -0.0527 | 0.113 | -0.2176 | -0.1766 | 0.9366 | 1.5736 |
| LVN | 0.1073 | -0.0932 | -0.0490 | 0.0147 | 0.0144 | 0.0090 | 0.1254 | 0.1464 | 0.9150 | 1.2749 |
| MON | 0.1019 | 0.1196 | 0.0402 | 0.0799 | -0.0023 | -0.02 | 0.0445 | 0.1094 | 0.5329 | 1.5229 |
| LVN | -0.2199 | -0.2407 | -0.3071 | -0.1626 | -0.0994 | 0.0439 | 0.1954 | 0.2069 | 0.3029 | 0.4979 |
| ALQUILATC | 0.1406 | 0.0194 | -0.0146 | 0.0312 | -0.0426 | -0.07 | -0.0614 | 0.0025 | 0.6822 | 1.0017 |
| MTBE | -0.0204 | -0.1709 | -0.1794 | 0.1783 | 0.142 | 0.0793 | 0.0209 | 0.0119 | 0.5244 | 0.6206 |
| PERFORMAN | -0.1012 | -0.1042 | -0.1144 | 0.0712 | 0.1276 | 0.0952 | -0.0807 | -0.0201 | 0.0857 | 1.0047 |
| BIAS | 10.7447 | 10.2279 | 9.790 | 9.9592 | 9.7918 | 9.3762 | 7.9877 | 7.8113 | 5.0027 | 6.6402 |

Figura 5.4 Coeficientes de los modelos.

Del estudio de los resultados se conoció para cada tipo de gasolina qué propiedad es más sensible a cada componente, esto posteriormente permitió actualizar de manera apropiada y a tiempo los datos de calidad y por ende los factores de aporte de los componentes que hacen más sensible a la calidad final de la gasolina.

5.3.2 Modelos ARM

Además de generar los modelos a partir del programa PLS, se elaboró una hoja de Excel programada en Visual Basic que se llamó ARM (siglas de análisis de regresión múltiple), en dicha hoja los ingenieros de programación de la refinería Amuay programaron algoritmos que permiten obtener los índices de mezcla y bias de modelos lineales utilizando los mismos fundamentos que los ingenieros del departamento de control de procesos de la refinería usaron para crear el programa PLS.

Además, a partir de cambios de variables y una serie de ecuaciones matemáticas programaron algoritmos que permiten obtener los índices de mezcla y bias de modelos exponenciales, logarítmicos y potenciales. Aunado a los índices de mezclas y bias de los modelos con las formas matemáticas antes mencionadas que se pueden obtener usando ARM también se obtienen algunos parámetros estadísticos dentro de los que destacan la desviación estándar y el R^2 que de una u otra manera permiten seleccionar el modelo más apropiado. En la refinería de Amuay consideraron que estos algoritmos además de ser muy complicados son confidenciales, por lo que no se posee información de estos.

Solo se colaboró en la elaboración de la hoja de Excel ARM, dándole formato sencillo y lógico de uso, se agregaron las fórmulas matemáticas a usar para determinar la calidad final de las gasolinas dependiendo de los modelos seleccionados. Así como también se uso el compilador de Visual Basic para programar funciones sencillas que permitieron poner en marcha el programa, como la elaboración de macros para crear botones de cálculo que permiten generar los modelos lineales solamente o todos los modelos a la vez, macros para botones que permiten limpiar ARM de los datos anteriores y botones para limpiar ARM de los resultados anteriores, ésta parte del proyecto tuvo una duración de alrededor de 40 h/H.

Al igual que con el programa PLS se declararon los datos siguiendo las recomendaciones enunciadas en la sección 6.17. Para usar el programa ARM se copiaba directamente del histórico de calidad los datos de los coeficientes de aporte de los componentes a la sección de variables independientes de ARM y la calidad final de la gasolina a la columna de variable dependiente de ARM, luego se utilizaba el botón generar modelo lineal o el botón generar todos los modelos, y en la parte superior de la hoja se reportaban los resultados, de aquí se tomaban los índices de mezcla y se utilizaba la ecuación lineal que se encontraba en la sección de ecuaciones de los modelos, que es la misma que en PLS.

Sí se quería volver a correr ARM, bien sea para otra serie de mezclas y el mismo parámetro de calidad final de la gasolina o para generar modelos de otro parámetro de calidad se usaba los botones de limpiar datos y limpiar resultados y la hoja ARM quedaba lista para volver a ser usada, la fase de elaboración de los modelos utilizando el programa ARM necesitó de alrededor de 120 h/H para su ejecución.

5.4 Validación de los Modelos Obtenidos

Se validaron los modelos obtenidos al aplicar el programa PLS y sólo los modelos lineales obtenidos al usar la hoja ARM. Para hacerlo se usó el programa Excel, en donde se organizaron en tablas los índices de mezcla y bias, se determinó el valor de la calidad final usando los coeficientes antes mencionados y los factores de aporte de cada componente aplicando la ecuación de modelo lineal. Este valor de calidad estimada fue comparado con el valor de calidad real obtenido por análisis de laboratorio, se determinó el porcentaje de desviación entre ambos valores así como también la confiabilidad de los modelos propuestos.

Los modelos se validaron usando las 127 mezclas de LV-22, las 147 de LV-23, las 36 de L-154I y las 47 de L-154V. Tomando en cuenta el total de las mezclas y las calidades de las gasolinas en cada una de ellas, para cada uno de los

nuevos modelos (PLS y ARM) se validaron alrededor de 1143 valores en la gasolina LV-22, 1323 en la LV-22, 432 en la L-154I y 564 valores en la L-154V.

Para poder comparar los nuevos modelos con los anteriores se usó también la hoja de mezclas para hallar la calidad final de las gasolinas. Estos valores de calidad fueron llevados a Excel y comparados con los valores reales obteniéndose también el porcentaje de desviación y la confiabilidad de los modelos anteriores, la fase de validación y comparación de los modelos necesitó alrededor de 80 h/H para su ejecución.

Luego de comparar los modelos anteriores con los obtenidos a partir del uso del programa PLS y los modelos lineales producto de ARM se seleccionaron aquellos cuyo porcentaje de desviación con respecto a los valores reales fuese menor y por ende reportaran mayor confiabilidad. Si las mejoras obtenidas entre los modelos propuestos y los anteriores no llegan a superar al menos el 5 % de confiabilidad, se continuarán utilizando los modelos anteriores.

Con la finalidad de automatizar el proceso de validación de los modelos y determinación de la calidad final de un tipo de gasolina para determinada receta después de comparar los modelos propuestos con los anteriores, se elaboró una nueva hoja de mezclas de gasolinas en Excel mucho más sencilla de usar, en la cual se organizaron en tablas los índices de mezcla y bias de los modelos que resultaron más confiables, y los valores de calidad que durante el mes en curso poseen los componentes, la elaboración de esta nueva herramienta se llevo a cabo en unas 40 h/H.

En la nueva hoja de mezclas se colocó una tabla para introducir la cantidad de cada componente en la mezcla en unidades de volumen y otra tabla donde se puede colocar la cantidad de los componentes de la mezcla en porcentaje en volumen, para el caso de RON y MON de gasolinas destinadas al mercado local se debe colocar la cantidad de TEL en g/lit en cualquiera de las dos tablas. Luego de colocar como datos la receta de la mezcla, la hoja de mezcla reporta como

resultados en otra tabla los valores de calidad estimados con sus respectivas unidades dimensionales.

Adicionalmente, la nueva hoja de mezclas posee una tabla que al introducir la receta permite obtener los factores de aporte para ser llevados al histórico de calidad y posteriormente ser usados a la hora de actualizar los modelos. También posee tablas donde al colocar la información de valores reales y estimados de calidad final se determina la confiabilidad de los modelos y según el criterio del usuario en que momento se deben actualizar los mismos.

La nueva hoja de mezclas se utilizó en mezclas con datos reales y en vivo durante el mes de septiembre del 2001 al mismo tiempo que el ingeniero de programación trabajaba con los modelos y hoja de mezclas anteriores, esto permitió continuar comparando los resultados obtenidos con los reales.

5.5 Elaboración de Informes y Manuales

Por último se elaboraron los informes académico e industrial, con el objeto de dejar plasmado en ellos las informaciones más importantes y representativas del proyecto, para que sean de posterior utilidad. Además, se elaboró un manual que servirá de guía para los ingenieros encargados de predecir las calidades de cada una de las mezclas a realizar en la refinería de Amuay, dicho manual contiene detalladamente los pasos a seguir para correr el programa PLS y la hoja de Excel ARM, a su vez explica la manera de actualizar los datos en ambos métodos y es útil para evitar cualquier tipo de error, por último se elaboró un documento que posee la descripción y los pasos a seguir para el uso y la manera de obtener los mayores beneficios de la nueva hoja de mezclas.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se evaluó y mejoró el sistema de mezclas y predicción de las calidades de las gasolinas producidas en la refinería de Amuay siguiendo la metodología descrita en el capítulo anterior. A continuación se presentan los resultados más importantes y sus respectivos análisis que se obtuvieron luego de llevar a cabo dicha actividad.

6.1 Calidades de los componentes de las gasolinas durante el período 2000-2001 (Histórico de Calidad)

A continuación se presentan los valores de calidad, obtenidos de promediar los resultados que el laboratorio de la refinería de Amuay obtuvo al realizar análisis a los tanques de componentes durante los años 2000 y 2001. Estos valores están organizados en tablas por componentes y las tablas se encuentran divididas por año.

Tabla 6.1.a Calidades Alquilato año 2000.

| ALQUILATO (2000) | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| RVP | Psi | 4,6 | 5,4 | 5,1 | 5,5 | 4,4 | 4,8 | 4,4 | 5,2 | 4,6 | 4,7 | 4,7 | 4,5 |
| T10 | °F | 179 | 179 | 176 | 177 | 175 | 175 | 175 | 176 | 172 | 171 | 171 | 171 |
| T50 | °F | 216 | 216 | 218 | 217 | 217 | 217 | 217 | 218 | 216 | 217 | 215 | 218 |
| T90 | °F | 297 | 305 | 328 | 327 | 316 | 311 | 319 | 315 | 326 | 319 | 306 | 328 |
| FBP | °F | 402 | 418 | 430 | 420 | 420 | 416 | 420 | 427 | 422 | 426 | 417 | 425 |
| RON | Octs | 92,0 | 91,5 | 91,5 | 91,5 | 91,7 | 91,5 | 91,5 | 91,2 | 91,8 | 91,1 | 90,5 | 90,7 |
| MON | Octs | 90,4 | 90,5 | 89,4 | 90,5 | 89,9 | 89,9 | 89,7 | 89,6 | 90,1 | 90,2 | 89,5 | 89,9 |

Tabla 6.1.b Calidades Alquilato año 2001.

| ALQUILATO (2001) | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct |
| RVP | Psi | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,7 | 4,1 | 4,8 | 4,4 | 4,5 | 5,0 | 4,6 |
| T10 | °F | 172 | 168 | 172 | 170 | 172 | 171 | 169 | 170 | 173 | 173 |
| T50 | °F | 216 | 218 | 217 | 217 | 214 | 216 | 217 | 216 | 217 | 216 |
| T90 | °F | 310 | 330 | 317 | 326 | 304 | 316 | 326 | 325 | 336 | 325 |
| FBP | °F | 408 | 410 | 425 | 427 | 411 | 419 | 425 | 422 | 441 | 419 |
| RON | Octs | 90,5 | 90,7 | 91,6 | 90,9 | 90,9 | 91,3 | 90,8 | 90,8 | 90,4 | 90,5 |
| MON | Octs | 89,9 | 89,3 | 90,2 | 90,1 | 90,1 | 90,0 | 89,9 | 90,0 | 89,9 | 89,9 |

Al observar las calidades del Alquilato (tablas 6.1.a y 6.1.b) se aprecia que ninguna es constante durante el tiempo, ya que dependen de una serie de valores que a su vez no son constantes como factores operacionales y calidades de la carga al proceso de alquilación. Aunque los valores de calidad no son constantes, éstos varían muy poco. Si se toman el mínimo y el máximo de cada calidad reportadas en las tablas 6.1.a y 6.1.b se puede verificar como los porcentajes de variación representados por el rango de las calidades excepto el RVP son pequeños con respecto a la magnitud de la variable medida tomando valores siempre menores al 10 %, en el caso del RVP ésta variación supera el 30 %. Comparando los valores de RVP, RON y MON con las especificaciones reportadas en la tabla 4.1, se puede apreciar como para el período de estudio éstas calidades se encontraban ligeramente elevadas, esto se debe a la calidad del crudo que alimenta la unidad de alquilación.

Tabla 6.2.a Calidades HCN año 2000.

| HCN (2000) | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| RVP | Psi | | | 7,7 | 9,6 | 8,2 | 4,1 | 4,5 | 3,2 | 5,0 | 4,0 | 4,2 | 4,0 |
| T10 | °F | | | 122 | 118 | 118 | 259 | 248 | 297 | 271 | 261 | 264 | 246 |
| T50 | °F | | | 344 | 335 | 337 | 347 | 347 | 354 | 349 | 341 | 351 | 349 |
| T90 | °F | | | 403 | 404 | 400 | 405 | 405 | 408 | 405 | 399 | 405 | 406 |
| FBP | °F | | | 434 | 433 | 435 | 437 | 436 | 434 | 438 | 431 | 436 | 439 |
| RON | Octs | | | 91,0 | 91,1 | 90,7 | 88,5 | 89,2 | 89,5 | 89,1 | 89,3 | 89,4 | 89,2 |
| MON | Octs | | | 80,9 | 81,2 | 80,8 | 78,6 | 79,6 | 79,9 | 79,9 | 79,8 | 79,7 | 79,7 |
| ARO | % V | | | 30,2 | 29,7 | 26,5 | 46,7 | 47,8 | 46,6 | 41,7 | 43,9 | 47,0 | 45,2 |
| Olefinas | % V | | | 13,0 | 12,6 | 14,8 | 5,0 | 3,4 | 3,4 | 6,4 | 5,2 | 3,7 | 5,1 |
| Azufre | ppm | | | 959 | 769 | 776 | 900 | 683 | 714 | 937 | 962 | 875 | 839 |

Tabla 6.2.b Calidades HCN año 2001.

| HCN (2001) | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct |
| RVP | Psi | 3,7 | 5,1 | 5,9 | 5,7 | 8,2 | 6,8 | 6,2 | 6,3 | 6,5 | 5,1 |
| T10 | °F | 267 | 261 | 187 | 230 | 141 | 169 | 178 | 172 | 184 | 268 |
| T50 | °F | 353 | 345 | 332 | 342 | 344 | 337 | 334 | 345 | 349 | 350 |
| T90 | °F | 409 | 405 | 401 | 399 | 404 | 403 | 398 | 401 | 403 | 401 |
| FBP | °F | 439 | 439 | 435 | 431 | 435 | 433 | 429 | 429 | 433 | 432 |
| RON | Octs | 89,0 | 89,8 | 89,4 | 89,6 | 90,0 | 89,7 | 89,7 | 89,5 | 90,1 | 88,9 |
| MON | Octs | 79,4 | 79,5 | 79,8 | 80,2 | 81,6 | 79,9 | 79,9 | 80,4 | 80,6 | 80,0 |
| Aromáticos | % V | 50,3 | 48,4 | 43,7 | 44,6 | 39,6 | 41,0 | 41,4 | 38,5 | 41,1 | 47,6 |
| Olefinas | % V | 1,1 | 7,1 | 5,9 | 5,1 | 8,3 | 7,2 | 6,8 | 9,0 | 7,8 | 3,2 |
| Azufre | ppm | 703 | 762 | 662 | 586 | 585 | 572 | 442 | 617 | 775 | 684 |

Las tablas 6.2.a y 6.2.b corresponden a las calidades promedio mensuales del HCN, como se puede apreciar existen calidades muy sensibles a la calidad del crudo y condiciones de operación, entre éstas calidades están el contenido de Aromáticos, Olefinas y Azufre. Estos valores son distintos a los esperados teóricamente. Sin embargo, calidades como RVP, RON, MON presentan valores muy cercanos a los teóricos reportados en la tabla 4.1.

Calidades como Aromáticos, Olefinas y Azufre deben ser analizadas con mayor frecuencia, ya que varían considerablemente y estos cambios afectan directamente las calidades finales de las gasolinas que contengan HCN y la no actualización periódica de los datos originaría errores elevados en cualquier modelo de predicción de calidades.

Las siguientes dos tablas 6.3.a y 6.3.b corresponden a las calidades del HVN que son analizadas por el laboratorio para los años 2000 y 2001 respectivamente, como se aprecia las calidades reportadas no presentan ningún rango de variación considerable, en todos los casos el porcentaje de éste es inferior al 10 % de la magnitud de la variable. Calidades como Aromáticos, Olefinas y Azufre que en el caso del HCN requieren de constantes análisis para garantizar confiabilidad en cualquier modelo de predicción en este caso no

requieren tal rigurosidad. Los valores de calidad reportados en las tablas 6.3.a y 6.3.b se corresponden en su totalidad con lo esperado teóricamente.

Tabla 6.3.a Calidades HVN año 2000.

| HVN (2000) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| RVP | Psi | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 |
| T10 | °F | 211 | 214 | 213 | 212 | 212 | 215 | 215 | 214 | 215 | 215 | 216 | 218 |
| T50 | °F | 244 | 244 | 243 | 242 | 242 | 244 | 244 | 244 | 246 | 247 | 245 | 246 |
| T90 | °F | 292 | 291 | 290 | 287 | 290 | 290 | 292 | 290 | 291 | 295 | 290 | 293 |
| FBP | °F | 322 | 326 | 318 | 318 | 328 | 326 | 329 | 324 | 327 | 334 | 324 | 332 |
| RON | Octs | 55,1 | 55,2 | 55,1 | 54,9 | 55,6 | 55,5 | 54,3 | 54,9 | 54,7 | 54,4 | 54,8 | 53,8 |
| MON | Octs | 54,5 | 54,4 | 54,1 | 54,2 | 55,1 | 54,8 | 54,1 | 54,1 | 54,3 | 53,6 | 53,8 | 52,9 |
| ARO | % V | 11,8 | 13,3 | 12,3 | 12,3 | 12,1 | 12,1 | 12,0 | 12,5 | 13,1 | 12,5 | 12,1 | 12,7 |
| Olefinas | % V | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Azufre | ppm | 148 | 141 | 128 | 110 | 130 | 117 | 110 | 121 | 116 | 137 | 132 | 151 |

Tabla 6.3.b Calidades HVN año 2001.

| HVN (2001) | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct |
| RVP | Psi | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,7 | 1,1 | 1,6 | 1,1 | 1,4 | 1,6 | 2,0 |
| T10 | °F | 221 | 219 | 221 | 219 | 217 | 212 | 218 | 219 | 217 | 214 |
| T50 | °F | 251 | 248 | 248 | 247 | 244 | 244 | 245 | 247 | 246 | 245 |
| T90 | °F | 298 | 294 | 294 | 295 | 291 | 293 | 291 | 292 | 293 | 292 |
| FBP | °F | 334 | 328 | 330 | 332 | 328 | 330 | 293 | 327 | 329 | 330 |
| RON | Octs | 54,6 | 54,0 | 53,6 | 54,1 | 54,9 | 54,3 | 54,3 | 53,9 | 54,4 | 55,1 |
| MON | Octs | 54,0 | 54,0 | 53,5 | 52,2 | 53,7 | 53,8 | 52,6 | 53,4 | 54,2 | 54,1 |
| Aromáticos | % V | 12,9 | 12,9 | 12,9 | 12,8 | 12,4 | 12,3 | 12,4 | 12,8 | 13,0 | 12,4 |
| Olefinas | % V | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Azufre | ppm | 172 | 132 | 135 | 141 | 127 | 46 | 46 | 46 | 125 | 120 |

Las tablas 6.4.a y 6.4.b corresponden a las calidades del LCN para los años 2000 y 2001 respectivamente. La presencia de celdas sombreadas en la tabla 6.4.a se debe a que el laboratorio de la refinería de Amuay no realizó los análisis respectivos.

Tabla 6.4.a Calidades LCN año 2000.

| LCN (2000) | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| RVP | Psi | | | | 4,4 | 3,8 | 6,2 | 6,0 | 6,5 | 6,3 | 6,1 | 6,5 | 6,5 |
| T10 | °F | | | 169 | 172 | 184 | 146 | 155 | 153 | 153 | 165 | 148 | 151 |
| T50 | °F | | | 216 | 210 | 219 | 198 | 215 | 210 | 209 | 223 | 209 | 210 |
| T90 | °F | | | 291 | 283 | 290 | 264 | 297 | 285 | 282 | 296 | 280 | 278 |
| FBP | °F | | | 342 | 337 | 340 | 318 | 346 | 334 | 340 | 344 | 328 | 324 |
| RON | Octs | | | 88,9 | 88,7 | 88,5 | 89,3 | 89,1 | 89,8 | 89,2 | 89,4 | 89,3 | 88,6 |
| MON | Octs | | | 78,9 | 78,7 | 78,5 | 79,0 | 79,0 | 79,2 | 79,7 | 79,0 | 79,1 | 78,7 |
| ARO | % V | | | 20,0 | 18,0 | 21,6 | 15,0 | 16,8 | 16,1 | 15,5 | 15,7 | 15,6 | 15,6 |
| Olefinas | % V | | | 21,1 | 22,0 | 19,8 | 27,0 | 25,0 | 24,9 | 25,2 | 25,6 | 25,0 | 25,1 |
| Azufre | ppm | | | 531 | 362 | 386 | 480 | 239 | 212 | 322 | 419 | 294 | 300 |

Tabla 6.4.b Calidades LCN año 2001.

| LCN (2001) | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | |
| RVP | Psi | 7,5 | 7,0 | 6,0 | 6,1 | 5,1 | 6,1 | 6,0 | 5,9 | 5,9 | 6,9 | |
| T10 | °F | 137 | 142 | 157 | 153 | 165 | 153 | 155 | 157 | 157 | 148 | |
| T50 | °F | 197 | 203 | 210 | 206 | 217 | 216 | 217 | 216 | 219 | 213 | |
| T90 | °F | 275 | 274 | 279 | 278 | 289 | 306 | 293 | 291 | 296 | 296 | |
| FBP | °F | 324 | 320 | 328 | 330 | 341 | 345 | 342 | 338 | 346 | 347 | |
| RON | Octs | 88,5 | 89,3 | 87,9 | 88,0 | 87,1 | 86,9 | 86,9 | 88,3 | 89,5 | 89,3 | |
| MON | Octs | 79,0 | 79,0 | 78,5 | 79,0 | 78,0 | 78,3 | 80,1 | 79,1 | 78,7 | 79,3 | |
| Aromáticos | % V | 15,2 | 14,1 | 19,0 | 17,0 | 19,9 | 20,3 | 20,1 | 18,6 | 19,6 | 17,4 | |
| Olefinas | % V | 24,9 | 28,4 | 20,7 | 21,2 | 18,6 | 18,0 | 19,0 | 21,2 | 22,9 | 24,9 | |
| Azufre | ppm | 200 | 198 | 155 | 133 | 159 | 180 | 137 | 180 | 255 | 273 | |

Con respecto a la magnitud de los valores de calidad reportados en las tablas 6.4.a y 6.4.b todos a excepción del Azufre se corresponden con los valores teóricos esperados. El Azufre gran cantidad del tiempo se encuentra con valores muy elevados que superan por lo general en más de 100 ppm el valor teórico esperado de 180 ppm. Además la variación frecuente de esta calidad implica la necesidad de realizar análisis con mayor frecuencia a la que actualmente se lleva a cabo en la refinería de Amuay.

Las siguientes tablas 6.5.a y 6.5.b corresponden a las calidades del LKN durante el año 2000 y 2001 respectivamente, las celdas sombreadas indican que el laboratorio no realizó los respectivos análisis.

Tabla 6.5.a Calidades LKN año 2000.

| LKN (2000) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| RVP | Psi | 11,8 | 11,2 | 11,6 | 12,1 | 12,0 | 11,6 | 11,2 | 11,7 | 12,1 | 12,1 | 10,3 | 11,4 |
| T10 | °F | 112 | 116 | 114 | 113 | 114 | 117 | 116 | 115 | 108 | 111 | 113 | 118 |
| T50 | °F | 139 | 142 | 140 | 140 | 139 | 141 | 140 | 139 | 133 | 135 | 140 | 150 |
| T90 | °F | 187 | 194 | 191 | 189 | 186 | 189 | 187 | 186 | 178 | 178 | 190 | 219 |
| FBP | °F | 229 | 237 | 237 | 226 | 233 | 237 | 229 | 236 | 229 | 225 | 230 | 262 |
| MON | Octs | 75,8 | 75,9 | 75,7 | 75,2 | 75,7 | 75,5 | 75,1 | 75,3 | 74,2 | 76,3 | 75,7 | 75,1 |

Tabla 6.5.b Calidades LKN año 2001.

| LKN (2001) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | |
| RVP | Psi | 12,7 | 13,0 | 12,4 | 12,1 | 11,6 | 13,4 | 12,3 | 11,9 | 12,1 | 12,3 | |
| T10 | °F | 112 | 110 | 111 | 113 | 113 | 113 | 114 | 111 | 114 | 127 | |
| T50 | °F | 139 | 139 | 140 | 140 | 143 | 145 | 142 | 141 | 145 | 149 | |
| T90 | °F | 188 | 189 | 187 | 189 | 194 | 199 | 192 | 193 | 200 | 202 | |
| FBP | °F | 228 | 237 | 229 | 232 | 235 | 247 | 240 | 243 | 248 | 245 | |
| RON | Octs | | | | | | | | 88,6 | | | |
| MON | Octs | 75,4 | 75,8 | 75,3 | 75,3 | 75,1 | 74,5 | 74,6 | 75,7 | 74,8 | 74,9 | |

Como se puede apreciar los valores de calidad presentes en las tablas anteriores no varían considerablemente como para necesitar análisis de laboratorio más frecuentes al componente. Teóricamente (tabla 4.1) los valores de calidad se corresponden con los reportados en las tablas 6.5.a y 6.5.b.

A continuación se presentan las tablas 6.6.a y 6.6.b, las cuales corresponden a las calidades del LVN durante el año 2000 y 2001 respectivamente, al igual que en las tablas anteriores las celdas sombreadas indican que el laboratorio no realizó los respectivos análisis.

Tabla 6.6.a Calidades LVN año 2000.

| LVN (2000) | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| RVP | Psi | 11,3 | 11,2 | 11,0 | 11,4 | 11,6 | 11,3 | | 9,5 | 11,0 | 10,3 | 9,6 | 10,2 |
| T10 | °F | 113 | 114 | 113 | 113 | 112 | 114 | | 122 | 128 | 119 | | |
| T50 | °F | 134 | 133 | 135 | 135 | 134 | 136 | | 143 | 149 | 137 | | |
| T90 | °F | 202 | 190 | 198 | 197 | 194 | 193 | | 183 | 203 | 191 | | |
| FBP | °F | 231 | 242 | 244 | 250 | 247 | 253 | | 241 | 264 | 239 | | |
| RON | Octs | 70,0 | 69,6 | 70,1 | 70,5 | 70,8 | 71,0 | | 68,0 | 69,9 | 69,2 | 67,6 | 68,0 |
| MON | Octs | 68,8 | 67,5 | 67,9 | 68,2 | 68,4 | 70,9 | | 67,0 | 67,4 | 66,3 | 65,2 | 66,5 |
| ARO | % V | 1,8 | 3,0 | 3,1 | 3,0 | 3,0 | 2,9 | | 3,2 | 3,1 | 2,8 | 3,6 | 2,8 |
| Olefinas | % V | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| Azufre | ppm | 45 | 23 | 25 | 19 | 17 | 26 | | 20 | 25 | 22 | 24 | 20 |

Tabla 6.6.b Calidades LVN año 2001.

| LVN (2001) | | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct |
| RVP | Psi | 11,4 | | 10,5 | 5,8 | 11,0 | 10,8 | 10,2 | 11,0 | 11,5 | 10,9 |
| T10 | °F | 119 | | 122 | 117 | 115 | 116 | 118 | 117 | 112 | 47 |
| T50 | °F | 138 | | 142 | 133 | 135 | 135 | 137 | 135 | 138 | 58 |
| T90 | °F | 185 | | 197 | 176 | 182 | 181 | 186 | 183 | 228 | 89 |
| FBP | °F | 231 | | 243 | 231 | 226 | 232 | 262 | 249 | 386 | 122 |
| RON | Octs | 68,2 | | 69,3 | 70,0 | 69,9 | 69,9 | 69,4 | 68,7 | 69,2 | 69,0 |
| MON | Octs | 66,8 | | 66,8 | 67,5 | 67,4 | 67,2 | 66,6 | 66,0 | 66,4 | 67,2 |
| Aromáticos | % V | 2,8 | | | 2,4 | 2,0 | 0,7 | 1,3 | 2,1 | | 0,9 |
| Olefinas | % V | 0,0 | | | 2,4 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | | 0,5 |
| Azufre | ppm | 19 | | | 14 | 11 | 15 | 30 | 34 | 43 | 43 |

En la tabla 6.6.b el RVP del mes de Abril es muy bajo y el contenido de olefinas del mismo mes es muy alto, en comparación con el resto de los meses correspondientes al período 2000-2001. Las causas de esta desviación se deben básicamente a cambios de operación en las destiladoras primarias de la refinería de Amuay. El resto de los valores de la tabla varían muy poco con respecto a los valores típicos esperados.

Las tablas 6.7.a y 6.7.b corresponden a las calidades del MTBE para los años 2000 y 2001 respectivamente. La presencia de celdas sombreadas en estas

tablas se debe a que el laboratorio de la refinería de Amuay no realizó los análisis respectivos.

Tabla 6.7.a Calidades MTBE año 2000.

| MTBE (2000) | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Análisis | Uds | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| RVP | Psi | 8,5 | 8,3 | 8,3 | 8,9 | 8,3 | 8,1 | 8,1 | 8,1 | 8,5 | 8,3 | 8,1 |
| T10 | °F | | | | | | | | | | | 128 |
| T50 | °F | | | | | | | | | | | 131 |
| T90 | °F | | | | | | | | | | | 133 |
| FBP | °F | | | | | | | | | | | 150 |
| RON | Octs | 133 | 132 | 133 | 132 | 132 | 133 | 132 | 135 | 133 | 136 | 133 |
| MON | Octs | 120 | 118 | 120 | 122 | 120 | 118 | 119 | 122 | 119 | 121 | 126 |

Tabla 6.7.b Calidades MTBE año 2001.

| MTBE (2001) | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct |
| RVP | Psi | 8,0 | 8,5 | 5,2 | 5,5 | 8,5 | 8,2 | 8,2 | 8,3 | 8,0 | 8,2 |
| RON | Octs | 133 | 132 | 132 | 132 | 131 | 133 | | 133 | 133 | 134 |
| MON | Octs | 125 | 123 | 123 | 123 | 129 | 127 | | 122 | 121 | 120 |
| Azufre | ppm | | | 12 | 8 | 4 | 8 | 14 | 25 | 20 | 11 |
| Oxígeno | % p | | 17,3 | | | | | | | | |

El MTBE es usado por lo general sólo para obtener gasolinas con elevados octanajes, es por esto que el laboratorio de la refinería de Amuay se ha limitado a realizar análisis de RON y MON mensualmente a éste componente. A partir del mes de marzo del año 2000 se comenzó a analizar el contenido de azufre del MTBE con el objetivo fundamental de realizar actualizaciones puntuales de los índices de mezcla presentes en la antigua hoja de mezclas. Los valores de RON, MON y RVP se corresponden con lo esperado. El resto de las calidades presentes en las tablas 6.7.a y 6.7.b fueron analizadas esporádicamente, en el caso del oxígeno el valor correspondiente al mes de Febrero del 2001 no se diferencia significativamente del reportado en la tabla 4.1.

Las tablas 6.8.a y 6.8.b corresponden a las calidades del Reformado para los años 2000 y 2001 respectivamente. La presencia de celdas sombreadas en la

tabla 6.8.b se debe a que el laboratorio de la refinería de Amuay no realizó los análisis respectivos.

Tabla 6.8.a Calidades Reformado año 2000.

| REFORMADO (2000) | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| RVP | Psi | 5,5 | 5,9 | 6,9 | 4,5 | 3,3 | 5,4 | 7,0 | 5,5 | 3,7 | 4,2 | 5,7 | 6,0 |
| T10 | °F | 192 | 198 | 218 | 214 | 206 | 194 | 138 | 194 | 211 | 204 | 192 | 194 |
| T50 | °F | 262 | 262 | 266 | 272 | 280 | 266 | 170 | 271 | 265 | 270 | 233 | 270 |
| T90 | °F | 330 | 331 | 336 | 338 | 340 | 331 | 303 | 330 | 328 | 333 | 368 | 334 |
| FBP | °F | 405 | 400 | 405 | 417 | 419 | 406 | 374 | 398 | 403 | 407 | 407 | 407 |
| RON | Octs | 99 | 98 | 98 | 96 | 119 | 112 | 104 | 118 | 112 | 104 | 104 | 108 |
| MON | Octs | 89 | 86 | 87 | 85 | 91 | 89 | 90 | 100 | 98 | 95 | 95 | 98 |
| ARO | % V | 71,0 | 68,8 | 69,4 | 66,1 | 77,4 | 72,9 | 34,3 | 79,2 | 74,0 | 75,9 | 74,8 | 73,9 |
| Olefinas | % V | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 3,9 | 1,6 | 9,3 | 1,2 | 4,0 | 4,2 | 6,4 | 6,2 |
| Benceno | % V | 2,5 | 1,8 | 1,0 | 0,7 | 1,0 | 1,6 | 1,1 | 1,6 | 2,0 | 1,9 | 1,3 | 1,7 |

Tabla 6.8.b Calidades Reformado año 2001.

| REFORMADO (2001) | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct |
| RVP | Psi | | 8,3 | 5,6 | 3,5 | 3,5 | 4,5 | 4,1 | 4,5 | 5,1 | 4,8 |
| T10 | °F | | 170 | 191 | 198 | | | | | | |
| T50 | °F | | 258 | 253 | 268 | | | | | | |
| T90 | °F | | 338 | 330 | 330 | | | | | | |
| FBP | °F | | 406 | 413 | 416 | | | | | | |
| RON | Octs | | 98 | 116 | | 123 | 110 | 99 | 94 | 95 | 100 |
| MON | Octs | | 87 | 98 | | 112 | 99 | 88 | 86 | 86 | 89 |
| ARO | % V | | 64,0 | 77,5 | 78,1 | 62,3 | 74,1 | 68,9 | 60,7 | 52,1 | 70,5 |
| Olefinas | % V | | 8,2 | 5,4 | 6,5 | 6,9 | 6,5 | 6,9 | 6,9 | 7,1 | 6,4 |
| Azufre | ppm | | | 23 | 16 | 22 | 17 | 10 | 23 | 30 | 57 |
| Benceno | % V | | 1,1 | 1,4 | 2,2 | 0,9 | 1,6 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 3,6 |

Este componente proviene de la refinería de Cardón, los análisis correspondientes al año 2000 (tabla 6.8.a) eran realizados en el laboratorio de dicha refinería. Los valores de calidad presentes en la tabla 6.8.b fueron obtenidos de análisis realizados en el laboratorio de la refinería de Amuay. Como se puede apreciar en ambas tablas las calidades más importantes como el RVP, RON y MON varían constantemente de manera significativa, por lo que se hace necesario

realizar análisis con mayor frecuencia de estas calidades. El orden de magnitud de los valores presentes en las tablas anteriores concuerda con los valores típicos teóricos esperados.

Las siguientes tablas 6.9.a y 6.9.b corresponden a las calidades del TAME durante el año 2000 y 2001 respectivamente. Al igual que el MTBE, el TAME es un oxigenado utilizado principalmente para obtener gasolinas de altos octanajes, por lo que las calidades de este componente más importantes para la refinería de Amuay son el RON, MON y contenido de oxígeno.

Tabla 6.9.a Calidades TAME año 2000.

| TAME (2000) | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| RVP | Psi | 5,2 | 5,3 | 4,8 | 5,3 | 6,0 | 5,9 | 5,1 | 5,7 | 4,9 | 5,5 | 5,6 | 4,6 |
| RON | Octs | 102 | 102 | 104 | 101 | 113 | 107 | 105 | 112 | 104 | 107 | 105 | 104 |
| MON | Octs | 89,8 | 90,1 | 92,4 | 90,9 | 90,6 | 88,6 | 92,2 | 99,0 | 95,4 | 99,8 | 95,2 | 99,0 |
| Oxígeno | % p | 11,5 | 5,5 | 12,3 | 9,5 | 8,0 | 8,2 | 8,9 | 7,0 | 6,9 | 6,5 | 6,2 | 6,2 |

Tabla 6.9.b Calidades TAME año 2001.

| TAME (2001) | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Análisis | Uds. | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct |
| RVP | Psi | 5,0 | 6,3 | 4,9 | 5,4 | 5,6 | 7,7 | 6,1 | 7,5 | 5,6 | 6,6 |
| RON | Octs | 107 | 111 | 100 | 101 | 100 | 99 | 98 | 99 | 103 | 99 |
| MON | Octs | 102 | 102 | 91,1 | 90,3 | 91,9 | 91,4 | 88,8 | 89,2 | 88,5 | 88,7 |
| Oxígeno | % p | 5,9 | 6,8 | 6,2 | 8,2 | 7,5 | 7,6 | 7,6 | 7,7 | 8,1 | 8,5 |

Los valores de RVP, RON y MON varían levemente mes a mes, sin embargo el porcentaje que representa el rango de variación del oxígeno sobre los valores de esta calidad es considerable, superando en algunos casos el 40 %. Por lo que se deben actualizar los valores de calidad del oxígeno de manera periódica a la hora de elaborar los modelos de predicción de calidades.

Como se puede apreciar en las gráficas anteriores desde la 6.1.a hasta la 6.9.b el laboratorio de la refinería de Amuay no realiza todos los análisis necesarios a las calidades más importantes de los distintos componentes de las gasolinas que se elaboran en la refinería. Incluso existen dos componentes que son

el butano (n-C4) y la nafta hidrodesulfurada (HDS) a los cuales no se les realizan nunca los análisis. Aunado a la falta de calidades analizadas por el laboratorio se tiene la poca periodicidad de los análisis y gran parte de las propiedades de los componentes varían día tras día. En general, las magnitudes de todos los valores de calidad reportados en las tablas anteriores se corresponden con los típicos que ha obtenido la refinera en su historial y estos a su vez con los valores teóricos que esperan los ingenieros.

6.2 Índices de mezcla que se encuentran en la antigua hoja de mezclas de gasolinas para el período 2000-2001

A continuación se presentan los índices de mezcla que fueron tomados de la antigua hoja de mezclas. Estos valores son usados por los ingenieros de la refinera de Amuay como calidades “constantes” de los componentes, las cuales son necesarias para predecir las calidades finales de las gasolinas.

Tabla 6.10 Índices de Mezcla período 2000-2001.

| | ALQ | HCN | HVN | LCN | LKN | LVN | MTBE | REF | TAME | nC4 | HDS |
|------------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| RVP | 6,0 | 4,5 | 2,5 | 6,0 | 12,2 | 13,2 | 9,2 | 5,0 | 7,0 | 71,9 | 3,3 |
| T10 | 180 | 160 | 213 | 157 | 119 | 92 | 113 | 197 | 159 | 91 | 191 |
| T50 | 216 | 354 | 250 | 253 | 139 | 139 | 125 | 272 | 166 | 100 | 229 |
| T90 | 314 | 410 | 289,5 | 382 | 187,3 | 209 | 133 | 340 | 195 | 102 | 269 |
| FBP | 407 | 438 | 305 | 425 | 388 | 253 | 138 | 408 | 241 | 102 | 281 |
| RON | 96 | 90 | 64 | 90 | 88 | 73 | 115 | 100 | 98 | 97 | 60 |
| MON | 90 | 80 | 66 | 79 | 76 | 73 | 106 | 90 | 87 | 91 | 66 |
| ARO | 0,0 | 55,0 | 13,8 | 20,1 | 3,5 | 2,4 | 0,0 | 73,0 | 0,0 | 0,0 | 18,0 |
| OLE | 0,0 | 25,0 | 1,0 | 35,0 | 66,0 | 0,3 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 24,5 | 1,0 |
| AZU | 35 | 1200 | 141 | 300 | 1700 | 20 | 5 | 77 | 0 | 10 | 10 |
| BEN | 0,0 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 1,1 | 1,5 | 0,0 | 5,0 | 0,8 | 0,0 | 0,8 |
| OXÍ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 18,4 | 0,0 | 8,0 | 0,0 | 0,0 |

Los valores de calidad que se reportan en la tabla 6.10 fueron obtenidos hace ya algunos años por los ingenieros de programación y suministros al estudiar las variaciones de cada una de estas calidades y promediar los valores para

obtener índices de mezcla los cuales en su momento fueron los valores más representativos de cada calidad.

Los índices de mezcla durante los años se han mantenido constantes a la hora de predecir las calidades finales de las gasolinas, sin embargo, los ingenieros encargados de la programación en la refinería de Amuay de acuerdo con su conocimiento de las condiciones de los procesos aguas arriba del sistema de mezclado y conociendo en algún momento cambios considerables según su criterio de alguna calidad en particular de cualquiera de los componentes han realizado correcciones puntuales a los índices de mezcla. Luego de una variación de los índices de mezcla, éstos han sido restaurados de nuevo a los reportados en la tabla 6.10 cuando los ingenieros han determinado que las desviaciones han disminuido o que los procesos han vuelto a la normalidad.

6.3 Índices de mezcla usados para generar los nuevos modelos

A continuación se presenta la tabla 6.11, en la cual se reportan los índices de mezcla que fueron tomados de la hoja de mezclas en virtud de que el laboratorio no realiza los respectivos análisis.

Tabla 6.11 Propiedades tomadas de los índices de mezcla período 2000-2001.

| | ALQ | HCN | HVN | LCN | LKN | LVN | MTBE | REF | TAME | nC4 | HDS |
|------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|
| RVP | | | | | | | | | | 71,9 | 3,3 |
| T10 | | | | | | | | | 159 | 91 | 191 |
| T50 | | | | | | | | | 166 | 100 | 229 |
| T90 | | | | | | | | | 195 | 102 | 269 |
| FBP | | | | | | | | | 241 | 102 | 281 |
| RON | | | | | 88 | | | | | 97 | 60 |
| MON | | | | | | | | | | 91 | 66 |
| ARO | 0,6 | | | | 3,5 | | | | 0,0 | 0,0 | 18,0 |
| OLE | 0,0 | | | | 66,0 | | | | 0,0 | 24,5 | 1,0 |
| AZU | 49 | | | | 1700 | | | | 0 | 10 | 10 |
| BEN | 0,0 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 1,1 | 1,5 | 0,0 | | 0,8 | 0,0 | 0,8 |
| OXÍ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 18,4 | 0,0 | | 0,0 | 0,0 |

Al observar la tabla 6.11 se puede determinar que simplemente es un extracto de la tabla 6.10, pero es de suma importancia extraerlo debido a que los valores reportados en la misma facilitaron la obtención de los nuevos modelos. Las celdas que se encuentran sombreadas en la tabla 6.11 corresponden a los valores de calidad que son determinados mensualmente por el laboratorio de la refinería de Amuay.

Como ya se ha mencionado el laboratorio de la refinería de Amuay no realiza todos los análisis necesarios. Esto se debe principalmente a los costos de los análisis así como también la dificultad y tiempo requerido para hacerlos. Además, por la gran cantidad de análisis que se deben realizar en el laboratorio diariamente, el mismo no se da abasto por falta de instrumentación y personal, y se ve en la necesidad de sacrificar algunos análisis para realizar otros que son de mayor importancia en la refinería.

Por esto el laboratorio de la refinería de Amuay pidió a los ingenieros de programación reducir el número de componentes y calidades al mínimo posible. Estos últimos en su debido momento decidieron que los valores reportados en la tabla 6.11 no eran indispensables para garantizar la confiabilidad necesaria a la hora de predecir las calidades finales de las gasolinas.

En virtud de la negativa por parte del laboratorio de realizar estos análisis adicionales hasta que los ingenieros de servicios y suministros lograran demostrar con resultados la necesidad real de ejecutarlos, se decidió continuar trabajando y se tomaron como los valores de calidad de los componentes para proponer los nuevos modelos. En otras palabras, los valores reportados en la tabla 6.11 fueron usados como datos de calidad a la hora de realizar los cálculos y facilitaron la obtención de los nuevos modelos.

6.4 Comparación entre índices de mezcla y el histórico de calidad

Esta comparación se realizó en los casos donde se pueden tener valores de calidad obtenidos por el laboratorio y los respectivos índices de mezcla. Para realizar esta comparación se determinaron los valores extremos (máximo y mínimo) de cada calidad reportada por el laboratorio durante el período Enero 2000 - Octubre 2001 y se calcularon tanto el porcentaje de desviación como la confiabilidad de cada uno de los índices de mezclas. El objetivo principal de esta operación es determinar si las altas desviaciones en los valores de calidad final de las gasolinas determinados por los ingenieros de programación respecto a los valores obtenidos a partir de análisis de laboratorio se deben a las diferencias que existen entre las calidades de los componentes y los índices de mezcla.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al comparar los índices de mezcla con los valores extremos de las calidades en los tanques de componentes obtenidas por análisis de laboratorio. Estos valores están organizados en tablas por componentes, éstas se encuentran divididas en mínimo y máximo valor de calidad durante el período de estudio.

Tabla 6.12.a Comparación entre los índices de mezcla y calidades mínimas del Alquilato.

| ALQUILATO | | | | |
|------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Propiedad | Valor Mínimo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 4,1 | 5,2 | 26,8 | 73,2 |
| T10 | 168 | 180 | 7,1 | 92,9 |
| T50 | 214 | 217 | 1,4 | 98,6 |
| T90 | 297 | 314 | 5,7 | 94,3 |
| FBP | 402 | 412 | 2,5 | 97,5 |
| RON | 90,4 | 93,0 | 2,9 | 97,1 |
| MON | 89,3 | 89,0 | 0,3 | 99,7 |

En el área de programación y suministros de la refinería de Amuay el principal objetivo es el de obtener índices de mezcla cuyo porcentaje de desviación con respecto a las calidades que realmente poseen los componentes no exceda el 5 %. En la tabla 6.12.a se aprecia como para el RVP del alquilato la

desviación entre el índice de mezcla y el valor real mínimo para el período en cuestión es de 26,8 % evidenciándose diferencias que pueden arrastrar errores mayores al momento de predecir el RVP de una gasolina producto, además, para los índices de mezcla correspondientes a la T10 y T90 las desviaciones respecto a los mínimos superan el 5 %. El resto de las calidades reportadas en la tabla 6.12.a presentan porcentajes de desviación aceptables. A continuación se resume en la tabla 6.12.b las comparaciones entre índices de mezclas y calidades de laboratorio máximas para el alquilato durante el período Enero 2000 - Octubre 2001.

Tabla 6.12.b Comparación entre los índices de mezcla y calidades máximas del Alquilato.

| ALQUILATO | | | | |
|------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Propiedad | Valor Máximo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 5,5 | 5,2 | 5,5 | 94,5 |
| T10 | 179 | 180 | 0,6 | 99,4 |
| T50 | 218 | 217 | 0,5 | 99,5 |
| T90 | 336 | 314 | 6,5 | 93,5 |
| FBP | 441 | 412 | 6,6 | 93,4 |
| RON | 92,0 | 93,0 | 1,1 | 98,9 |
| MON | 90,5 | 89,0 | 1,7 | 98,3 |

Al observar los valores reportados en la tabla 6.12.b se puede apreciar como la desviación del índice de mezcla para el máximo valor real de RVP disminuye considerablemente llegando a ser de 5,5 %, además del índice de mezcla correspondiente al RVP del alquilato, la T90 y el FBP presentan desviaciones superiores al 5 %. Para el resto de las calidades se encontraron valores de confiabilidad aceptables.

Las tablas 6.13.a y 6.13.b que se presentan a continuación resumen las comparaciones realizadas entre los índices de mezcla y los valores mínimos y máximos obtenidos de análisis de laboratorio correspondientes a la nafta catalítica pesada HCN respectivamente. Las celdas sombreadas en la tabla 6.13.a corresponden a valores de desviación superiores al 100 %, por lo que sería ilógico reportarlos.

Tabla 6.13.a Comparación entre los índices de mezcla y calidades mínimas del HCN.

| HCN | | | | |
|-------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Propiedad | Valor Mínimo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 3,2 | 4,3 | 34,4 | 65,6 |
| T10 | 118 | 222 | 88,1 | 11,9 |
| T50 | 332 | 353 | 6,3 | 93,7 |
| T90 | 398 | 416 | 4,5 | 95,5 |
| FBP | 429 | 438 | 2,1 | 97,9 |
| RON | 88,5 | 90,0 | 1,7 | 98,3 |
| MON | 78,6 | 80,0 | 1,8 | 98,2 |
| Aromáticos | 26,5 | 51,2 | 93,2 | 6,8 |
| Olefinas | 1,1 | 25,0 | | |
| Azufre | 442 | 875 | 97,9 | 2,1 |

Tabla 6.13.b Comparación entre los índices de mezcla y calidades máximas del HCN.

| HCN | | | | |
|-------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Propiedad | Valor Máximo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 9,6 | 4,3 | 55,2 | 44,8 |
| T10 | 298 | 222 | 25,5 | 74,5 |
| T50 | 354 | 353 | 0,3 | 99,7 |
| T90 | 409 | 416 | 1,7 | 98,3 |
| FBP | 439 | 438 | 0,2 | 99,8 |
| RON | 91,1 | 90,0 | 1,2 | 98,2 |
| MON | 81,6 | 80,0 | 2,0 | 98,0 |
| Aromáticos | 50,3 | 51,2 | 1,8 | 98,2 |
| Olefinas | 14,8 | 25,0 | 68,9 | 31,1 |
| Azufre | 962 | 875 | 9,0 | 91,0 |

Al observar la tabla 6.13.a se determina que los índices de mezcla correspondientes al contenido de olefinas en el HCN no son para nada confiables en comparación con el mínimo valor real obtenido de análisis de laboratorio. Dicho valor es exageradamente elevado (alrededor de veinticuatro veces más grande), con respecto a la comparación del índice de mezcla correspondiente al contenido de olefinas con el máximo valor real, reportado en la tabla 6.13.b, se observa como la desviación disminuye, sin embargo, posee todavía valores alarmantes de 68,9 %, de aquí en adelante la refinería de Amuay comete errores

elevados a la hora de predecir el contenido de olefinas en las gasolinas usando los índices de mezcla.

En las tablas 6.13.a y 6.13.b propiedades como el RVP y la T10 también reflejan poca confiabilidad de los índices de mezclas y por ende origina un fuerte error a la hora de predecir dichas calidades. En la tabla 6.13.a además de la variación elevada de las propiedades antes mencionadas el índice de mezcla correspondiente al contenido de azufre toma valores de confiabilidad extremadamente bajos (2,1 %). Para ambas tablas sólo los índices de mezcla correspondientes a los números de octano RON y MON originan porcentajes de desviación cercanos al 98 % cuando son comparados con los valores extremos de dichas calidades obtenidos por análisis de laboratorio.

Las tablas 6.14.a y 6.14.b que se presentan a continuación, corresponden a la comparación entre los índices de mezcla y las calidades del HVN mínimas y máximas respectivamente. Las celdas que aparecen sombreadas en ambas tablas se deben a desviaciones superiores al 100 % o a valores de calidad que siempre son ceros y no son comparados con los índices de mezcla porque al evaluar las fórmulas de porcentaje de desviación de los índices de mezcla con respecto a los valores de calidad reales resultaría una división entre cero, la cual no está definida matemáticamente.

Tabla 6.14.a Comparación entre los índices de mezcla y calidades mínimas del HVN.

| HVN | | | | |
|-------------------|--------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|
| Propiedad | Valor Mínimo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 1,1 | 2,5 | | |
| T10 | 211 | 213 | 0,9 | 99,1 |
| T50 | 242 | 247 | 2,1 | 97,9 |
| T90 | 287 | 290 | 1,0 | 99,0 |
| FBP | 293 | 305 | 4,1 | 95,9 |
| RON | 53,6 | 64,0 | 19,4 | 80,6 |
| MON | 52,2 | 66,0 | 26,4 | 73,6 |
| Aromáticos | 11,8 | 13,8 | 16,9 | 83,1 |
| Olefinas | 0,0 | 1,0 | | |
| Azufre | 46 | 141 | | |

Tabla 6.14.b Comparación entre los índices de mezcla y calidades máximas del HVN.

| HVN | | | | |
|-------------------|--------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|
| Propiedad | Valor Máximo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 2,0 | 2,5 | 25,0 | 75,0 |
| T10 | 221 | 213 | 3,6 | 96,4 |
| T50 | 251 | 247 | 1,6 | 98,4 |
| T90 | 298 | 290 | 2,7 | 97,3 |
| FBP | 334 | 305 | 8,7 | 91,3 |
| RON | 55,6 | 64,0 | 15,1 | 84,9 |
| MON | 55,1 | 66,0 | 19,8 | 80,2 |
| Aromáticos | 13,3 | 13,8 | 3,8 | 96,2 |
| Olefinas | 0,0 | 1,0 | | |
| Azufre | 172 | 141 | 18 | 82,0 |

En el caso del HVN para el período de estudio sólo los índices de mezcla correspondientes al T10, T50 y T90 de la curva de destilación originan valores de confiabilidad superiores al 95 % al compararlos con los valores extremos reales de calidad, por lo que son admisibles. El resto de las calidades presentan porcentajes de desviación superiores al 5 % por lo que los respectivos índices de mezcla originan mayores errores en la predicción de dichas calidades. Incluso el RVP es una de las variables más críticas en una gasolina, sobre todo en las destinadas a la exportación a países con climas de invierno y los porcentaje de desviación de los índices de mezcla correspondientes al RVP del HVN son tan elevados (25 % en el mejor de los casos) que causan errores resaltantes a la hora de predecir dicha calidad en una gasolina producto que contenga HVN.

A continuación se presentan las comparaciones entre los índices de mezcla y los valores extremos de las calidades analizadas por el laboratorio para la nafta catalítica liviana LCN. La tabla 6.15.a corresponde al mínimo y la 6.15.b al máximo, las celdas sombreadas en la tabla 6.15.a corresponden a desviaciones superiores al 100 %.

Tabla 6.15.a Comparación entre los índices de mezcla y calidades mínimas del LCN.

| LCN | | | | |
|------------|--------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|
| Propiedad | Valor Mínimo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 3,8 | 6,0 | 57,9 | 42,1 |
| T10 | 137 | 157 | 14,6 | 85,4 |
| T50 | 197 | 230 | 16,8 | 83,2 |
| T90 | 264 | 330 | 25,0 | 75,0 |
| FBP | 318 | 376 | 18,2 | 81,8 |
| RON | 86,9 | 89,0 | 2,4 | 97,6 |
| MON | 78,0 | 79,0 | 1,3 | 98,7 |
| Aromáticos | 14,1 | 17,0 | 20,6 | 79,1 |
| Olefinas | 18,0 | 36,5 | | |
| Azufre | 133 | 235 | 76,7 | 23,3 |

Tabla 6.15.b Comparación entre los índices de mezcla y calidades máximas del LCN.

| LCN | | | | |
|------------|--------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|
| Propiedad | Valor Máximo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 7,5 | 6,0 | 20,0 | 80,0 |
| T10 | 184 | 157 | 14,7 | 85,3 |
| T50 | 223 | 230 | 3,1 | 96,9 |
| T90 | 306 | 330 | 7,8 | 92,2 |
| FBP | 347 | 376 | 8,4 | 91,6 |
| RON | 89,8 | 89,0 | 0,9 | 99,1 |
| MON | 80,1 | 79,0 | 1,4 | 98,6 |
| Aromáticos | 21,6 | 17,0 | 21,3 | 78,7 |
| Olefinas | 28,4 | 36,5 | 28,5 | 71,5 |
| Azufre | 531 | 235 | 55,7 | 44,3 |

Observando los valores de confiabilidad reportados en la tabla 6.15.a se obtuvieron valores bajos de la misma en índices de mezcla correspondientes a todas las calidades a excepción de los números de octano, donde las desviaciones estuvieron por debajo del 5 %.

En la tabla 6.15.b, las confiabilidades que originan los índices de mezcla correspondientes al RON y MON se mantienen en el mismo orden de magnitud, éstos son resultados satisfactorios. Propiedades como el contenido de azufre presentan porcentajes de desviación altos de 44,3 %. Para el resto de las calidades

reportadas en la tabla 6.15.b a excepción de la T50 se obtuvieron porcentajes de desviación superiores al 5 %.

A continuación se presentan las tablas 6.16.a y 6.16.b, en las cuales se resumen los resultados de evaluar los porcentajes de desviación y confiabilidad de los índices de mezcla del LVN con respecto a los extremos de las calidades de laboratorio. Las celdas sombreadas que se encuentran en la tabla 6.16.a corresponden a desviaciones superiores al 100 % o a valores de calidad (olefinas) cuyo mínimo durante el período de estudio fue cero.

Tabla 6.16.a Comparación entre los índices de mezcla y calidades mínimas del LVN.

| LVN | | | | |
|------------|--------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|
| Propiedad | Valor Mínimo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 5,8 | 13,2 | | |
| T10 | 116 | 109 | 6,0 | 94,0 |
| T50 | 137 | 139 | 1,5 | 98,5 |
| T90 | 192 | 209 | 8,9 | 91,1 |
| FBP | 252 | 253 | 0,4 | 99,6 |
| RON | 67,6 | 73,0 | 8,0 | 92,0 |
| MON | 65,2 | 73,0 | 12,0 | 88,0 |
| Aromáticos | 0,7 | 2,4 | | |
| Olefinas | 0,0 | 0,3 | | |
| Azufre | 11 | 20 | 17,5 | 82,5 |

Tabla 6.16.b Comparación entre los índices de mezcla y calidades máximas del LVN.

| LVN | | | | |
|------------|--------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|
| Propiedad | Valor Máximo | Índices de Mezcla | Porcentaje Desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 11,6 | 13,2 | 13,8 | 86,2 |
| T10 | 128 | 109 | 14,8 | 85,2 |
| T50 | 149 | 139 | 6,7 | 93,3 |
| T90 | 228 | 209 | 8,3 | 91,7 |
| FBP | 386 | 253 | 34,5 | 65,5 |
| RON | 71,0 | 73,0 | 2,8 | 97,2 |
| MON | 70,9 | 73,0 | 3,0 | 97,0 |
| Aromáticos | 3,6 | 2,4 | 33,3 | 66,7 |
| Olefinas | 2,4 | 0,3 | 87,5 | 12,5 |
| Azufre | 45 | 20 | 55,6 | 44,4 |

En la tabla 6.16.a se aprecia que sólo los porcentajes de desviación producto de comparar los índices de mezcla y los valores de calidad mínimos de laboratorio T50 y FBP son menores al 5 %, por lo que son tolerables a la hora de predecir dichas calidades en una gasolina producto. Con respecto al RVP y contenido de azufre las desviaciones fueron superiores al 100 %, el resto de las calidades reportadas en la tabla en cuestión no cumplen con el criterio de ser confiables en al menos un 95 %, por lo que se infiere que estas discrepancias colaboran con los errores obtenidos a la hora de predecir calidades a partir de los índices de mezcla.

En la tabla 6.16.b se aprecia que sólo los porcentajes de desviación producto de comparar los índices de mezcla y los valores de calidad máximos de laboratorio RON y MON son menores al 5 %, para el resto de las calidades reportadas en dicha tabla las desviaciones superan el 6,7 %.

Las siguientes tablas 6.17.a y 6.17.b corresponden a la comparación entre los índices de mezcla y los análisis de laboratorio realizados al MTBE durante el período Enero 2000 – Octubre 2001, las tablas se encuentran divididas en valores mínimos de calidad y máximos respectivamente.

Tabla 6.17.a Comparación entre los índices de mezcla y calidades mínimas del MTBE.

| MTBE | | | | |
|------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Propiedad | Valor Mínimo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 5,2 | 9,2 | 76,9 | 23,1 |
| T10 | 128 | 113 | 11,7 | 88,3 |
| T50 | 131 | 125 | 4,6 | 95,4 |
| T90 | 133 | 133 | 0,0 | 100 |
| FBP | 150 | 138 | 8,0 | 92,0 |
| RON | 131,0 | 115,0 | 12,2 | 87,8 |
| MON | 118,0 | 106,0 | 10,2 | 89,8 |
| Azufre | 4,0 | 5,0 | 25,0 | 75,0 |
| Oxígeno | 17,3 | 18,4 | 6,4 | 93,6 |

Tabla 6.17.b Comparación entre los índices de mezcla y calidades máximas del MTBE.

| MTBE | | | | |
|------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Propiedad | Valor Máximo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 8,9 | 9,2 | 3,4 | 96,6 |
| T10 | 128 | 113 | 11,7 | 88,3 |
| T50 | 131 | 125 | 4,6 | 95,4 |
| T90 | 133 | 133 | 0,0 | 100 |
| FBP | 150 | 138 | 8,0 | 92,0 |
| RON | 136,0 | 115,0 | 15,4 | 84,6 |
| MON | 129,0 | 106,0 | 17,8 | 82,2 |
| Azufre | 25,0 | 5,0 | 80,0 | 20,0 |
| Oxígeno | 17,3 | 18,4 | 6,4 | 93,6 |

En la tabla 6.17.a se divisa como los índices de mezcla de las calidades T50 y T90 poseen una confiabilidad superior al 95 %, incluso para la T90 la confiabilidad es de 100 % por lo que se puede decir que el índice de mezclas correspondiente a la T90 es igual al valor mínimo reportado por el laboratorio durante los meses de corrida. El resto de los índices de mezcla reportados en dicha tabla poseen confiabilidades menores al 93,6 %.

Como sólo se realizaron análisis a la destilación y contenido de oxígeno del MTBE una sola vez durante el período de estudio, los valores máximos y mínimos de estas calidades son iguales entre sí, por lo que las desviaciones correspondientes a dichas calidades son las mismas en ambas tablas. Del resto de las calidades reportadas en la tabla 6.17.b sólo el RVP supero la confiabilidad del 95 %.

Las siguientes tablas 6.18.a y 6.18.b recogen los resultados de evaluar los índices de mezcla del reformado en función de las calidades mínimas y máximas del mismo obtenidas a partir de análisis de laboratorio. Las celdas sombreadas corresponden a índices de mezcla que al compararlos con las respectivas calidades de laboratorio producen desviaciones superiores al 100 %.

Tabla 6.18.a Comparación entre los índices de mezcla y calidades mínimas del Reformado.

| REFORMADO | | | | |
|-------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Propiedad | Valor Mínimo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 3,3 | 5,3 | 60,6 | 39,4 |
| T10 | 138 | 197 | 42,8 | 57,2 |
| T50 | 170 | 267 | 57,1 | 42,9 |
| T90 | 303 | 338 | 11,6 | 88,4 |
| FBP | 374 | 408 | 9,1 | 89,9 |
| RON | 93,5 | 100,0 | 7,0 | 93,0 |
| MON | 84,9 | 90,0 | 6,0 | 94,0 |
| Aromáticos | 34,3 | 73,0 | | |
| Olefinas | 1,2 | 0,1 | 91,7 | 8,3 |
| Benceno | 0,7 | 5,0 | | |
| Azufre | 10,0 | 77,0 | | |

Tabla 6.18.b Comparación entre los índices de mezcla y calidades máximas del Reformado.

| REFORMADO | | | | |
|-------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Propiedad | Valor Máximo | Índices de Mezcla | Porcentaje Desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 8,3 | 5,3 | 36,1 | 63,9 |
| T10 | 218 | 197 | 9,6 | 90,4 |
| T50 | 280 | 267 | 4,6 | 95,4 |
| T90 | 340 | 338 | 0,6 | 99,4 |
| FBP | 419 | 408 | 2,6 | 97,4 |
| RON | 123,2 | 100,0 | 18,8 | 81,2 |
| MON | 112,0 | 90,0 | 19,6 | 80,4 |
| Aromáticos | 79,2 | 73,0 | 7,8 | 92,2 |
| Olefinas | 9,3 | 0,1 | 98,9 | 1,1 |
| Benceno | 3,6 | 5,0 | 38,9 | 61,1 |
| Azufre | 57,0 | 77 | 35,1 | 64,9 |

En la tabla 6.18.a ninguno de los índices de mezcla satisfacen el criterio de confiabilidad superior al 95 %. Para el contenido de aromáticos, benceno y azufre las desviaciones son superiores al 100 %, por lo que su uso para predecir calidades de gasolinas no es recomendable, ya que el error es muy grande.

Con respecto a las confiabilidades reportadas en la tabla 6.18.b se observa que a excepción del RON y MON las desviaciones obtenidas disminuyeron, pero

sólo los puntos de la curva de destilación correspondientes a la T50, T90 y FBP superaron el 95 % de confiabilidad.

Las desviaciones obtenidas de comparar los índices de mezcla con los valores máximos de RON y MON obtenidos por análisis de laboratorio durante el período Enero 2000 – Octubre 2001, son cercanas al 20 %, lo que genera errores a la hora de predecir calidades de gasolinas que contengan reformado.

Las tablas 6.19.a y 6.19.b contienen los porcentajes de desviación y confiabilidad que se obtienen de comparar los índices de mezcla con los valores extremos de las calidades del TAME analizadas por el laboratorio. Además de su elevado octanaje, al ser éste componente un oxigenado, el contenido de oxígeno constituye una calidad muy importante que requiere de análisis por parte del laboratorio.

Tabla 6.19.a Comparación entre los índices de mezcla y calidades mínimas del TAME.

| TAME | | | | |
|------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Propiedad | Valor Mínimo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 4,6 | 7,0 | 52,2 | 47,8 |
| RON | 98,2 | 98,0 | 0,2 | 99,8 |
| MON | 88,5 | 87,0 | 1,7 | 98,3 |
| Oxígeno | 5,5 | 7,1 | 29,1 | 71,9 |

Tabla 6.19.b Comparación entre los índices de mezcla y calidades máximas del TAME.

| TAME | | | | |
|------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Propiedad | Valor Máximo | Índices de Mezcla | Porcentaje desviación | Porcentaje Confiabilidad |
| RVP | 7,7 | 7,0 | 9,1 | 90,9 |
| RON | 112,7 | 98,0 | 13,0 | 87,0 |
| MON | 102,3 | 87,0 | 15,0 | 85,0 |
| Oxígeno | 12,3 | 7,1 | 42,3 | 57,7 |

Para ambas tablas las desviaciones que se obtienen de comparar los índices de mezcla correspondientes al RVP y contenido de oxígeno con los valores

extremos correspondientes a dichas calidades obtenidas de análisis de laboratorio superan el 5 %, incluso con el contenido de oxígeno se obtienen desviaciones de 29,1 % en el mejor de los casos. Con respecto al RON y MON las confiabilidades reportadas en la tabla 6.19.a son elevadas y muy cercanas al 100 %, sin embargo en la tabla 6.19.b se aprecia como en el caso de los valores reales máximos de dichas calidades las desviaciones superan el 13 %.

En resumen, los índices de mezcla son usados para predecir calidades con la antigua hoja de mezclas. El uso de estos valores simplifica el trabajo y permite obtener rápidamente los valores de calidad deseados. Sin embargo, las calidades de los componentes cambian de valor en todo momento, obteniéndose muchas veces valores de calidad a partir de análisis de laboratorio muy diferentes a los índices de mezcla. Esta diferencia algunas veces permite que los índices de mezcla sean bajos o altos en comparación con los resultados del laboratorio.

El uso de los índices de mezcla sin actualizaciones periódicas de todas y cada una de las calidades de los componentes origina errores. Los cuales muchas veces se compensan y producen resultados satisfactorios, pero es impredecible conocer con certeza cuando las calidades inferidas serán iguales a las reales o cuando el porcentaje de desviación será considerable y la gasolina producto no cumpla con sus especificaciones.

Aunque existen índices de mezcla correspondientes a calidades de algunos componentes cuyos valores son muy similares a los obtenidos gracias al laboratorio cuyas confiabilidades superan el 90 % (en algunos casos hasta 100 %) no se garantiza un resultado confiable al predecir estas calidades en una gasolina. Esto se debe a que la gasolina es producto de combinar en distintas proporciones algunos componentes, y así como se obtuvieron estos resultados tan buenos para una calidad de un componente, para la misma calidad en otro componente se pudieron haber obtenido valores muy poco confiables y dependiendo de la concentración de los componentes en la mezcla se desvirtúan los resultados.

Aunque las confiabilidades de todos los índices de mezcla evaluados fuesen del 100 %, al predecir las calidades finales de las gasolinas se obtendrían desviaciones, ya que los modelos de predicción de las mismas no toman en cuenta ni la cantidad ni la calidad del contenido remanente de mezclas anteriores presentes en los tanques de mezclado.

6.5 Descarte primario de algunas mezclas de gasolinas

Además de las calidades de los componentes y los índices de mezcla necesarios por no contarse con los respectivos análisis de laboratorio, para generar los modelos se necesitan conocer la cantidad de cada uno de los componentes en las mezclas así como también las calidades finales de las gasolinas resultantes. Cada vez que se realiza una mezcla de gasolinas en la refinería de Amuay los jefes de guardia se encargan de llevar un control del proceso. Luego de la mezcla se imprimen resultados como los mostrados en la figura 6.1.

| MEZCLAS DE GASOLINAS | | | | | | | | | | | | SMA-RE-09-004 | | |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|------|--------------|-------|--------|------|------------|------|-------|--------|----------------------|-----------|-------------|
| FECHA: | | 24/01/1900 | | MED. INICIAL | | 7.52 | | MED. FINAL | | 50.08 | | | | |
| HORA DE INICIO: | | 09:50 | | HORA FINAL: | | 02:00 | | TQ DESTIN: | | 36 | | TIPO LV-23 | | |
| COMPONENTES | TQ FUENTE | RECETA VOLUMEN % | HORA | 12:34 | HORA | 21:40 | HORA | 01:00 | HORA | HORA | % REAL | VOL. REAL | | |
| MON | 207 | 4.7% | | | | 4.7% | | 4.7% | | | 4.7% | 5430 | LVN 9778 | |
| LVN | 33 | 7.6% | | | | 7.6% | | 7.6% | | | 7.1% | 8313 | LVN | |
| HVN | | | | RE | | | | | | | 0.0% | | HVN | |
| HNDS | | | | CE | | | | | | | 0.0% | | 9336 | |
| TAME | | | | TA | | | | | | | 0.0% | | TAME | |
| HON | 203 | 32.9% | | | | 30.9% | | 35.9% | | | 34.0% | 39652 | HON | |
| LON | 201 | 24.4% | | INI | | 24.4% | | 24.4% | | | 24.2% | 28264 | LON | |
| LKN | | | | CIAL | | | | | | | 0.0% | | LKN | |
| ALQ | 204 | 30.4% | | | | 32.4% | | 27.4% | | | 30.0% | 34955 | ALQ | |
| MTBE | | | | | | | | | | | 0.0% | | MTBE | |
| REF | | | | | | | | | | | 0.0% | | REF | |
| TEP | 145 | 1.08 | | 1.08 | | 1.08% | | 0.0% | | | 0.0% | | TEP | |
| TOTAL % | | | | | | 100.0% | | 100.0% | | 0.0% | | 116614 | TOTALES | |
| CALIDADES | TALON | ANA | LAB | ANA | LAB | ANA | LAB | ANA | LAB | ANA | LAB | PRMEDIOS | QUIMICOS | RELACIONES |
| MON | 87.9 | | OFF | 87.50 | OFF | 89.80 | | | | | | | TEP | |
| RON | 94.6 | | OFF | 94.60 | OFF | 95.6 | | | | | | | RED OVE | 150 GAL/14B |
| AD | 91.3 | | OFF | 91.00 | OFF | 92.70 | | | | | | | ED MARKER | 436 GAL/14B |
| RVP | 9.30 | | 9.89 | 9.22 | 10.19 | 9.80 | | | | | | | | |
| OLEFINAS | | | | | | | | | | | | | | |
| AROMATICOS | | | | | | | | | | | | | | |
| OXIGENOS | | | | | | | | | | | | | | |
| MLIVIL | | | | | | | | | | | | | | |
| AZUFRE | | | | | | | | | | | | | | |
| BENCENO | | | | | | | | | | | | | | |
| SATURADOS | | | | | | | | | | | | | | |
| T10 | | | | | | | | | | | | | | |
| T50 | | | | | | | | | | | | | | |
| T90 | | | | | | | | | | | | | | |
| TEP | | | | 0.99 | 1.18 | 1.14 | | | | | | | | |
| OBSERVACIONES: | | | | | | | | | | | | VOL MEZCLADO: 116614 | | |
| MAQUINAS DE OCTANOS APAGADAS / | | | | | | | | | | | | SUPEVISOR DE TALERO | | |
| SE REALIZO CORRECCION POR ALTO OCTANO - QUITANDO TEP Y ALQ FALTANDO 8000 BLS | | | | | | | | | | | | H RIOS | | |
| PARA FINALIZAR MEZCLA | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 6.1 Resumen de mezcla LV-23 refinería de Amuay.

En esta parte del proyecto se desecharon de la posible base de datos para los futuros modelos de predicción de calidades de gasolinas mezclas bajo las premisas de descarte primario ubicadas en la sección 5.2 del presente trabajo.

La figura 6.1 corresponde a una mezcla de gasolina LV-23 realizada en la refinería de Amuay el 24 de Enero del año 2001, entre los datos que se pueden apreciar se tienen las medidas iniciales (7,52) y finales (50,08) de mezcla dentro del tanque, apoyándose en estos valores y en un programa de Excel donde se encuentran dimensionados los distintos tanques de la refinería de Amuay se pudo conocer que para el caso reportado el porcentaje en volumen del talón es exactamente 15 %, por lo que es aceptable. Este programa y sus resultados son confidenciales para la refinería de Amuay, por lo que no se permitió colocar los resultados directamente en tablas de los porcentajes en volumen de los talones en las mezclas.

Aunque la mezcla correspondiente a la figura 6.1 pasa la prueba anterior, se siguieron evaluando las premisas. En la sección de calidades de la figura en cuestión se puede apreciar que los resultados finales de las calidades son un promedio de los obtenidos durante la corrida del mezclado. Por lo que la mezcla de LV-23 que sirve de ejemplo aún es aceptable. Sin embargo en la sección de observaciones de la figura 6.1 se aprecia entre otras cosas que existió un proceso de corrección al quitar TEL y alquilato de la receta original para no incurrir en excesivas regalías de calidad (octanaje).

Por esto se descarta la mezcla en cuestión de la base de datos para los modelos de predicción de calidades en la gasolina nacional LV-23. Los documentos como la figura 6.1 son confidenciales, el trabajo destinado a evaluarlos se realizó en conjunto con ingenieros de programación quienes verificaron que se siguiera la exigencia de la empresa. Por tal motivo sólo se permitió colocar el resumen de mezcla representado en la figura 6.1.

6.6 Algunos Resúmenes de Mezclas de Gasolinas

Luego del descarte primario de las mezclas se organizó la información de los resúmenes de mezcla para los cuatro tipos de gasolinas seleccionados. Teniendo como base de datos 127 mezclas de LV-22 comprendidas entre Enero del 2000 y Agosto del 2001, 147 mezclas de LV-23 comprendidas entre la misma fecha, 36 mezclas de L-154I comprendidas entre Enero del 2000 y Agosto del 2001 y por último 45 mezclas de L-154V comprendidas entre Marzo del 2000 y Junio del 2001.

Además de la cantidad de mezclas anteriores, se obtuvieron 7 de LV-22 correspondientes al mes de Septiembre del 2001, 8 de LV-23 y 10 de L-154I correspondientes al mismo mes, mientras que para el caso de la L-154V se obtuvieron 10 mezclas adicionales correspondientes a los meses de Julio y Agosto del 2001. Estas mezclas sirvieron posteriormente para verificar la validez de los modelos propuestos, ya que las mismas fueron realizadas en la refinería después de poseer completamente los nuevos modelos de predicción de calidades.

Del estudio de los resúmenes de mezcla de gasolinas se puede determinar más o menos una receta típica para cada tipo de gasolina, además conocer qué componentes son comunes en los distintos tipos de gasolina así como también cuales no se usan o se usan en situaciones especiales.

En la sección superior de las tablas de resúmenes de mezcla se encuentran los porcentajes en volumen de cada uno de los componentes presentes en las mezclas, además para el caso de las gasolinas LV-22 y LV-23 se reporta la dosificación de TEL. La sección inferior de las tablas está destinada a las calidades más importantes de cada tipo de gasolina, las cuales fueron objeto de estudio y se obtuvieron los nuevos modelos de predicción de calidades.

Parte de los resúmenes de mezcla de la gasolina mercado local popular LV-22 se reportan en la tabla 6.20. Las mezclas contenidas en dicha tabla

corresponden al período Enero-Marzo del 2000. Las celdas sombreadas que aparecen en la sección superior de la tabla 6.20 significan que dichos componentes no se encuentran presentes en las recetas.

Tabla 6.20 Resumen de Mezcla de LV-22 para el período Enero-Marzo de 2000.

| | | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tanque | 40 | 43 | 43 | 41 | 43 | 41 | 41 | 43 | 41 |
| Fecha | 14 | 20 | 04 | 15 | 20 | 29 | 03 | 05 | 17 |
| Mezcla | Ene | Ene | Feb | Feb | Feb | Feb | Mar | Mar | Mar |
| nC4 | 3,1 | 2,6 | 7,1 | 1,4 | 0,6 | 5,7 | 4,5 | 0,6 | 0,1 |
| LVN | 9,8 | 26,1 | 8,4 | 5,3 | 6,7 | 3,6 | 1,9 | 15,7 | 17,5 |
| HVN | 9,1 | 19,7 | 6,4 | | | 11,7 | 12,2 | | |
| HDS | 6,9 | | | | | 12,0 | 11,5 | | |
| LCN | 22,5 | | 19,3 | 40,7 | 30,8 | | | 27,2 | 18,9 |
| HCN | 34,9 | 17,4 | 41,8 | 41,5 | 46,3 | 17,7 | 16,7 | 37,4 | 45,9 |
| LKN | 13,7 | 12,4 | 16,9 | 11,1 | 15,7 | 10,7 | 15,5 | 19,2 | 17,6 |
| Alquilato | | 10,4 | | | | 19,5 | 17,3 | | |
| Reformado | | 11,4 | | | | 19,1 | 20,4 | | |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| TEL (g/lts) | 0,15 | 0,20 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,02 | 0,02 | 0,16 | 0,09 |
| CALIDADES | | | | | | | | | |
| RON | 88,8 | 88,7 | 89 | 88,8 | 89,7 | 88,7 | 88,7 | 89,8 | 91,3 |
| MON | 80,0 | 82,1 | 80,4 | 80,1 | 80,2 | 80,6 | 80,6 | 81 | 80,6 |
| RVP | 8,8 | 8,8 | 9,19 | 9,05 | 9,44 | 9,4 | 9,4 | 9,1 | 9,16 |
| T-10 | 131 | 137 | 129 | 130 | 128 | 128 | 128 | 126 | 126 |
| T-50 | 222 | 220 | 221 | 236 | 237 | 198 | 198 | 219 | 223 |
| T-90 | 373 | 358 | 374 | 379 | 383 | 332 | 332 | 381 | 378 |
| Aromáticos | 16,0 | 16,4 | 17,4 | 18,0 | 17,2 | 18,0 | 18,0 | 19,0 | 17,5 |
| Olefinas | 18,3 | 18,4 | 15,7 | 16,0 | 18,2 | 17,3 | 17,3 | 18,2 | 19 |
| FBP | 422 | 415 | 428 | 431 | 430 | 411 | 410 | 432 | 429 |

Como se puede apreciar en la tabla 6.20 para la gasolina LV-22 nunca se utilizan oxigenados (TAME y MTBE), ya que el octanaje de la gasolina popular destinada al mercado local debe ser solo 87 octanos de RON, pero la principal razón es debido al elevado costo de dichos compuestos y al poco valor agregado que se obtendría en las gasolinas LV-22. Por las mismas razones además de los oxigenados otros componentes como el reformado y alquilato son usados para preparar gasolinas LV-22 sólo en casos especiales.

Dentro de estos casos especiales se pueden ubicar: el exceso de los componentes antes mencionados y falta de capacidad para almacenarlos, la ausencia de algún componente normalmente usado en las mezclas de LV-22,

calidades deficientes de los componentes que comúnmente se utilizan por lo que los componentes excepcionales se usan con el objeto de cumplir especificaciones, entre otros.

En la tabla 6.20 se aprecia cómo básicamente la gasolina LV-22 está conformada por las naftas catalíticas HCN y LCN y por LKN, generalmente estos tres componentes superan el 80 % del volumen total de las mezclas de gasolina LV-22. Además, en la misma tabla se puede apreciar como los valores de calidad obtenidos a partir de los análisis de laboratorio se encuentran por el orden de magnitud de los esperados teóricamente, los cuales se encuentran tabulados en la tabla 4.2.

Calidades como el RON y el MON de la tabla 6.20 en algunos casos presentan valores ligeramente por debajo (hasta 0,3 octanos) y en otros ligeramente por encima (hasta 2,3 octanos) de las exigencias del mercado, lo que se traduce en riesgos de no ser aceptadas las gasolinas por no cumplir especificaciones y generación de regalías por concepto de calidad respectivamente.

A continuación se presenta reportados en la tabla 6.21 las mezclas de gasolina LV-23 correspondientes al período Enero-Marzo del 2000. Las celdas sombreadas que aparecen la tabla 6.21 significan que los componentes no están presentes en las recetas.

Tabla 6.21 Resumen de Mezcla de LV-23 para el período Enero-Marzo de 2000.

| Tanque | 47 | 46 | 47 | 46 | 46 | 46 | 47 | 46 | 46 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fecha Mezcla | 02 Ene | 09 Ene | 14 Ene | 18 Ene | 03 Feb | 08 Feb | 16 Feb | 21 Feb | 03 Mar |
| nC4 | 3,0 | 4,1 | 4,0 | 3,6 | 3,7 | 2,9 | 3,8 | 3,0 | 2,0 |
| LVN | 14,4 | 7,4 | 13,0 | 11,9 | 9,6 | 8,5 | | | |
| HVN | 10,8 | 10,4 | 10,6 | 13,2 | | | | | |
| HDS | | | | | 10,4 | | | | |
| LCN | 12,0 | | | | | | 8,5 | 23,8 | 38,1 |
| HCN | | 16,0 | 14,8 | 22,8 | 10,5 | 24,1 | 24,2 | 9,0 | 15,2 |
| LKN | 10,7 | 6,5 | 8,0 | 6,6 | 14,0 | 13,6 | 12,7 | 11,9 | 10,3 |
| Alquilato | 33,7 | 28,6 | 21,0 | 11,9 | 31,2 | 32,6 | | | 8,5 |
| Reformado | 15,4 | 27,0 | 28,4 | 30,0 | 20,6 | 18,3 | 50,8 | 52,3 | 26,0 |

| Continuación de la Tabla 6.21 | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| TEL (g/lts) | 0,262 | 0,271 | 0,29 | 0,351 | 0,56 | 0,377 | 0,38 | 0,538 | 0,576 |
| CALIDADES | | | | | | | | | |
| RON | 94,6 | 95,6 | 95,4 | 96 | 96,6 | 97 | 98 | 98,6 | 97,8 |
| MON | 87 | 87,8 | 87 | 87 | 87 | 87,6 | 87 | 87,2 | 87,5 |
| RVP | 8,95 | 9,4 | 9,2 | 9,2 | 8,98 | 9,04 | 9,49 | 9,33 | 8,91 |
| T-10 | 137 | 142 | 137 | 140 | 139 | 138 | 139 | 141 | 139 |
| T-50 | 209 | 232 | 221 | 244 | 222 | 222 | 243 | 236 | 244 |
| T-90 | 328 | 349 | 336 | 358 | 336 | 357 | 363 | 340 | 367 |
| Aromáticos | 18,2 | 14,3 | 14,9 | 16,9 | 32,7 | 31,3 | 32,1 | 28,7 | 27,5 |
| Olefinas | 18,5 | 16,5 | 16,8 | 18,4 | 17,5 | 18,1 | 18,5 | 19,1 | 21,2 |
| FBP | 414 | 422 | 407 | 424 | 413 | 422 | 425 | 413 | 432 |

En la tabla 6.21 se puede observar como los oxigenados al igual que en la gasolina LV-22 no son utilizados para elaborar la gasolina LV-23. Sin embargo, debido a las calidades del alquilato y el reformado muy similares a las de la gasolina LV-23, éstos componentes son de uso muy frecuente en las mezclas de dicha gasolina. Además, generalmente están presentes en proporciones considerables en relación al resto de los componentes llegando a ser en muchos casos los de mayor presencia en la mezcla.

En la sección de calidades de la tabla 6.21 se puede apreciar que existen valores de RON ligeramente por debajo de las exigencias del mercado (94,6 octanos) así como también valores que incurren en regalías de calidad (incluso de 3,6 octanos). Además, en la tabla 6.21 se encuentran valores de MON que exceden las exigencias del mercado, lo cual representa pérdidas por exceso de calidad.

El RVP de las gasolinas LV-22 y LV-23 debe ser menor que 9,5 psi. Cuanto más bajo son los valores de RVP en las gasolinas antes mencionadas se traduce en mayores gastos para la refinería ya que utiliza mayores cantidades de componentes costosos con valores de RVP bajo y no componentes más económicos pero con RVP muy altos como el butano.

Con respecto a la gasolina reformulada destinada al mercado de exportación L-154V, parte de los resúmenes de mezcla se reportan en la próxima

tabla. En vista del cambio de estación climática, las mezclas contenidas en la tabla 6.22 corresponden al período Enero-Septiembre del 2000. Las celdas sombreadas que aparecen en la sección superior de la tabla 6.22 se deben a que dichos componentes no se encuentran presentes en las recetas.

Tabla 6.22 Resumen de Mezcla de L-154I para el período Enero-Octubre de 2000.

| | | | | | | | | | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tanque | 163 | 34 | 30 | 163 | 30 | 34 | 30 | 163 | 163 |
| Fecha Mezcla | 16 Ene | 06 Feb | 10 Feb | 18 Feb | 10 Sep | 10 Sep | 14 Sep | 17 Sep | 26 Sep |
| nC4 | 11,2 | 9,2 | 7,1 | 5,5 | 8,5 | 9,2 | 10,9 | 11,0 | 6,0 |
| LVN | 11,4 | 12,0 | 19,0 | 13,1 | 15,6 | 15,5 | 8,4 | 8,3 | 8,5 |
| HVN | 7,3 | 8,7 | | | | | 5,9 | 7,0 | 9,2 |
| HDS | | | | 5,9 | | | | | |
| TAME | 8,0 | | | | 6,5 | 6,3 | 10,2 | 9,3 | 5,3 |
| LCN | 38,0 | 34,8 | 46,1 | 44,2 | 43,6 | 44,3 | 44,1 | 42,7 | 41,1 |
| Alquilato | 15,1 | 22,2 | 14,9 | 10,7 | 16,5 | 15,3 | 7,9 | 9,2 | 14,2 |
| MTBE | 9,0 | 13,3 | 12,9 | 13,9 | 9,3 | 9,3 | 7,6 | 7,5 | 10,1 |
| Reformado | | | | 6,6 | | | 5,0 | 5,0 | 5,5 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| CALIDADES | | | | | | | | | |
| RON | 91,8 | 91,4 | 91,6 | 91,9 | 91,6 | 91,7 | 91,8 | 91,6 | 91,2 |
| MON | 83,2 | 84 | 82,5 | 82,3 | 83,7 | 83,7 | 83,4 | 83,0 | 83,0 |
| RVP | 12,55 | 12,6 | 12,76 | 12,4 | 12,31 | 12,31 | 12,28 | 12,44 | 12,50 |
| Oxígeno | 2,5 | 2,3 | 2,4 | 2,6 | 2,2 | 2,4 | 2,1 | 2,3 | 2,1 |
| Azufre | 233 | 280 | 340 | 346 | 126,0 | 147,0 | 140,0 | 162,0 | 171,0 |
| Olefinas | 14,6 | 9,3 | 10 | 12,2 | 17,4 | 15,9 | 18,6 | 16,8 | 18,2 |
| Aromáticos | 8,6 | 12,1 | 12,7 | 13,7 | 7,0 | 6,5 | 11,0 | 11,5 | 11,5 |
| Benceno | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,5 |
| Dest. T-10 | 118 | 119 | 122 | 119 | 119 | 115 | 114 | 115 | 117 |
| Dest. T-50 | 188 | 190 | 176 | 182 | 178 | 174 | 185 | 187 | 192 |
| Dest. T-90 | 277 | 295 | 286 | 298 | 260 | 255 | 279 | 276 | 284 |
| Dest. FBP | 369 | 382 | 379 | 387 | 344 | 342 | 357 | 360 | 373 |

En la gasolina L-154I generalmente se utiliza el TAME como uno de sus componentes, pero en pequeñas proporciones debido al costo de este componente. El LCN es el componente que generalmente se encuentra en mayor proporción en la gasolina L-154I.

Además como se aprecia en la tabla 6.22, componentes como el HDS y reformado se utilizan sólo en casos especiales teniendo cuidado que los valores de calidad de los mismos no afecten las metas de alcanzar ciertas calidades en la gasolina resultante. El HCN y LKN nunca fueron usados para la obtención de

gasolina L-154I durante el período de estudio, por esto no aparecen en la tabla 6.22.

Las gasolinas destinadas al mercado de exportación deben cumplir con un mayor número de exigencias debido al riguroso control de calidad al que son sometidas principalmente por los Estados Unidos.

En el caso de la gasolina reformulada L-154I los valores de calidad reportados en la tabla 6.22 deben cumplir con todas las especificaciones porque el cliente (USA) así lo demanda. Por esto dichos valores generalmente presentan regalías como medida de garantizar que la gasolina cumpla con las exigencias mínimas del mercado de destino.

Parte de los resúmenes de mezcla de la gasolina de exportación calidad verano L-154V se reportan en la tabla 6.23. Las mezclas contenidas en dicha tabla corresponden al período Marzo-Mayo del 2000. Las celdas sombreadas que aparecen en la tabla significan que dichos componentes no se encuentran presentes en las mezclas.

Tabla 6.23 Mezclas de L-154V para el período 200-2001.

| Tanque | 30 | 34 | 163 | 34 | 163 | 163 | 163 | 30 | 30 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fecha | 29 | 01 | 10 | 14 | 20 | 19 | 22 | 25 | 30 |
| Mezcla | Mar | Abr | Abr | Abr | Abr | May | May | May | May |
| nC4 | | | | 1,3 | 1,5 | 2,1 | 2,3 | 2,1 | 2,5 |
| LVN | 13,0 | 12,5 | 8,5 | | | | | | |
| HVN | 5,9 | | | | | | | | 10,6 |
| HDS | | | | 10,0 | 9,2 | 10,1 | 10,4 | 8,7 | |
| TAME | | | 7,5 | 7,5 | 7,1 | 5,3 | 6,3 | 8,6 | 4,9 |
| LCN | 38,1 | 39,2 | 53,6 | 43,0 | 48,6 | 41,5 | 42,7 | 36,4 | 30,0 |
| HCN | | 4,8 | | | | | | | 10,2 |
| Alquilato | 31,0 | 30,9 | 20,1 | 28,2 | 24,8 | 26,2 | 28,7 | 34,2 | 31,8 |
| MTBE | 12,0 | 12,5 | 10,3 | 10,0 | 8,7 | 9,8 | 9,5 | 10,0 | 10,0 |
| Reformado | | | | | | 5,0 | | | |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| CALIDADES | | | | | | | | | |
| RON | 90,2 | 91,3 | 92 | 91,6 | 91,8 | 91,5 | 91,4 | 91,3 | 91,3 |
| MON | 83,8 | 83,9 | 83,7 | 83,8 | 83 | 83,2 | 82,7 | 83 | 83,3 |
| RVP | 6,98 | 6,92 | 6,74 | 6,73 | 6,69 | 6,4 | 6,89 | 6,89 | 6,86 |
| Oxigeno | 2,1 | 2,3 | 2,5 | 2,2 | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 |

| Continuación de la Tabla 6.23 | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Azufre | 200 | 214 | 230 | 272 | 200 | 169 | 172 | 184 | 254 |
| Olefinas | 8,2 | 8,3 | 9,2 | 10,2 | 13,9 | 12,3 | 11,7 | 12,9 | 13,5 |
| Aromáticos | 11,5 | 12,9 | 14,5 | 10,9 | 10,1 | 12,3 | 12,6 | 13,1 | 10,9 |
| Benceno | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Dest. T-10 | 147 | 146 | 148 | 155 | 154 | 158 | 157 | 156 | 149 |
| Dest. T-50 | 199 | 197 | 194 | 206 | 200 | 209 | 208 | 209 | 212 |
| Dest. T-90 | 286 | 287 | 281 | 300 | 286 | 292 | 288 | 302 | 325 |
| Dest. FBP | 374 | 389 | 377 | 393 | 369 | 380 | 373 | 396 | 412 |

En la tabla 6.23 se observa como para preparar gasolina L-154V se utilizan generalmente componentes como el LCN, alquilato y los oxigenados; siendo los dos primeros los de mayor presencia en las mezclas. Componentes como el HDS, HVN y reformado se utilizan en casos especiales como los mencionados anteriormente para los otros tipos de gasolina.

En la sección de calidades de la tabla 6.23 se aprecia como la diferencia básica entre la gasolina L-154I y L-154V es el valor del RVP, siendo más bajo en el caso del verano. Al igual que en la tabla 6.22 si se comparan los valores con los reportados en la tabla 4.2, se observa como los valores de calidad generalmente presentan regalías como medida de garantizar que la gasolina L-154V cumpla con las exigencias mínimas impuestas por el mercado de los Estados Unidos.

6.7 Algunos Factores de Aporte de los componentes a las calidades finales de las gasolinas

Los factores de aporte se determinaron utilizando las calidades de los componentes, obtenidas por análisis de laboratorio o a partir de los índices de mezcla, en conjunto con los porcentajes en volumen de cada componente en las mezclas realizadas durante el período Enero de 2000–Agosto de 2001 de las gasolinas LV-22, LV-23, L-154I y L-154V aplicando la ecuación 18.

A continuación se presentan en tablas parte de los factores de aporte de los componentes al RVP de las gasolinas estudiadas. La tabla 6.24 corresponde a una fracción de los factores de aporte de los componentes al RVP de la LV-22, la 6.25

al RVP de la LV-23, la 6.26 al RVP de la L-154I y la 6.27 corresponde una fracción de factores de aporte al RVP de la L-154V.

Tabla 6.24 Factores de aporte al RVP de LV-22.

| nC4 | LVN | HVN | HDS | LCN | HCN | LKN | ALQ | MTBE | REF | RVP Lab |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| 2,21 | 1,11 | 0,18 | 0,23 | 1,46 | 2,09 | 1,61 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,81 |
| 1,86 | 2,95 | 0,39 | 0,00 | 0,00 | 1,04 | 1,46 | 0,48 | 0,00 | 0,63 | 8,75 |
| 5,08 | 0,95 | 0,12 | 0,00 | 1,26 | 3,64 | 1,88 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,19 |
| 0,98 | 0,59 | 0,00 | 0,00 | 2,65 | 3,61 | 1,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,05 |
| 0,43 | 0,75 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 4,02 | 1,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,44 |
| 4,10 | 0,40 | 0,23 | 0,40 | 0,00 | 1,54 | 1,19 | 1,06 | 0,00 | 1,12 | 9,40 |
| 3,23 | 0,21 | 0,21 | 0,38 | 0,00 | 1,29 | 1,80 | 0,88 | 0,00 | 1,40 | 9,40 |
| 0,40 | 1,73 | 0,00 | 0,00 | 1,63 | 2,89 | 2,23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,10 |
| 0,09 | 1,93 | 0,00 | 0,00 | 1,14 | 3,54 | 2,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,16 |
| 0,10 | 1,88 | 0,00 | 0,00 | 2,53 | 1,78 | 2,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,72 |
| 0,08 | 1,70 | 0,00 | 0,00 | 1,50 | 3,29 | 1,97 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,16 |
| 1,58 | 1,30 | 0,22 | 0,42 | 0,92 | 1,37 | 1,31 | 0,00 | 0,00 | 1,12 | 8,21 |
| 0,39 | 1,87 | 0,00 | 0,00 | 0,92 | 4,28 | 2,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,12 |
| 1,65 | 0,00 | 0,13 | 0,33 | 0,88 | 1,84 | 1,99 | 0,00 | 0,00 | 1,15 | 8,98 |
| 1,30 | 0,00 | 0,35 | 0,33 | 0,79 | 1,65 | 1,64 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 7,98 |
| 1,48 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 4,76 | 2,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,19 |
| 0,29 | 3,46 | 0,00 | 0,00 | 0,91 | 4,19 | 0,00 | 0,00 | 0,43 | 0,00 | 9,05 |
| 1,87 | 0,84 | 0,10 | 0,21 | 1,43 | 2,61 | 0,88 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,69 |
| 2,73 | 0,64 | 0,09 | 0,20 | 1,44 | 2,61 | 0,95 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,35 |

Tabla 6.25 Factores de aporte al RVP de LV-23 (2000-2001).

| nC4 | LVN | HVN | HDS | LCN | HCN | LKN | ALQ | MTBE | REF | RVP Lab |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| 2,13 | 1,63 | 0,21 | 0,00 | 0,78 | 0,00 | 1,26 | 1,55 | 0,00 | 0,85 | 8,95 |
| 2,93 | 0,84 | 0,21 | 0,00 | 0,00 | 0,96 | 0,77 | 1,32 | 0,00 | 1,21 | 9,40 |
| 2,91 | 1,47 | 0,21 | 0,00 | 0,00 | 0,89 | 0,94 | 0,97 | 0,00 | 1,57 | 9,20 |
| 2,57 | 1,35 | 0,26 | 0,00 | 0,00 | 1,37 | 0,77 | 0,55 | 0,00 | 1,65 | 9,20 |
| 2,67 | 1,08 | 0,00 | 0,34 | 0,00 | 0,91 | 1,56 | 1,69 | 0,00 | 1,20 | 8,98 |
| 2,08 | 0,96 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,10 | 1,51 | 1,77 | 0,00 | 1,07 | 9,04 |
| 2,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,55 | 2,11 | 1,42 | 0,00 | 0,00 | 2,97 | 9,49 |
| 2,18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,55 | 0,78 | 1,33 | 0,00 | 0,00 | 3,06 | 9,33 |
| 1,41 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,28 | 1,17 | 1,20 | 0,43 | 0,00 | 1,44 | 8,91 |
| 1,92 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,08 | 1,68 | 0,78 | 0,96 | 0,00 | 1,50 | 8,88 |
| 2,49 | 1,04 | 0,00 | 0,00 | 1,54 | 1,06 | 0,69 | 1,01 | 0,00 | 1,51 | 8,91 |
| 2,21 | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 1,51 | 1,15 | 0,88 | 0,89 | 0,00 | 1,43 | 8,07 |
| 1,39 | 1,88 | 0,00 | 0,00 | 0,82 | 1,44 | 0,98 | 0,78 | 0,00 | 1,71 | 9,28 |
| 0,76 | 1,85 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 1,89 | 1,05 | 0,75 | 0,00 | 1,64 | 9,10 |
| 0,95 | 1,52 | 0,00 | 0,00 | 0,80 | 1,75 | 1,14 | 0,69 | 0,00 | 1,75 | 8,22 |
| 2,01 | 0,88 | 0,00 | 0,00 | 0,60 | 1,93 | 1,40 | 0,46 | 0,00 | 2,27 | 8,62 |
| 0,58 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,85 | 0,62 | 2,84 | 0,00 | 0,07 | 8,27 |
| 3,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,41 | 2,19 | 1,85 | 1,13 | 0,00 | 1,24 | 8,60 |

Tabla 6.26 Factores de aporte al RVP de L-154I (2000-2001).

| nC4 | LVN | HVN | HDS | TAME | LCN | HCN | LKN | ALQ | MTBE | REF | RVP Lab |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| 8,05 | 1,29 | 0,14 | 0,00 | 0,41 | 2,28 | 0,00 | 0,00 | 0,70 | 0,76 | 0,00 | 12,55 |
| 6,58 | 1,35 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 2,09 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 1,10 | 0,00 | 12,60 |
| 5,11 | 2,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,76 | 0,00 | 0,00 | 0,81 | 1,07 | 0,00 | 12,76 |
| 3,98 | 1,48 | 0,00 | 0,20 | 0,00 | 2,65 | 0,00 | 0,00 | 0,58 | 1,16 | 0,39 | 12,40 |
| 6,11 | 1,72 | 0,00 | 0,00 | 0,32 | 2,76 | 0,00 | 0,00 | 0,76 | 0,76 | 0,00 | 12,31 |
| 6,62 | 1,71 | 0,00 | 0,00 | 0,31 | 2,81 | 0,00 | 0,00 | 0,71 | 0,76 | 0,00 | 12,31 |
| 7,84 | 0,93 | 0,11 | 0,00 | 0,51 | 2,79 | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 0,62 | 0,19 | 12,28 |
| 7,91 | 0,91 | 0,13 | 0,00 | 0,46 | 2,71 | 0,00 | 0,00 | 0,43 | 0,61 | 0,19 | 12,44 |
| 4,35 | 0,93 | 0,17 | 0,00 | 0,26 | 2,61 | 0,00 | 0,00 | 0,66 | 0,82 | 0,21 | 12,50 |
| 6,32 | 1,18 | 0,09 | 0,00 | 0,44 | 2,70 | 0,00 | 0,00 | 0,37 | 0,77 | 0,23 | 12,60 |
| 7,19 | 1,17 | 0,08 | 0,00 | 0,44 | 2,64 | 0,00 | 0,00 | 0,43 | 0,78 | 0,21 | 12,40 |
| 6,83 | 1,06 | 0,06 | 0,00 | 0,44 | 2,64 | 0,00 | 0,00 | 0,54 | 0,78 | 0,21 | 12,36 |
| 6,83 | 0,97 | 0,07 | 0,00 | 0,38 | 2,53 | 0,00 | 0,00 | 0,95 | 0,73 | 0,00 | 12,01 |
| 7,62 | 1,38 | 0,09 | 0,00 | 0,42 | 2,43 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,69 | 0,20 | 12,53 |
| 6,20 | 1,27 | 0,11 | 0,00 | 0,37 | 2,47 | 0,00 | 0,00 | 0,85 | 0,69 | 0,00 | 12,15 |

Tabla 6.27 Factores de aporte al RVP de L-154V (2000-2001).

| nC4 | LVN | HVN | HDS | TAME | LCN | HCN | LKN | ALQ | MTBE | REF | RVP Lab |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| 0,00 | 1,43 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 2,29 | 0,00 | 0,00 | 1,57 | 0,99 | 0,00 | 6,98 |
| 0,00 | 1,42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,73 | 0,46 | 0,00 | 1,69 | 1,11 | 0,00 | 6,92 |
| 0,00 | 0,97 | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 2,36 | 0,00 | 0,00 | 1,10 | 0,91 | 0,00 | 6,74 |
| 0,93 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 0,40 | 1,89 | 0,00 | 0,00 | 1,54 | 0,89 | 0,00 | 6,73 |
| 1,08 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,37 | 2,14 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 0,78 | 0,00 | 6,69 |
| 1,52 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 0,32 | 1,58 | 0,00 | 0,00 | 1,16 | 0,82 | 0,17 | 6,40 |
| 1,67 | 0,00 | 0,00 | 0,34 | 0,38 | 1,63 | 0,00 | 0,00 | 1,27 | 0,79 | 0,00 | 6,89 |
| 1,54 | 0,00 | 0,00 | 0,29 | 0,52 | 1,39 | 0,00 | 0,00 | 1,51 | 0,83 | 0,00 | 6,89 |
| 1,77 | 0,00 | 0,20 | 0,00 | 0,30 | 1,15 | 0,83 | 0,00 | 1,41 | 0,83 | 0,00 | 6,86 |
| 1,88 | 0,00 | 0,21 | 0,00 | 0,30 | 1,08 | 0,73 | 0,00 | 1,56 | 0,75 | 0,00 | 6,89 |
| 0,89 | 0,00 | 0,16 | 0,00 | 0,82 | 2,68 | 0,00 | 0,00 | 1,20 | 0,60 | 0,00 | 6,41 |
| 2,17 | 0,00 | 0,18 | 0,00 | 0,66 | 2,35 | 0,00 | 0,00 | 1,22 | 0,59 | 0,27 | 6,54 |
| 1,20 | 0,00 | 0,00 | 0,41 | 0,64 | 2,30 | 0,00 | 0,00 | 1,49 | 0,57 | 0,00 | 6,58 |
| 0,56 | 0,89 | 0,14 | 0,00 | 0,30 | 2,09 | 0,00 | 0,00 | 1,74 | 0,00 | 0,45 | 6,57 |
| 0,06 | 0,88 | 0,14 | 0,00 | 0,30 | 2,18 | 0,00 | 0,00 | 1,71 | 0,67 | 0,00 | 6,96 |
| 0,42 | 0,71 | 0,10 | 0,00 | 0,29 | 2,58 | 0,00 | 0,00 | 1,53 | 0,73 | 0,00 | 6,73 |
| 0,00 | 0,88 | 0,00 | 0,20 | 0,29 | 2,63 | 0,00 | 0,00 | 1,38 | 0,82 | 0,00 | 6,79 |
| 0,24 | 0,92 | 0,00 | 0,20 | 0,29 | 2,63 | 0,00 | 0,00 | 1,36 | 0,81 | 0,00 | 6,72 |
| 0,00 | 0,73 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 2,53 | 0,00 | 0,00 | 1,48 | 1,12 | 0,00 | 6,72 |

Al observar la información resumida en las tablas 6.24 y 6.25, se puede determinar qué componentes afectan en mayor grado al RVP de las gasolinas destinadas al mercado nacional. Estos generalmente son las naftas catalíticas liviana y pesada, el LKN y el Butano. Con respecto a las gasolinas destinadas al

mercado de exportación (tablas 6.26 y 6.27) los componentes de mayor influencia son el LVN, LCN y alquilato. Además en la tabla 6.26 se aprecia como el butano es quien contribuye significativamente al RVP de la gasolina L-154I, esto se debe a ligeros aumentos de las cantidades del mismo en las mezclas, lo cual se puede comprobar en los resúmenes de mezcla.

La mayor o menor influencia de un componente a una determinada calidad de la gasolina se debe a las magnitudes de calidad y porcentaje en volumen del componente en la mezcla, así que generalmente los componentes que se encuentran en mayor cantidad en las mezclas son los que presentan mayores valores, a menos que los valores de calidad de alguno de los componentes sean significativamente superiores a los del resto de los componentes.

Tal es el caso del RVP en el butano, el contenido de oxígeno y octanajes en el MTBE y TAME, las temperaturas de la curva de destilación en el Alquilato y el HCN, el contenido de aromáticos en el Reformado y el HCN, el contenido de olefinas en el LCN, el contenido de Azufre en el HCN, entre otros. Una ligera variación a alguno de los componentes mencionados causará variaciones sensibles de las calidades antes mencionadas, por lo que se debe evitar trabajar con calidades no actualizadas así como también cuidar que no existan errores a la hora de dosificar los componentes en la mezcla o de reportar la receta final en los documentos de resúmenes de mezcla.

Las tablas correspondientes a los factores de aporte poseen en la última columna de la derecha el valor de la calidad final en la gasolina obtenida de análisis de laboratorio, esto es para determinar fácilmente a qué mezcla corresponden los coeficientes así como también para facilitar la ejecución de los programas PLS y ARM (porque los valores de calidad corresponden a las variables dependientes de los modelos, mientras que los factores de aporte a las independientes).

Como ya se mencionó, las gasolinas deben cumplir con exigencias impuestas por el mercado consumidor, éstas sólo requieren que los parámetros de calidad más importantes se encuentren dentro de un rango de especificaciones. Por esta razón se aplicó una técnica de control estadístico de proceso para determinar si el mismo era controlable, así como también para eliminar de la base de datos las mezclas que lo impedían y poder aplicar los programas de regresión.

6.8 Control estadístico de procesos (CEP)

Para realizar el CEP se evaluó cada una de las calidades de las gasolinas seleccionadas a través de dos gráficos de control, el de rango móvil y el de individuos - rango móvil. Para ambos gráficos se verificó el cumplimiento de las reglas de CEP enunciadas en la sección 4.10.1, esto permitió determinar cuándo una calidad final era estadísticamente controlable (consistencia del proceso).

Debido a la cantidad de gráficos que se generaron y a que el estudio de los mismos es simplemente verificar que no se viole ninguna de las reglas de consistencia. Se decidió colocar en esta sección una parte de los mismos, correspondientes al RVP, RON y MON de la gasolina LV-22. A continuación se presentan las figuras 6.2 y 6.3 donde se muestran los gráficos de control rango destinados a evaluar la consistencia del RVP en la gasolina LV-22.

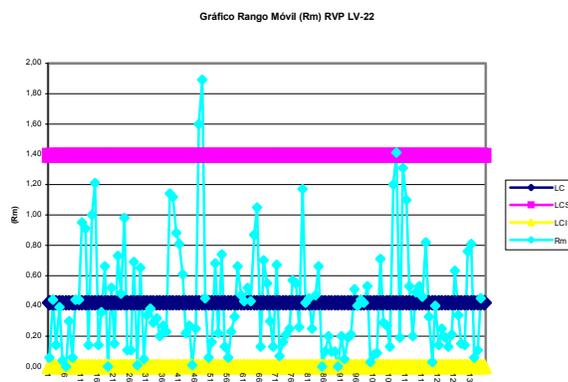


Figura 6.2 Gráfico Original Rango Móvil (Rm) RVP LV-22.

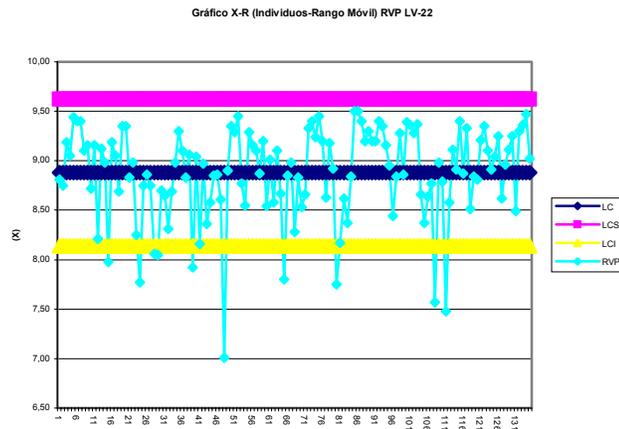


Figura 6.3 Gráfico Original X-R (Individuos-Rango Móvil) RVP LV-22.

Para elaborar los gráficos de las figuras 6.2 y 6.3 se utilizaron los valores de RVP correspondientes a las 134 mezclas de LV-22 realizadas entre Enero de 200 y Septiembre de 2001. Como se observa en la figura 6.2 existen dos puntos que exceden el límite de control superior, por lo que se rompe con una de las restricciones. Además, de la misma figura se puede sacar que el comportamiento de los datos muestra en varias oportunidades series mayores a siete valores consecutivos por debajo de la línea central, lo que equivale a una violación más de las reglas estadísticas.

Con respecto a la figura 6.3, se observa como existen valores de RVP que se encuentran por debajo del límite de control inferior y series de más de siete valores consecutivos por encima y por debajo de la línea central. Así que no se satisfacen las condiciones para aceptar completamente la serie de datos. De observar los resultados expuestos en las figuras 6.2 y 6.3 se determina que se deben descartar algunas mezclas de la base de datos del RVP hasta obtener la consistencia deseada para generar los nuevos modelos.

Sí al menos uno de los dos gráficos no cumpliera con las restricciones, pero el otro si, se deben descartar mezclas de la base de datos hasta que ambos gráficos satisfagan las condiciones. Con respecto al RVP se eliminaron de la base

de datos cinco recetas, se realizaron de nuevo ambos gráficos con las 129 mezclas restantes y se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras 6.4 y 6.5.

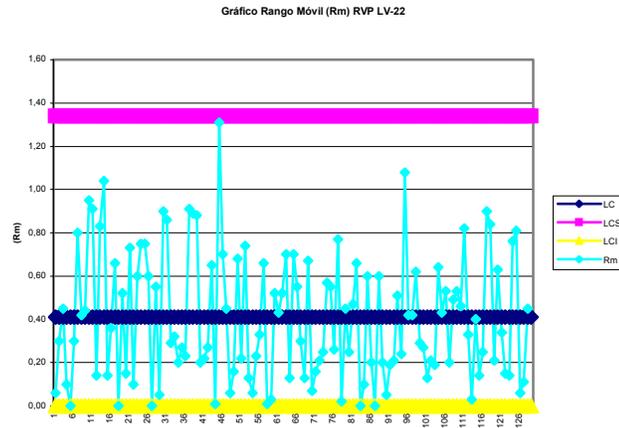


Figura 6.4 Gráfico Definitivo Rango Móvil (Rm) RVP LV-22.

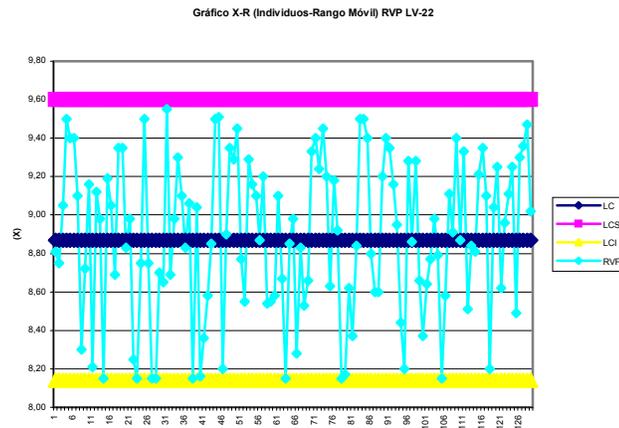


Figura 6.5 Gráfico Definitivo X-R (Individuos-Rango Móvil) RVP LV-22.

Al evaluar los gráficos representados en las figuras 6.4 y 6.5 se observa como para ninguno de los dos se muestran puntos que excedan o no alcancen estar dentro de los límites de control, no existen series de siete valores consecutivos por encima o por debajo de la línea central de ambos gráficos y además ninguno de los dos gráficos muestra tendencia alguna hacia el alza o la baja que ponga en peligro traspasos a los límites de control.

A continuación se presentan las figuras 6.6 y 6.7 donde se muestran el gráfico de rango móvil y el de individuos – rango móvil destinados a evaluar la consistencia del RON en la gasolina LV-22. Seguidamente se muestran las figuras 6.8 y 6.9 que representan los gráficos antes mencionados para el MON de la gasolina LV-22. Vale la pena recordar que al igual que para el caso del RVP presentado en las figuras 6.2 y 6.3 y el resto de los parámetros de calidad correspondientes a la gasolina mercado local popular LV-22, se utilizaron las 134 mezclas de LV-22 correspondientes al período Enero de 2000 – Septiembre de 2001.

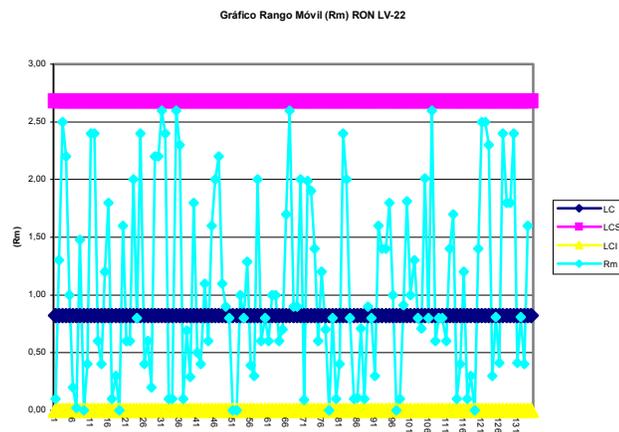


Figura 6.6 Gráfico Rango Móvil (Rm) RON LV-22.

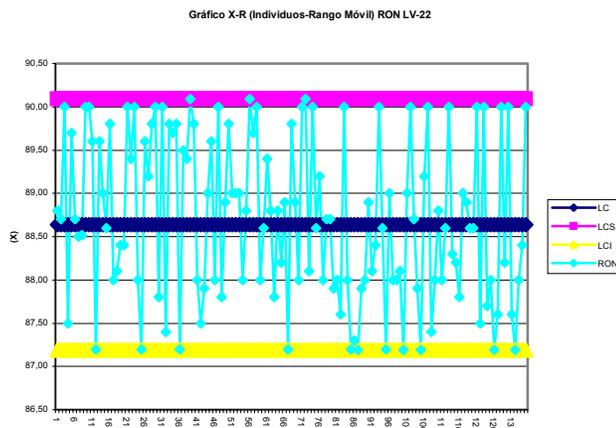


Figura 6.7 Gráfico X-R (Individuos-Rango Móvil) RON LV-22.

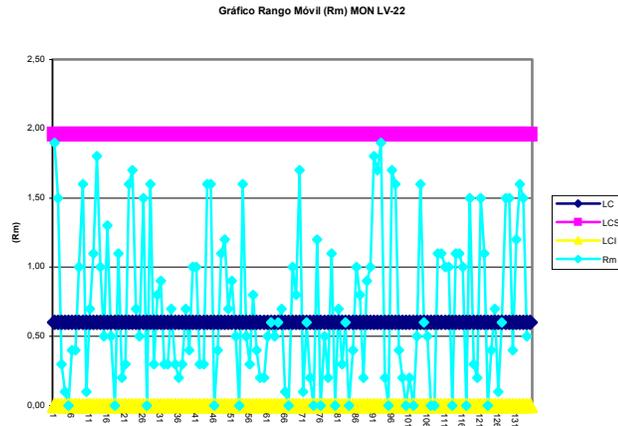


Figura 6.8 Gráfico Rango Móvil (Rm) MON LV-22.

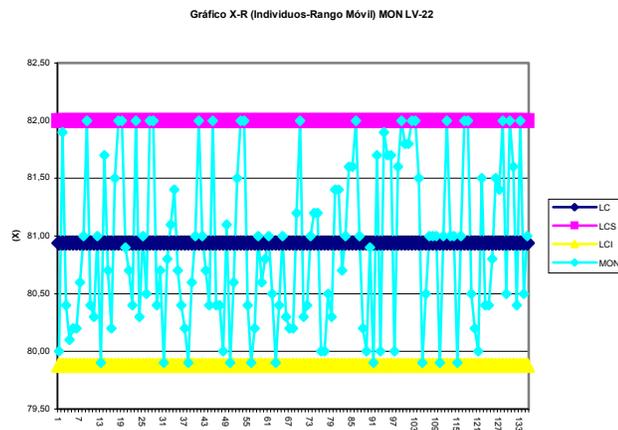


Figura 6.9 Gráfico X-R (Individuos-Rango Móvil) MON LV-22.

Al evaluar los gráficos representados en las figuras 6.6, 6.7, 6.8 y 6.9 se observa como para ninguno de ellos se muestran puntos que excedan o no alcancen estar dentro de los límites de control, no existen series de siete valores consecutivos por encima o por debajo de la línea central de los gráficos y además ninguno de ellos muestra tendencia alguna hacia el alza o la baja que evidencie la posibilidad de traspasos a los límites de control. Por esto tanto el RON como el MON de la gasolina LV-22 son consistentes y no requieren de descartes adicionales de los datos.

Con respecto al resto de las calidades de la gasolina LV-22, se puede decir que el total de las 134 mezclas demuestran que el descarte primario de los datos fue suficiente y las calidades de la gasolina LV-22 son consistentes estadísticamente.

Para la gasolina LV-23 a excepción del contenido de aromáticos y de olefinas el resto de las calidades generan gráficos de rango móvil e individuos – rango móvil que cumplen con las restricciones estadísticas y denotan consistencia para el total de las 155 mezclas realizadas durante el período estipulado. Para el caso de aromáticos y olefinas se tuvieron que eliminar nueve mezclas para obtener la consistencia, ya que con la base de datos original se obtenían puntos fuera de los límites de control.

Para la gasolina L-154I a excepción del contenido de oxígeno y de la T10 el resto de las calidades generan gráficos de rango móvil e individuos – rango móvil que cumplen con las restricciones estadísticas y denotan consistencia para el total de las 46 mezclas realizadas durante el período estipulado. Con respecto al oxígeno se tuvieron que eliminar hasta veinte mezclas porque al principio se obtenía en ambos tipos de gráfico tanto puntos fuera de los límites de control como series mayores de siete puntos consecutivos de un solo lado de la línea central. En relación a la T50 se tuvieron que eliminar quince mezclas para obtener la consistencia, ya que con la base de datos original se obtenían puntos fuera de los límites de control y series de datos con más de siete puntos de un mismo lado de la línea central.

Para la gasolina L-154V a excepción del RVP y el contenido de azufre el resto de las calidades generaron consistencia en ambos gráficos de CEP para el total de las 55 mezclas realizadas durante el período estipulado. Con respecto al RVP se tuvieron que eliminar hasta 22 mezclas de la base de datos de los modelos porque al principio se obtenían puntos fuera de los límites de control y en más de una ocasión series de datos consecutivos de más de siete puntos de un mismo lado

de la línea central. En relación al contenido de azufre se tuvieron que eliminar diez mezclas para obtener la consistencia, ya que con la base de datos original se obtenían puntos fuera de los límites de control y series de datos con más de siete puntos de un mismo lado de la línea central.

6.9 Resultados del programa PLS

Las mezclas que pasaron la prueba del CEP constituyen la base de datos para los modelos. Para correr el programa PLS se tomaron de 15 a 30 mezclas de las tablas de factores de aporte como las reportadas en la sección 6.7, se llevaron a documentos tipo texto y dentro del programa se seleccionaron las variables dependientes y la variable independiente. Luego de correr el programa para cada una de las calidades de las mezclas de gasolinas realizadas durante el período 2000-2001 se obtuvieron como resultados principales: los análisis estadísticos de los residuales, la comparación gráfica entre el modelo y la realidad y los coeficientes finales del modelo.

Debido a la cantidad significativa de figuras obtenidas y por la analogía de los análisis existentes entre las mismas, a continuación se presentan los resultados obtenidos para el RVP de la LV-22 y la L-154V así como también para la T50 de la LV-23 y el contenido de oxígeno de la L-154I. Las figuras 6.10 hasta la 6.13 corresponden a los resultados del programa PLS para el RVP de la gasolina mercado local popular.



Figura 6.10 Pantalla PLS RVP.

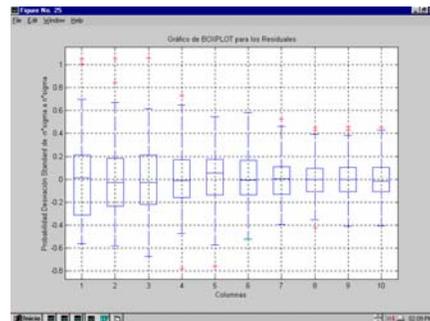


Figura 6.11 Análisis Residuales RVP.

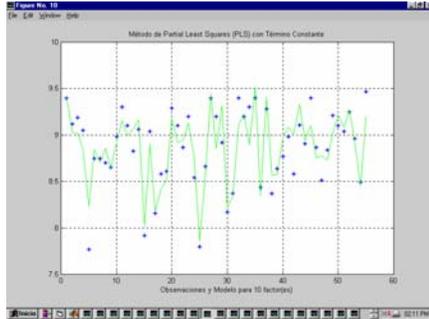


Figura 6.12 RVP laboratorio (*) y modelo.

| Coeficientes Reales del Modelo (Unidades de Ingeniería) | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Factor #1 | Factor #2 | Factor #3 | Factor #4 | Factor #5 | Factor #6 | Factor #7 | Factor #8 | Factor #9 | Factor #10 |
| BUTANO | 0.1122 | 0.2094 | 0.2178 | 0.4468 | 0.5100 | 0.5104 | 0.6176 | 0.6622 | 0.6885 | 0.6949 |
| UNAN | 0.0820 | 0.1207 | 0.1930 | 0.2174 | 0.4742 | 0.6111 | 0.6867 | 0.7201 | 0.7282 | 0.7107 |
| MAN | 0.1729 | 0.0901 | 0.2045 | 0.1005 | -0.0076 | -0.126 | 0.2039 | 0.0302 | 0.701 | 0.0298 |
| HCE | 0.0246 | 0.1977 | 0.2617 | 0.0377 | 0.0505 | 0.0015 | 0.0027 | 0.7407 | 0.7671 | 0.8162 |
| UN | 0.0584 | 0.0262 | 0.0271 | 0.0847 | 0.11976 | 0.0844 | 0.0904 | 0.7096 | 0.7120 | 0.7147 |
| HEX | 0.069 | 0.1377 | 0.1773 | 0.2209 | 0.2701 | 0.31 | 0.0590 | 0.0999 | 0.7026 | 0.7021 |
| UN | 0.089 | 0.0002 | 0.1667 | 0.2602 | 0.4002 | 0.0195 | 0.0209 | 0.7107 | 0.7240 | 0.7230 |
| ALDEHATO | 0.7162 | 0.0193 | 0.0495 | 0.0447 | 0.0003 | 0.2423 | 0.4462 | 0.0436 | 0.0112 | 0.0470 |
| MTBE | 0.0328 | 0.0544 | 0.0206 | 0.0442 | 0.0272 | 0.1229 | 0.1740 | 0.145 | 0.7040 | 0.712 |
| NOXIPENO | 0.2123 | 0.4213 | 0.2006 | 0.1171 | 0.0109 | 0.0462 | 0.7060 | 0.7219 | 0.7014 | 0.6980 |
| BAL | 0.445 | 0.341 | 0.1145 | 0.0144 | 0.1076 | 0.0017 | 2.7080 | 2.2314 | 2.2002 | 2.204 |

Figura 6.13 Coeficientes del modelo RVP.

La figura 6.10 corresponde a la pantalla donde se declaran las variables y luego de ejecutar el programa aparece un mensaje en la esquina superior izquierda, en este caso el mensaje fue de felicitaciones, por haber obtenido un factor de correlación (R^2) de 80,57% que es superior al mínimo estipulado (74%).

Al ejecutar PLS, se obtienen los coeficientes del modelo lineal para distintos números de “factores” que van desde uno hasta el número total de componentes cuyos factores de aporte afectan en alguna mezcla contenida en la base de datos del modelo la calidad final de la gasolina. La figura 6.11 muestra el análisis estadístico de los residuales que realizó el programa para el RVP de la LV-22, sencillamente se seleccionó el número de coeficientes para el cual el recuadro mostrado en la figura es más pequeño tanto por debajo como por arriba de la línea cero o línea central, ya que esto significa que los valores de calidad obtenidos a partir de aplicar los modelos con los coeficientes correspondientes al número de factores seleccionados permiten obtener la menor desviación tanto por arriba y como por debajo del valor real. En la figura 6.11 se aprecia como del octavo al décimo factor no varían las magnitudes de los residuales por lo que se seleccionaron los coeficientes correspondientes al décimo factor.

La figura 6.12 representa la comparación gráfica que realizó el programa PLS de los valores de RVP obtenidos de análisis de laboratorio (*) con los valores de dicha calidad que obtuvo PLS luego de ejecutar el modelo con los coeficientes correspondientes al décimo factor (línea continua). Como se aprecia en dicha

figura los valores del modelo se acercan mucho a los reales así como también muestran que la tendencia del modelo es la misma que la del RVP obtenido por análisis de laboratorio denotando la confiabilidad del modelo obtenido.

Por último la figura 6.13 corresponde a los coeficientes del modelo para los distintos números de factores, de la figura en cuestión se tomaron los correspondientes a la última columna de la derecha, ya que corresponden al décimo factor. Estos valores fueron usados después para predecir el RVP de la LV-22 usando los resultados del programa PLS.

Las figuras que se presentan a continuación 6.14 y 6.15 corresponden respectivamente al análisis estadístico de los residuales y a la comparación gráfica entre la calidad (laboratorio) y el modelo para la T50 de la gasolina mercado local óptima LV-23.

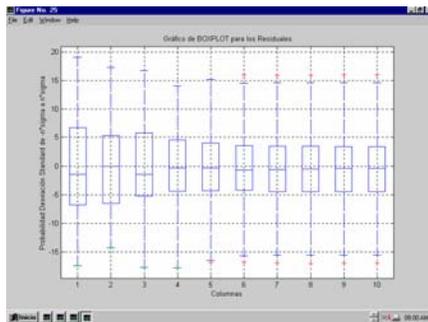


Figura 6.14 Análisis Residuales T50.

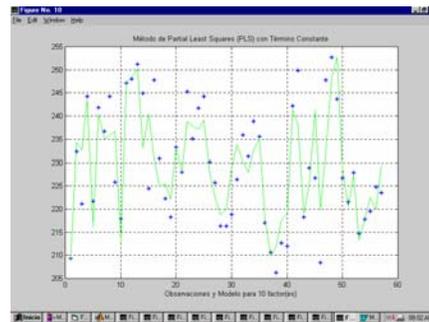


Figura 6.15 T50 laboratorio y modelo.

La figura 6.14 muestra el análisis estadístico de los residuales que realizó el programa para la T50 de la LV-23, se observa como desde el sexto hasta el décimo factor no varían las magnitudes de los residuales por lo que se seleccionaron los coeficientes correspondientes a éste último. La figura 6.15 representa la comparación gráfica entre los valores de T50 obtenidos de análisis de laboratorio (*) con los valores del modelo (línea continua). Como se aprecia en dicha figura los valores del modelo siguen la tendencia de los reales y se acercan mucho a los mismos, por lo tanto el modelo obtenido es confiable.

Las figuras que se presentan a continuación desde la 6.16 hasta la 6.19 corresponden a los resultados obtenidos de ejecutar el programa PLS para el contenido de oxígeno de la gasolina reformulada calidad invierno L-154I.



Figura 6.16 Pantalla PLS Oxígeno.

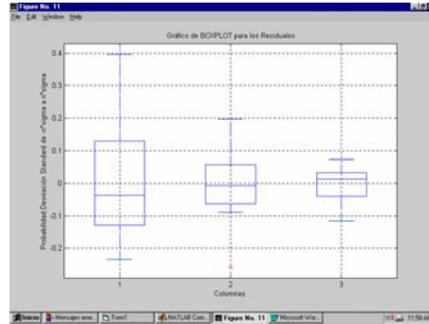


Figura 6.17 Análisis Residuales Oxígeno.

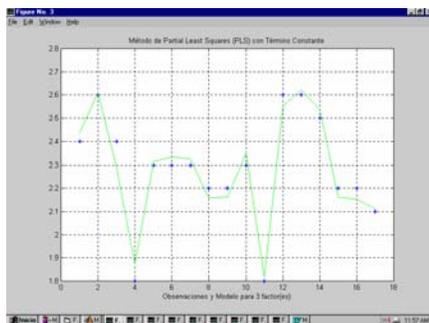


Figura 6.18 Oxígeno laboratorio y modelo.



Figura 6.19 Coeficientes del modelo Oxígeno.

La figura 6.16 muestra como luego de ejecutar el programa PLS para el contenido de oxígeno de la L-154I apareció un mensaje en la esquina superior izquierda de felicitaciones por haber obtenido un R^2 de 90,52 % que es superior al mínimo estipulado (74 %).

La figura 6.17 muestra el análisis estadístico de los residuales para el contenido de oxígeno de la L-154I, se observa como para los coeficientes correspondientes al tercer factor los residuales son de menor magnitud, por lo que se seleccionaron los correspondientes al tercer factor. Vale la pena acotar que el máximo de factores en éste modelo son tres, porque sólo tres componentes (MTBE, TAME y LVN) aportan al contenido de oxígeno de la L-154I.

La figura 6.18 representa la comparación gráfica entre los valores de oxígeno obtenidos de análisis de laboratorio (*) con los valores del modelo (línea continua). Como se aprecia en dicha figura los valores del modelo siguen la tendencia de los valores reales y se acercan mucho a los mismos. La figura 6.19 muestra los coeficientes finales del modelo y de aquí se tomaron los correspondientes al tercer factor.

Las figuras que se presentan a continuación desde la 6.20 hasta la 6.23 corresponden a los resultados obtenidos de ejecutar el programa PLS para el RVP de la gasolina reformulada calidad verano L-154V.



Figura 6.20 Pantalla PLS RVP.

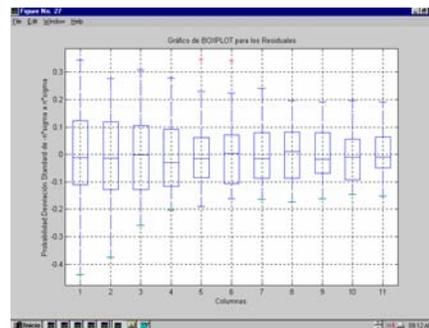


Figura 6.21 Análisis Residuales RVP.

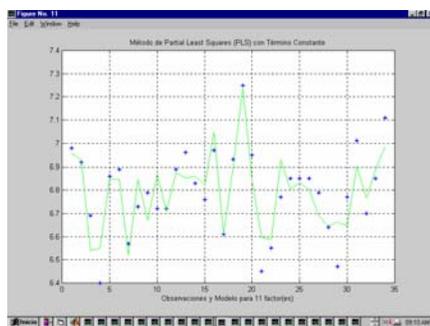


Figura 6.22 RVP laboratorio y modelo.

The screenshot shows a software window titled 'Coeficientes del Modelo (Página F2)'. It displays a table with 11 rows and 2 columns. The first column lists the variables, and the second column lists their corresponding coefficients.

| Factor #11 | |
|------------|--------|
| BUTANO | 0.3071 |
| LON | 0.7028 |
| IRN | 0.3161 |
| HDS | 0.1157 |
| TAME | 0.1091 |
| LCN | 0.7105 |
| HCN | 0.474 |
| LEN | 0.0037 |
| ALGOLATO | 0.5772 |
| MTBE | 1.3637 |
| REFORMADO | 0.3128 |
| SUM | 2.2058 |

Figura 6.23 Coeficientes del modelo RVP.

La figura 6.20 muestra como luego de ejecutar el programa PLS para el RVP de la L-154V apareció un mensaje en la esquina superior izquierda de felicitaciones por haber obtenido un R^2 de 74,78 % que es superior al mínimo estipulado (74 %). La figura 6.21 muestra el análisis estadístico de los residuales,

se observa como para los coeficientes correspondientes al décimo primer factor los residuales son de menor magnitud, por lo que fueron seleccionados.

La figura 6.22 representa la comparación gráfica entre los valores de RVP de la L-154V obtenidos de análisis de laboratorio (*) con los valores del modelo (línea continua). Como se aprecia en dicha figura los valores del modelo siguen la tendencia de los reales y se acercan mucho a los mismos. Por último la figura 6.23 muestra los coeficientes finales del modelo correspondientes al décimo primer factor.

Para el resto de los casos, al igual que los mostrados en esta sección. Se observó primero que el R^2 fuera igual o mayor que 74 %, luego se observaron los análisis estadísticos de los residuales y se seleccionaron aquellos que originaran los residuos de menor magnitud, ya que esto denota menores desviaciones con respecto a los valores reales, luego a través de la comparación gráfica se comprobó la adaptabilidad de los modelos a los valores reales y por último de las tablas de coeficientes del modelo que reporta el programa siguiendo el criterio del análisis estadístico de los residuales se tomaron los coeficientes que permitirán obtener las calidades finales de las gasolinas.

6.10 Coeficientes seleccionados PLS

Luego de correr el programa PLS para todas las calidades de las gasolinas objeto de estudio y de analizar los resultados obtenidos, se seleccionaron los coeficientes que serán usados a la hora de predecir los valores de calidad final de las gasolinas elaboradas en la refinería de Amuay a partir de los resultados de PLS. Estos valores se encuentran reportados en las tablas que se muestran a continuación y fueron llamados índices de mezcla resultantes de aplicar PLS.

Tabla 6.28 Coeficientes seleccionados de los modelos PLS gasolina LV-22.

| LV-22 | RVP | RON | MON | ARO | OLE | T10 | T50 | T90 | FBP |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| nC4 | 0,68 | 0,48 | 0,20 | 0,00 | 1,59 | -0,84 | 1,46 | 0,71 | -0,33 |
| LVN | 0,73 | 0,56 | 0,21 | 0,93 | -7,40 | 0,02 | -0,03 | 0,16 | 0,05 |
| HVN | 0,83 | 0,56 | 0,25 | -0,01 | 0,00 | 0,22 | 0,44 | 0,13 | 0,15 |
| HDS | 0,82 | 0,54 | 0,20 | -0,41 | 24,18 | 0,10 | 0,30 | 0,09 | 0,07 |
| LCN | 0,72 | 0,58 | 0,16 | 0,51 | 0,29 | 0,15 | 0,42 | 0,19 | 0,13 |
| HCN | 0,70 | 0,58 | 0,15 | 0,05 | -0,23 | 0,05 | 0,47 | 0,24 | 0,18 |
| LKN | 0,72 | 0,59 | 0,11 | -4,91 | 0,12 | 0,03 | 0,36 | 0,51 | 0,15 |
| ALQ | 0,85 | 0,62 | 0,15 | 18,58 | 0,00 | 0,17 | 0,58 | 0,33 | 0,17 |
| MTBE | 0,73 | 0,44 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| REF | 0,69 | 0,57 | 0,14 | 0,11 | -0,17 | 0,01 | 0,23 | 0,23 | 0,19 |
| TEL | | 0,20 | 3,17 | | | | | | |
| Bias | 2,20 | 40,34 | 68,30 | 18,87 | 13,85 | 120,45 | 126,64 | 300,23 | 368,50 |

Tabla 6.29 Coeficientes seleccionados de los modelos PLS gasolina LV-23.

| LV-23 | RVP | RON | MON | ARO | OLE | T10 | T50 | T90 | FBP |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| nC4 | 0,25 | 0,04 | 0,05 | 0,00 | -0,06 | -0,37 | 0,54 | 1,73 | -4,24 |
| LVN | 0,02 | -0,06 | 0,02 | -2,27 | -15,09 | -0,62 | 0,01 | 0,10 | 0,37 |
| HVN | 2,53 | -0,12 | -0,06 | -3,55 | 0,00 | 0,20 | 0,35 | 0,07 | 0,41 |
| HDS | 0,18 | -0,19 | 0,03 | -1,06 | -4,88 | 0,37 | 0,37 | -0,04 | 0,83 |
| LCN | 0,16 | 0,05 | 0,01 | -1,22 | 0,26 | 0,20 | 0,18 | -0,02 | -1,44 |
| HCN | 0,18 | 0,05 | -0,01 | -0,49 | -0,49 | 0,29 | 0,39 | 0,39 | 0,01 |
| LKN | 0,06 | 0,06 | 0,00 | -4,51 | 0,21 | 0,95 | 0,04 | 0,19 | -1,01 |
| ALQ | -0,07 | 0,02 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,32 | 0,13 | -0,07 | 0,02 |
| MTBE | 0,00 | 0,04 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | -0,40 | -0,71 | 0,23 | 0,68 |
| REF | -0,12 | 0,08 | 0,01 | -0,09 | -1,31 | 0,30 | 0,33 | -0,01 | 0,16 |
| TEL | | 2,46 | 0,41 | | | | | | |
| Bias | 7,82 | 92,18 | 86,36 | 33,89 | 16,71 | 93,44 | 169,21 | 313,34 | 442,09 |

Tabla 6.30 Coeficientes seleccionados de los modelos PLS gasolina L-154I.

| L-154I | RVP | RON | MON | OXÍ | AZU | ARO | BEN | OLE | T10 | T50 | T90 | FBP |
|--------|------|-------|-------|------|--------|------|------|--------|-------|-------|-------|--------|
| nC4 | 0,66 | 0,39 | 0,78 | 0,00 | 17,37 | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,84 | -0,68 | 0,53 | -1,59 |
| LVN | 0,96 | 0,39 | 0,94 | 0,95 | 3,15 | 2,17 | 0,72 | 13,17 | 0,60 | 0,28 | 0,87 | 0,57 |
| HVN | 3,88 | 0,41 | 1,02 | 0,00 | 1,16 | 1,19 | 1,15 | 0,00 | 0,48 | 0,59 | 0,99 | 0,76 |
| HDS | 2,24 | 0,43 | 1,09 | 0,00 | 42,78 | 1,54 | 1,74 | -21,22 | 0,46 | 0,47 | 0,98 | 1,33 |
| TAME | 1,86 | 0,30 | 0,86 | 0,96 | 0,00 | 0,00 | 0,28 | -0,33 | 0,53 | 0,83 | 0,65 | 0,11 |
| LCN | 1,34 | 0,32 | 0,84 | 0,00 | 1,06 | 0,82 | 0,71 | 0,84 | 0,46 | 0,52 | 0,93 | 0,47 |
| HCN | 1,58 | 0,33 | 0,80 | 0,00 | 0,92 | 0,74 | 2,05 | 2,68 | 0,48 | 0,49 | 1,02 | 0,78 |
| LKN | 0,64 | 0,34 | 1,00 | 0,00 | 0,98 | 3,29 | 2,99 | 1,23 | 0,31 | 0,33 | 0,94 | 0,58 |
| ALQ | 1,80 | 0,32 | 0,80 | 0,00 | 0,82 | 3,54 | 0,00 | 0,00 | 0,57 | 0,56 | 0,84 | 0,43 |
| MTBE | 1,01 | 0,26 | 0,75 | 0,96 | 37,66 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,44 | 0,53 | 0,50 | -0,71 |
| REF | 1,77 | 0,32 | 0,74 | 0,00 | -0,87 | 0,76 | 0,44 | 1,07 | 0,56 | 0,66 | 0,89 | 0,42 |
| Bias | 0,09 | 61,68 | 12,56 | 0,16 | -22,66 | 0,06 | 0,02 | 1,35 | 40,42 | 93,08 | 77,46 | 271,16 |

Tabla 6.31 Coeficientes seleccionados de los modelos PLS gasolina L-154V.

| L-154V | RVP | RON | MON | OXÍ | AZU | ARO | BEN | OLE | T10 | T50 | T90 | FBP |
|--------|------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| nC4 | 0,80 | 0,92 | -0,29 | 0,00 | 65,53 | 0,00 | 0,00 | 1,76 | 1,32 | 7,00 | 2,20 | 2,78 |
| LVN | 0,73 | 0,92 | -0,16 | 0,71 | 1,64 | -0,29 | 0,77 | -0,86 | 0,80 | 0,00 | 0,81 | 0,71 |
| HVN | 0,32 | 0,91 | -0,20 | 0,00 | -0,19 | -0,40 | 1,08 | 0,00 | 0,67 | 0,00 | 1,04 | 0,60 |
| HDS | 0,11 | 0,87 | -0,26 | 0,00 | -12,45 | 0,31 | 1,00 | -1,75 | 0,73 | 1,06 | 0,96 | 0,73 |
| TAME | 0,58 | 0,89 | -0,12 | 0,75 | 0,67 | -0,68 | 0,72 | 2,95 | 0,74 | 0,14 | 1,56 | 1,68 |
| LCN | 0,72 | 0,83 | -0,09 | 0,00 | 0,93 | 0,82 | 0,94 | 1,16 | 0,66 | 0,51 | 0,66 | 0,93 |
| HCN | 0,47 | 0,83 | -0,10 | 0,00 | 1,02 | 0,84 | 1,46 | 2,34 | 0,49 | 0,55 | 0,96 | 1,19 |
| LKN | 0,93 | 0,88 | -0,17 | 0,00 | 0,92 | -2,06 | 0,79 | 1,98 | 0,53 | -3,52 | 0,52 | -0,22 |
| ALQ | 0,58 | 0,85 | -0,05 | 0,00 | 1,82 | -1,67 | 0,00 | 0,00 | 0,68 | 0,81 | 0,72 | 1,04 |
| MTBE | 1,05 | 0,93 | 0,01 | 0,70 | 4,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,04 | 0,54 | 3,83 | 3,45 |
| REF | 0,91 | 0,84 | -0,09 | 0,00 | 1,69 | 0,65 | 0,88 | -0,49 | 0,68 | 0,68 | 0,91 | 1,08 |
| Bias | 2,29 | 11,87 | 90,04 | 0,47 | -26,80 | 4,42 | -0,13 | 1,59 | 34,74 | 86,85 | 45,64 | 24,71 |

Las celdas que se encuentran sombreadas en las tablas 6.28 y 6.29 se deben a que el TEL no aplica para calidades distintas al RON y MON de las gasolinas destinadas al consumo venezolano, porque éste aditivo sólo afecta el comportamiento del octanaje. Los índices de mezcla reportados en las tablas 6.28 a 6.31 corresponden a los de la ecuación 34 mostrada en la metodología.

Al no colocar restricciones al programa para obtener coeficientes mayores que cero en calidades que se determinan mediante la aplicación de balances de masa (aromáticos, azufre, benceno, olefinas y oxígeno) se obtuvieron valores positivos y negativos dependiendo del mejor ajuste de los datos que pudo realizar el programa.

Aunque se obtengan resultados matemáticamente satisfactorios al validar los modelos, el uso de coeficientes negativos en los mismos no tiene sentido físico, sin embargo, el Bias compensa dichos valores y permite obtener los resultados deseados. Por ejemplo, los valores negativos en los coeficientes del modelo PLS correspondiente al contenido de aromáticos de la L-154I reportados en la tabla 6.33 son compensados por el Bias, el cual es positivo.

Cuando los índices de mezcla de algún componente son ceros implica que las cantidades de dicho componente no afectan la calidad en cuestión de la gasolina. Por ejemplo el efecto del butano sobre el contenido de benceno en las

gasolinas reformuladas calidad invierno y verano es nulo, esto se debe a que el butano no posee benceno.

6.11 Interfase ARM

Los ingenieros de programación y suministros aplicando sus conocimientos de modelos matemáticos y programación sobre todo en Visual Basic elaboraron un programa sencillo para generar modelos que llamaron ARM, el cual se transforma en una alternativa para obtener los índices de mezcla que permiten obtener las calidades de las gasolinas elaboradas en la refinería de Amuay. Como se mencionó en la metodología, se colaboró con los ingenieros creando una interfase entre el usuario y el programa que permitiera fácilmente obtener los resultados deseados. A continuación se presentan la figura 6.24 que muestra parte de la hoja ARM donde se encuentran los botones que tienen sus respectivas macros asignadas y la figura 6.25 donde se muestran las ecuaciones de los modelos que ayudan al usuario a aplicarlos.

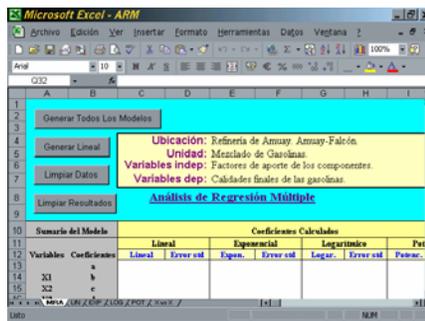


Figura 6.24 Programa ARM.

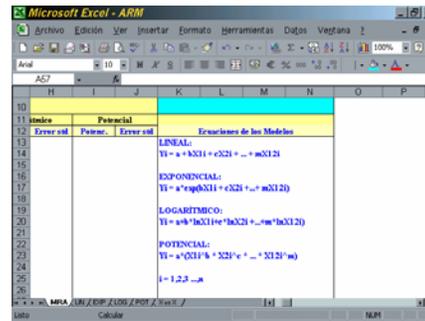


Figura 6.25 Ecuaciones de los modelos ARM.

Las macros creadas permiten integrar las elaboradas por los ingenieros donde se realizan regresiones y cálculos estadísticos con los botones de acción mostrados en la figura 6.24. Los comandos de estos botones permiten generar todos los modelos (lineal, logarítmico, exponencial y de potencia), sólo el modelo lineal, borrar los datos de cálculos anteriores y por último borrar los resultados de cálculos anteriores.

6.12 Resultados del programa ARM

Las mismas bases de datos usadas para correr el programa PLS se usaron para correr el programa ARM, se tomaron de 15 a 30 mezclas de las tablas de factores de aporte, se llevaron a sus respectivas ubicaciones dentro del programa, se ejecutó el comando generar todos los modelos y se obtuvieron los resultados.

Debido a la cantidad significativa de figuras obtenidas que representan los resultados de correr ARM para las calidades objeto de estudio de las gasolinas LV-22, LV-23, L-154I y L-154V y a la analogía de los análisis existentes entre las mismas, a continuación se presentan los resultados obtenidos para el RVP de las gasolinas antes mencionadas. La figura 6.26 representa los resultados obtenidos de correr ARM para el RVP de la LV-22, la figura 6.27 para el RVP de la LV-23, la 6.28 para el RVP de la L-154I y la 6.29 para el RVP de la L-154V. Estas figuras se muestran a continuación.

| Variables | Coefficientes | Lineal | Exponencial | Logarítmico | Pa |
|----------------|---------------|---------|-------------|-------------|--------|
| a | | 0.743 | 1.063 | 0.919 | 1.134 |
| X1 | b | 0.270 | 0.109 | 0.032 | 0.013 |
| X2 | e | 0.230 | 0.119 | 0.027 | 0.014 |
| X3 | d | 0.424 | 1.414 | 0.027 | 0.140 |
| X4 | f | -0.052 | 0.612 | -0.011 | -0.072 |
| X5 | g | 0.128 | 0.224 | 0.014 | 0.027 |
| X6 | g | 0.207 | 0.156 | 0.033 | 0.019 |
| X7 | h | 0.262 | 0.123 | 0.031 | 0.016 |
| X8 | i | -0.006 | 0.401 | -0.003 | 0.047 |
| X9 | j | 0.209 | 0.423 | 0.023 | 0.030 |
| X10 | k | | | | |
| X11 | l | | | | |
| X12 | m | | | | |
| R ² | | 0.73634 | 0.29554 | 0.30775 | 0.3366 |

Figura 6.26 Resultados ARM RVP LV-22.

| Variables | Coefficientes | Lineal | Exponencial | Logarítmico | Pa |
|----------------|---------------|---------|-------------|-------------|--------|
| a | | 0.112 | 0.754 | 0.109 | 0.991 |
| X1 | b | 0.192 | 0.079 | 0.023 | 0.009 |
| X2 | e | 0.043 | 0.100 | 0.005 | 0.011 |
| X3 | d | -0.230 | 1.549 | -0.018 | 0.180 |
| X4 | f | 0.102 | 0.499 | 0.013 | 0.057 |
| X5 | f | 0.122 | 0.129 | 0.015 | 0.015 |
| X6 | g | 0.059 | 0.129 | 0.008 | 0.015 |
| X7 | h | 0.148 | 0.109 | 0.018 | 0.013 |
| X8 | i | -0.109 | 0.164 | -0.012 | 0.019 |
| X9 | j | -0.066 | 0.127 | -0.007 | 0.015 |
| X10 | k | | | | |
| X11 | l | | | | |
| X12 | m | | | | |
| R ² | | 0.71836 | 0.16624 | 0.22107 | 0.2200 |

Figura 6.27 Resultados ARM RVP LV-23.

| Variables | Coefficientes | Lineal | Exponencial | Logarítmico | Pa |
|----------------|---------------|---------|-------------|-------------|--------|
| a | | 20.622 | 0.066 | 24.006 | 1.407 |
| X1 | b | 0.007 | 0.075 | 0.007 | 0.006 |
| X2 | e | -1.041 | 0.615 | -0.090 | 0.032 |
| X3 | d | -5.719 | 3.934 | -0.465 | 0.130 |
| X4 | f | -0.979 | 2.182 | -0.301 | 0.183 |
| X5 | f | -4.413 | 1.910 | -0.377 | 0.160 |
| X6 | g | -1.420 | 0.548 | -0.121 | 0.046 |
| X7 | h | -1.247 | 0.701 | -0.104 | 0.056 |
| X8 | i | -1.461 | 0.269 | -0.124 | 0.023 |
| X9 | j | -1.152 | 0.700 | -0.096 | 0.039 |
| X10 | k | -1.320 | 0.077 | -0.112 | 0.075 |
| X11 | l | -0.133 | 0.336 | -0.010 | 0.028 |
| X12 | m | | | | |
| R ² | | 0.84170 | 0.83806 | 0.75244 | 0.7565 |

Figura 6.28 Resultados ARM RVP L-154I.

| Variables | Coefficientes | Lineal | Exponencial | Logarítmico | Pa |
|----------------|---------------|---------|-------------|-------------|--------|
| a | | 7.237 | 2.107 | 7.546 | 1.336 |
| X1 | b | 0.159 | 0.071 | 0.023 | 0.010 |
| X2 | e | 0.398 | 0.224 | 0.037 | 0.032 |
| X3 | d | -0.042 | 0.124 | -0.007 | 0.016 |
| X4 | f | -0.429 | 0.552 | -0.062 | 0.030 |
| X5 | f | -0.615 | 0.628 | -0.089 | 0.091 |
| X6 | g | 0.497 | 0.320 | 0.072 | 0.046 |
| X7 | h | -0.163 | 0.220 | -0.024 | 0.046 |
| X8 | i | 0.180 | 0.238 | 0.053 | 0.024 |
| X9 | j | -0.422 | 0.609 | -0.062 | 0.088 |
| X10 | k | -1.785 | 0.941 | -2.556 | 0.136 |
| X11 | l | 0.127 | 0.061 | 0.016 | 0.030 |
| X12 | m | | | | |
| R ² | | 0.89953 | 0.90142 | 0.79668 | 0.7991 |

Figura 6.29 Resultados ARM RVP L-154V.

El programa ARM reporta los coeficientes que fueron llamados índices de mezcla obtenidos tras aplicar ARM, además reporta cálculos estadísticos como la desviación estándar y el R^2 . Éste último parámetro estadístico fue utilizado a la hora de seleccionar los coeficientes, se propuso como criterio de selección el mismo que poseía el programa PLS, que todo modelo para ser considerado bueno debe superar el 74 % de R^2 .

Los coeficientes reportados por ARM y mostrados en las figuras 6.26 hasta la 6.29 fueron seleccionados como índices de mezcla para los modelos, ya que el R^2 para el modelo lineal en todos estos casos superó el 74 %, el resto de los modelos matemáticos para el RVP no permitieron obtener la misma confiabilidad que el lineal.

Con respecto al resto de los resultados, todos y cada uno de ellos superaron el 74 % de R^2 en el modelo lineal, sin embargo algunos modelos no lineales reportaron también valores de R^2 superiores a dicho porcentaje hasta el punto de casi igualar los resultados obtenidos por los modelos lineales y en pocos casos superarlo ligeramente (menos de 1 % de mejoría en relación al modelo lineal), pero debido al conocimiento teórico que los componentes y las calidades mezclan linealmente, y a la facilidad de aplicar el modelo lineal por encima de los modelos logarítmicos, exponenciales o potenciales se seleccionaron como índices de mezcla en todos los casos los coeficientes resultantes del modelo lineal.

6.13 Coeficientes seleccionados ARM

Los coeficientes de los modelos lineales llamados índices de mezcla resultantes de aplicar ARM obtenidos de ejecutar el programa en cuestión para las calidades más importantes de las gasolinas LV-22, LV-23, L-154I y L-154V se presentan a continuación en las tablas 6.32, 6.33, 6.34 y 6.35 respectivamente.

Tabla 6.32 Coeficientes seleccionados de los modelos ARM gasolina LV-22.

| LV-22 | RVP | RON | MON | ARO | OLE | T10 | T50 | T90 | FBP |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| nC4 | 0,27 | -0,19 | -0,03 | 0,00 | -0,35 | -0,74 | 1,69 | -1,24 | -1,42 |
| LVN | 0,23 | -0,30 | 0,01 | 0,07 | -3,36 | 0,02 | -0,66 | -0,14 | -0,09 |
| HVN | 0,42 | -0,41 | 0,05 | -1,06 | 0,00 | 0,25 | 0,25 | 0,06 | 0,06 |
| HDS | -0,08 | -0,35 | 0,02 | -0,57 | 7,38 | 0,25 | -0,28 | -0,41 | -0,22 |
| LCN | 0,13 | -0,11 | 0,01 | -0,12 | 0,11 | 0,24 | 0,21 | -0,05 | -0,02 |
| HCN | 0,29 | -0,11 | 0,01 | -0,18 | 0,18 | 0,09 | 0,25 | 0,14 | 0,07 |
| LKN | 0,26 | -0,12 | -0,04 | -7,53 | 0,12 | -0,10 | -0,21 | 0,23 | 0,03 |
| ALQ | -0,01 | -0,12 | -0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,42 | 0,02 | 0,06 |
| MTBE | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| REF | 0,21 | -0,01 | 0,02 | -0,02 | 1,28 | -0,05 | -0,08 | 0,00 | 0,03 |
| TEL | | 2,52 | 2,04 | | | | | | |
| Bias | 6,74 | 101,29 | 80,32 | 26,59 | 14,52 | 114,14 | 198,70 | 359,77 | 416,53 |

Tabla 6.33 Coeficientes seleccionados de los modelos ARM gasolina LV-23.

| LV-23 | RVP | RON | MON | ARO | OLE | T10 | T50 | T90 | FBP |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| nC4 | 0,19 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | -0,58 | 0,06 | 2,82 | 2,66 | 0,14 |
| LVN | 0,04 | -0,05 | 0,00 | -2,81 | -17,05 | -0,07 | -0,11 | 0,13 | -0,01 |
| HVN | -0,23 | -0,14 | -0,03 | -1,28 | 0,00 | 0,09 | -0,15 | -0,25 | 0,02 |
| HDS | 0,10 | -0,13 | -0,01 | -1,22 | -10,52 | 0,07 | -0,04 | -0,20 | -0,18 |
| LCN | 0,12 | 0,03 | 0,02 | -0,84 | 0,22 | 0,08 | -0,06 | -0,35 | -0,28 |
| HCN | 0,06 | 0,03 | 0,01 | -0,24 | -0,43 | 0,02 | 0,11 | 0,11 | -0,04 |
| LKN | 0,15 | 0,11 | -0,02 | -4,22 | 0,21 | -0,02 | -0,23 | -0,14 | -0,07 |
| ALQ | -0,11 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,14 | -0,09 | -0,05 | 0,02 |
| MTBE | 0,00 | 0,11 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | -0,21 | -0,86 | -0,32 | -0,15 |
| REF | -0,07 | 0,08 | 0,01 | -0,04 | -1,48 | 0,17 | 0,22 | -0,08 | -0,06 |
| TEL | | 2,94 | 1,45 | | | | | | |
| Bias | 8,15 | 92,00 | 86,00 | 29,50 | 17,51 | 123,89 | 211,92 | 353,84 | 427,02 |

Tabla 6.34 Coeficientes seleccionados de los modelos ARM gasolina L-154I.

| L-154I | RVP | RON | MON | OXÍ | AZU | ARO | BEN | OLE | T10 | T50 | T90 | FBP |
|--------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| nC4 | 0,09 | 0,61 | 0,07 | 0,00 | -106 | 0,00 | 0,00 | 2,27 | -0,91 | -0,64 | -3,12 | -4,32 |
| LVN | -1,04 | 0,78 | -0,07 | 0,00 | 3,55 | 7,28 | 0,87 | -128 | 0,86 | 0,79 | 1,14 | 0,96 |
| HVN | -5,72 | 0,96 | -0,18 | 0,00 | 5,01 | 2,53 | 0,60 | 0,00 | 0,24 | 0,54 | 0,99 | 0,56 |
| HDS | -5,88 | 0,93 | -0,09 | 0,00 | 131,1 | 2,73 | 0,10 | -33,7 | 0,44 | 0,22 | 1,60 | 1,51 |
| TAME | -4,41 | 0,58 | -0,05 | 0,34 | 0,00 | 0,00 | 0,87 | -1,04 | 0,21 | 1,61 | 0,34 | -0,02 |
| LCN | -1,43 | 0,60 | -0,05 | 0,00 | 1,14 | 1,28 | 0,59 | 0,04 | 0,21 | 0,84 | -0,05 | -0,32 |
| HCN | -1,25 | 0,57 | -0,01 | 0,00 | 0,97 | 0,79 | 0,67 | -1,33 | 0,07 | 0,65 | 0,56 | 0,20 |
| LKN | -1,46 | 0,72 | -0,09 | 0,00 | 0,73 | 18,1 | 2,51 | 1,12 | 0,80 | 1,07 | 0,98 | 0,48 |
| ALQ | -1,15 | 0,57 | 0,08 | 0,00 | 4,20 | 1,68 | 0,00 | 0,00 | 0,27 | 0,92 | -0,39 | -0,39 |
| MTBE | -1,32 | 0,46 | 0,02 | 0,59 | 95,87 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,58 | 2,15 | 0,48 | -0,63 |
| REF | -0,13 | 0,56 | 0,06 | 0,00 | -1,67 | 0,66 | 0,59 | 4,21 | -0,03 | 0,94 | -0,32 | -0,80 |
| Bias | 20,62 | 36,3 | 83,89 | 1,07 | 9,46 | -4,84 | 0,03 | 10,20 | 93,63 | 13,08 | 284 | 452 |

Tabla 6.35 Coeficientes seleccionados de los modelos ARM gasolina L-154V.

| L-154V | RVP | RON | MON | OXÍ | AZU | ARO | BEN | OLE | T10 | T50 | T90 | FBP |
|-------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| nC4 | 0,16 | -0,13 | 0,63 | 0,00 | 63,51 | 0,00 | 0,00 | -0,79 | 1,43 | 3,49 | 4,56 | -0,45 |
| LVN | 0,40 | -0,23 | 1,87 | 0,00 | 2,95 | -0,66 | 0,04 | 0,47 | -0,20 | 0,34 | 1,30 | -0,57 |
| HVN | -0,04 | -0,26 | 2,40 | 0,00 | 0,09 | -0,51 | -1,00 | 0,00 | 0,41 | 0,82 | 0,77 | -0,45 |
| HDS | -0,43 | -0,23 | 2,06 | 0,00 | -10,3 | 0,23 | -1,03 | 2,53 | 0,01 | 0,46 | 1,15 | -0,31 |
| TAME | -0,62 | -0,10 | 0,23 | 0,38 | 0,74 | -0,74 | -0,03 | -10,9 | 0,74 | 1,31 | 1,51 | 0,57 |
| LCN | 0,50 | -0,10 | 0,64 | 0,00 | 0,93 | 0,80 | 0,44 | 0,36 | 0,43 | 0,94 | 0,87 | -0,20 |
| HCN | -0,16 | -0,12 | 0,81 | 0,00 | 1,03 | 0,83 | -0,15 | 0,26 | 0,18 | 0,50 | 1,27 | 0,26 |
| LKN | 0,58 | -0,02 | 0,56 | 0,00 | 0,93 | -2,36 | 0,17 | 1,81 | 0,25 | 0,37 | -0,27 | -3,31 |
| ALQ | -0,42 | -0,11 | 0,48 | 0,00 | 1,96 | -2,07 | 0,00 | 0,00 | 0,63 | 1,24 | 0,79 | 0,11 |
| MTBE | -1,78 | 0,04 | -0,39 | 0,31 | 3,83 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,46 | 2,57 | 0,69 | 1,76 |
| REF | 0,13 | -0,08 | 0,28 | 0,00 | 1,76 | 0,65 | 1,20 | -2,63 | 0,56 | 1,15 | 0,45 | 0,06 |
| Bias | 7,53 | 100,1 | 37,5 | 1,48 | -31,6 | 4,87 | 0,29 | 10,4 | 63,00 | -19,3 | 50,5 | 382 |

Las celdas que se encuentran sombreadas en las tablas 6.32 y 6.33 se deben a que el TEL no aplica para calidades distintas al RON y MON de las gasolinas destinadas al consumo venezolano. Los índices de mezcla reportados en las tablas 6.32 a 6.35 corresponden a los de la ecuación 34 mostrada en la metodología.

Al igual que con el programa PLS, no se colocaron restricciones para los coeficientes resultantes de los modelos obtenidos por el programa ARM, por esto los resultados tomaron valores positivos y negativos dependiendo del ajuste de los datos que realizó el programa ARM. Cuando los índices de mezcla de algún componente para determinada calidad son ceros implica que las cantidades de dicho componente no afectan la calidad en cuestión de la gasolina.

Aunque no se colocaron restricciones a la hora de formular los modelos a partir del uso de ambos programas (PLS y ARM), los mismos presentan la facilidad de hacerlo a través de sus opciones y macros, lo cual permitiría evitar inconsistencias físicas de los coeficientes resultantes en futuras actualizaciones de algunos modelos.

6.14 Confiabilidad de los modelos propuestos y los anteriores para las mezclas pertenecientes a las bases de datos

Los índices de mezcla obtenidos luego de aplicar el programa PLS y los obtenidos luego de aplicar el programa ARM fueron llevados a Excel y se calcularon los respectivos valores de calidad tanto para las gasolinas destinadas al mercado nacional como las destinadas para la exportación.

Se tomaron como datos los factores de aporte de las mezclas realizadas durante el período Enero de 2000 - Agosto de 2001. Además para el mismo período los ingenieros de programación y suministros calcularon los valores de calidad utilizando los antiguos métodos de la refinería con el objeto de cuantificar y calificar las mejoras, para poder seleccionar entre los modelos los que se desvíen menos de la realidad.

Se tomaron como base de datos 127 mezclas de LV-22, 147 mezclas de LV-23, 36 mezclas de L-154I y por último 45 mezclas de L-154V todas realizadas dentro del período estipulado. Debido a la gran cantidad de mezclas y a la considerable cantidad de calidades a evaluar, en el apéndice A se reportan los valores que permiten comparar los porcentajes de desviación y confiabilidad de los modelos anteriores con los PLS correspondientes al RVP de cada una de las mezclas, y en el apéndice B los que permiten comparar los porcentajes de desviación y confiabilidad de los modelos anteriores con los modelos ARM en cada una de las mezclas.

A continuación se presentan en la tabla 6.36 los promedios de la confiabilidad obtenida para cada calidad de las gasolinas objeto de estudio durante el período señalado a partir de los modelos anteriores y los modelos propuestos, las celdas sombreadas en las gasolinas mercado nacional implican que no se elaboraron dichos modelos.

Tabla 6.36 Confiabilidad de los modelos anteriores y los propuestos.

| Calidad | Modelo | LV-22 | LV-23 | L-154I | L-154V |
|---------|----------|-------|-------|--------|--------|
| RVP | Anterior | 93,37 | 93,73 | 93,63 | 92,17 |
| | PLS | 96,37 | 96,91 | 96,11 | 97,89 |
| | ARM | 97,51 | 97,74 | 99,07 | 97,64 |
| RON | Anterior | 94,45 | 93,24 | 98,82 | 98,46 |
| | PLS | 98,99 | 99,44 | 99,80 | 99,30 |
| | ARM | 99,25 | 99,56 | 99,73 | 99,67 |
| MON | Anterior | 93,98 | 94,05 | 97,24 | 97,11 |
| | PLS | 99,55 | 99,66 | 99,61 | 99,57 |
| | ARM | 99,47 | 99,68 | 99,55 | 98,43 |
| ARO | Anterior | 77,92 | 64,44 | 82,76 | 86,91 |
| | PLS | 94,95 | 92,66 | 94,06 | 92,59 |
| | ARM | 94,20 | 96,14 | 96,13 | 96,73 |
| AZU | Anterior | | | 87,78 | 84,55 |
| | PLS | | | 94,46 | 93,86 |
| | ARM | | | 96,85 | 97,09 |
| BEN | Anterior | | | 65,09 | 63,21 |
| | PLS | | | 95,75 | 93,44 |
| | ARM | | | 95,85 | 95,84 |
| OLE | Anterior | 74,04 | 68,52 | 74,99 | 77,40 |
| | PLS | 91,93 | 93,31 | 94,49 | 94,59 |
| | ARM | 92,18 | 96,22 | 96,22 | 97,24 |
| OXÍ | Anterior | | | 94,09 | 93,26 |
| | PLS | | | 97,09 | 95,78 |
| | ARM | | | 96,23 | 96,56 |
| T10 | Anterior | 70,06 | 75,16 | 74,04 | 91,31 |
| | PLS | 97,88 | 94,47 | 97,62 | 98,59 |
| | ARM | 97,51 | 97,84 | 99,11 | 98,66 |
| T50 | Anterior | 92,21 | 94,28 | 96,99 | 95,41 |
| | PLS | 96,15 | 97,35 | 99,01 | 96,65 |
| | ARM | 96,97 | 97,77 | 98,67 | 98,79 |
| T90 | Anterior | 75,92 | 73,52 | 86,42 | 91,39 |
| | PLS | 97,72 | 98,06 | 96,18 | 97,09 |
| | ARM | 97,88 | 98,31 | 98,31 | 98,17 |
| FBP | Anterior | 78,34 | 63,45 | 79,05 | 84,74 |
| | PLS | 98,68 | 95,43 | 95,90 | 97,55 |
| | ARM | 98,59 | 99,05 | 98,17 | 98,40 |

Como se aprecia en la tabla 6.36 las confiabilidades producto de utilizar los índices de mezcla obtenidos por ambos programas en todos los casos reportaron mejorías (aumentos) en comparación con los modelos anteriores.

En propiedades como el RVP, RON, MON, contenido de oxígeno y algunos puntos de la curva de destilación cuyos porcentajes de confiabilidad con los modelos anteriores superaban el 90 % las mejoras fueron de 1 a 6 % para todas las gasolinas, mientras que para calidades como el contenido de aromáticos, benceno, azufre y olefinas cuyos porcentajes de confiabilidad con los modelos anteriores oscilaban entre 70 y 80 % se llegaron a obtener mejoras alrededor del 20 % de confiabilidad e incluso en el benceno de la L-154I aumentos en la confiabilidad superiores al 30 %.

Los porcentajes de confiabilidad correspondientes al uso de los modelos anteriores eran elevados en aquellas calidades que el laboratorio analizaba en mayor parte de los componentes lo que permitía definir de una mejor manera los índices de mezcla, por ende los mismos presentaron menores desviaciones con respecto a la calidad medida por el laboratorio. Las confiabilidades más bajas obtenidas en el resto de las calidades usando los modelos anteriores se deben básicamente a índices de mezcla con altos valores de desviación respecto a las calidades de los componentes así como también a la incertidumbre de algunos índices de mezcla por no poseer un valor real que permita evaluarlos.

Con respecto a la comparación entre las confiabilidades obtenidas usando los índices de mezcla obtenidos a partir de los nuevos programas, se observan diferencias menores al 1 % para todas las calidades de las gasolinas mostradas en la tabla 6.36, en algunos casos la confiabilidad usando los resultados ARM es ligeramente mayor a la obtenida usando PLS y viceversa.

El mismo fenómeno se evidencia en las confiabilidades obtenidas de evaluar los modelos propuestos (PLS y ARM) en el resto de las mezclas elaboradas durante el período estipulado, por consiguiente en estos momentos resulta indiferente seleccionar los índices de mezclas obtenidos por cualquiera de los dos programas, de aquí que se seleccionaron aquellos índices de mezcla PLS o ARM cuya confiabilidad fuera superior al menos en 0,1 % sobre el otro modelo propuesto.

6.15 Descripción y uso de la nueva Hoja de Mezclas

Los índices de mezcla de los nuevos modelos propuestos que fueron seleccionados se llevaron a Excel donde se creó la nueva hoja de mezclas para calcular las calidades de las gasolinas en la refinería de Amuay. A continuación se presenta la descripción y uso de la nueva hoja de mezclas que fue entregado en la refinería con el objeto de facilitar su comprensión y uso.

Hoja de Mezclas

La Hoja de Mezclas es un documento de Excel, consta de cuatro hojas de cálculo cada una de las cuales esta destinada a hallar las calidades de un tipo de gasolina en particular, estas son LV- 22, LV-23, L-154V y L-154I.

Las cuatro hojas de cálculo poseen la misma configuración, por lo que la descripción esta hecha de la manera más general posible. En la primera tabla que posee la nueva hoja de mezclas se deben introducir los porcentajes en volumen de los componentes a mezclar (figura 6.30), junto a esta tabla se encuentra otra donde se reportan los valores teóricos de calidades correspondientes a la receta introducida en la tabla anterior (figura 6.30).

De no poseer los porcentajes en volumen a mezclar, a la derecha de la tabla de resultados antes mencionada se encuentra una tabla alterna para introducir los datos de los componentes a mezclar, en esta tabla se introducen la cantidad en volumen de cada uno de los componentes y reporta inmediatamente los valores teóricos de las calidades de la gasolina formulada (figura 6.31).

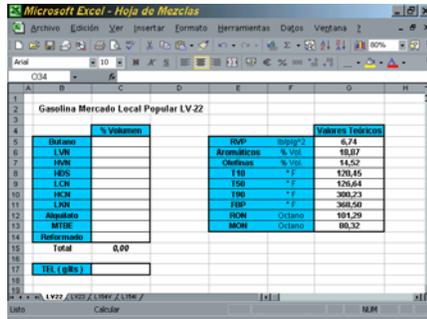


Figura 6.30 Receta en %Vol y calidades.

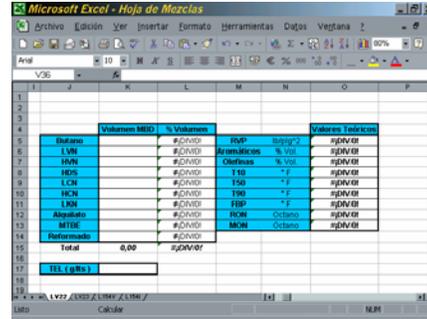


Figura 6.31 Receta en volumen y calidades.

En el caso de las gasolinas para el mercado local LV-22 y LV-23 se debe introducir la cantidad en g/lts de TEL, ya que este parámetro es necesario para calcular el RON y el MON de estas gasolinas, como se muestra en las figuras 6.30 y 6.31, la cantidad de TEL se coloca en una pequeña tabla que se encuentra debajo de la tabla destinada a la receta. Además de las tablas antes mencionadas la hoja de mezclas posee una tabla destinada a las calidades en los tanques de componente y otra destinada a los índices de mezcla hallados por PLS o ARM (figura 6.32). Los valores de calidad teóricos se calculan gracias a los datos que se encuentran en las dos tablas antes mencionadas y cualquiera de las tablas donde se introduce la receta de los componentes.

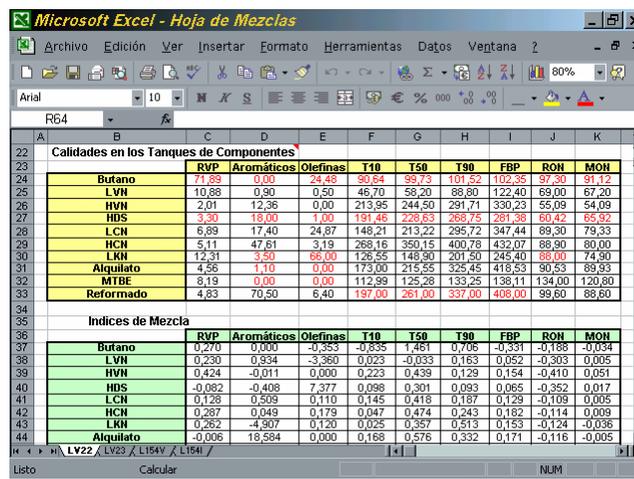


Figura 6.32 Calidades de componentes e Índices de mezcla.

Con el objeto de llevar un mejor control de los datos que utilizan las tablas de calidades en los tanques de componentes y de índices de mezcla la hoja de

mezclas posee unas pequeñas tablas donde se coloca la fecha de las muestras de los tanques y la última fecha de actualización de los modelos (figura 6.33).

| CALIDADES DE LOS COMPONENTES | | ÍNDICES DE MEZCLA | |
|------------------------------|---------------------|-------------------|----------------------------|
| | Fecha de la Muestra | | Fecha Última Actualización |
| Butano | | RVP | Octubre-01 |
| LVN | | Aromáticos | Octubre-01 |
| HVN | | Olefinas | Octubre-01 |
| HDS | | T10 | Octubre-01 |
| LCN | | T50 | Octubre-01 |
| HCN | | T90 | Octubre-01 |
| LKN | | FBP | Octubre-01 |
| Alquilato | | RON | Octubre-01 |
| MTB | | MON | Octubre-01 |
| Reformado | | | |

Figura 6.33 Fechas para el control.

Adicionalmente la hoja de mezclas posee una tabla que permite determinar la confiabilidad de la última mezcla realizada (figura 6.34), sólo se debe colocar en la tabla llamada certificación de los modelos los valores de laboratorio de las calidades finales de las gasolinas. Además la hoja de mezclas también permite determinar la confiabilidad promedio mensual de cada uno de los modelos, solo hay que tomar los valores de confiabilidad reportados en la tabla de certificación de los modelos y llevarlos hasta la tabla llamada confiabilidad promedio mensual, al final de cada mes se puede observar los promedio de confiabilidad de cada modelo para determinar si requieren actualizaciones o no (figura 6.34).

| Certificación de los modelos | | | | | |
|------------------------------|---------------------|--------------|---------|---------|-------------------|
| | | Valores Lab. | Delta | % Desv | Confiabilidad (%) |
| RVP | lb/plg ² | | -6.74 | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Aromáticos | % Vol | | -18.87 | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Olefinas | % Vol | | -14.52 | #DIV/0! | #DIV/0! |
| T10 | * F | | -120.45 | #DIV/0! | #DIV/0! |
| T50 | * F | | -126.64 | #DIV/0! | #DIV/0! |
| T90 | * F | | -300.23 | #DIV/0! | #DIV/0! |
| FBP | * F | | -368.60 | #DIV/0! | #DIV/0! |
| RON | Octano | | -101.29 | #DIV/0! | #DIV/0! |
| MON | Octano | | -80.32 | #DIV/0! | #DIV/0! |

| Confiabilidad promedio mensual | | | | | | |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|
| Fecha | % Conf RVP | % Conf RON | % Conf MON | % Conf T10 | % Conf T50 | % Conf |
| | | | | | | |

Figura 6.34 Certificación puntual y mensual de los modelos.

Por último la hoja de mezclas posee una tabla que permite determinar los factores de aporte de cada componente en las calidades finales de las gasolinas (figura 6.35), estos factores son usados para generar los modelos tanto por PLS como por ARM.

| Coeficientes para los modelos | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------|------------|----------|------|------|------|------|------|------|
| | RVP | Aromáticos | Olefinas | T10 | T50 | T90 | FBP | RON | MON |
| Butano | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| LVN | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HVN | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HDS | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| LCN | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HCN | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| LNK | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Alquilato | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| MTBE | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Reformado | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Figura 6.35 Factores de aporte.

6.16 Validación de los modelos propuestos y hoja de mezclas

Para validar los modelos propuestos y el funcionamiento de la nueva hoja de mezclas se utilizó la misma con los datos de volumen contenidos en los resúmenes de mezcla correspondientes al mes de Septiembre para las gasolinas LV-22 (7 mezclas), LV-23 (8 mezclas) y L-154I (10 mezclas), y a los meses de Julio y Agosto para la L-154V (10 mezclas).

Los resultados detallados para cada mezcla individual son reportados en el apéndice C del presente documento. En la tabla 6.37 que se presenta a continuación se encuentran los porcentajes de confiabilidad promedio de los modelos anteriores y los propuestos, obtenidos de comparar los resultados de laboratorio con los modelos en cada una de las mezclas y promediar los resultados. Cabe destacar que ninguna de las mezclas que originaron tales promedios pertenecieron a las bases de datos de los nuevos modelos.

Tabla 6.37 Validación de los modelos (confiabilidad).

| Calidad | Modelo | LV-22 | LV-23 | L-154I | L-154V |
|------------|-----------|-------|-------|--------|--------|
| RVP | Anterior | 90,39 | 95,22 | 93,86 | 88,65 |
| | Propuesto | 98,29 | 97,88 | 99,17 | 98,60 |
| RON | Anterior | 95,56 | 90,41 | 99,09 | 99,12 |
| | Propuesto | 99,38 | 99,73 | 99,81 | 99,88 |
| MON | Anterior | 92,82 | 91,64 | 98,50 | 98,35 |
| | Propuesto | 99,24 | 99,76 | 99,71 | 98,87 |
| Aromáticos | Anterior | 89,83 | 79,66 | 91,70 | 90,08 |
| | Propuesto | 96,64 | 95,12 | 96,44 | 96,91 |
| Azufre | Anterior | | | 93,06 | 90,33 |
| | Propuesto | | | 96,36 | 96,59 |
| Benceno | Anterior | | | 74,03 | 63,43 |
| | Propuesto | | | 95,51 | 96,79 |
| Olefinas | Anterior | 72,19 | 92,86 | 88,11 | 81,28 |
| | Propuesto | 94,64 | 96,15 | 96,70 | 97,33 |
| Oxígeno | Anterior | | | 93,97 | 94,89 |
| | Propuesto | | | 97,20 | 96,01 |
| T10 | Anterior | 84,39 | 84,30 | 69,55 | 87,51 |
| | Propuesto | 96,93 | 98,14 | 99,13 | 99,03 |
| T50 | Anterior | 92,63 | 97,83 | 91,70 | 89,29 |
| | Propuesto | 97,93 | 97,98 | 99,13 | 99,07 |
| T90 | Anterior | 76,79 | 70,85 | 80,57 | 85,99 |
| | Propuesto | 99,01 | 96,00 | 98,50 | 98,35 |
| FBP | Anterior | 85,96 | 71,02 | 77,81 | 80,22 |
| | Propuesto | 98,07 | 98,71 | 98,24 | 99,39 |

Las celdas sombreadas en la tabla 6.37 denotan que dichas calidades no son evaluadas en la refinería. Como se observa en la tabla anterior la confiabilidad en todos los modelos propuestos es superior a la confiabilidad obtenida con los modelos anteriores, en algunos casos hay aumentos de la misma de 3 % y existen calidades en las gasolinas estudiadas que evidencian mejoras superiores al 30 %.

Durante el período de validación los porcentajes de confiabilidad de los modelos propuestos se encontraron por encima del 96 % para todas las calidades estudiadas de las gasolinas seleccionadas, esto evidencia que los modelos propuestos no sólo reproducen el comportamiento de una base de datos sino que son capaces de predecir con un alto grado de precisión las calidades de las gasolinas elaboradas en la refinería de Amuay. Por consiguiente la refinería de

Amuay a partir del mes de Octubre del año 2001 cambió sus métodos de predicción de calidades a los propuestos.

6.17 Procedimientos de los programas

Los programas PLS y ARM no habían sido utilizados con anterioridad por los ingenieros de programación y suministro, además la refinería requiere que sus trabajadores conozcan como operar las herramientas con las cuales cuentan, es por esto que se elaboraron procedimientos detallados para generar los modelos usando ambos programas, dichos procedimientos se presentan a continuación.

Procedimiento usado para generar los modelos a partir de PLS

1. Dentro de la base de datos se seleccionaron las mezclas que sirvieron de datos para generar los modelos (mínimo 15 por modelo). Para obtener un comportamiento más representativo en el tiempo del fenómeno y menos puntual, se debieron cumplir las siguientes premisas: las mezclas debían ser esporádicas, es decir, no se tomaron mezclas consecutivas; además se seleccionaron varias mezclas correspondientes a un mes pero no todas las del mes y por último la fecha entre dos mezclas usadas para generar un mismo modelo no debe distar mas de un año.
2. Las mezclas seleccionadas se tomaron del histórico de calidad. Como ya se mencionó en este documento de Excel se organizaron en columnas los coeficientes de aporte de cada componente y el valor de la calidad final a estudiar. La tabla que se muestra a continuación muestra el modo de organización del histórico de calidad:

Tabla 6.38 Organización del histórico de calidad.

| nC4 | LVN | HVN | HDS | TAME | LCN | HCN | LKN | ALQ | MTBE | REF | Calidad |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₆ | X ₇ | X ₈ | X ₉ | X ₁₀ | X ₁₁ | Y ₁ |
| A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | A ₆ | A ₇ | A ₈ | A ₉ | A ₁₀ | A ₁₁ | Y ₂ |
| B ₁ | B ₂ | B ₃ | B ₄ | B ₅ | B ₆ | B ₇ | B ₈ | B ₉ | B ₁₀ | B ₁₁ | Y ₃ |
| C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ | C ₈ | C ₉ | C ₁₀ | C ₁₁ | Y _n |

Donde:

X_i : Coeficiente de aporte a la calidad final del componente i en la mezcla 1.

A_i : Coeficiente de aporte a la calidad final del componente i en la mezcla 2.

B_i : Coeficiente de aporte a la calidad final del componente i en la mezcla 3.

C_i : Coeficiente de aporte a la calidad final del componente i en la mezcla n .

Como se puede observar, se colocaron en una misma fila una lista de los posibles componentes y en las filas de abajo los coeficientes correspondientes a las distintas mezclas, es decir, en la columna de cada componente se encuentran los factores de aporte del mismo a la calidad final de la gasolina para cada una de las mezclas. Cada fila representa una mezcla en particular, la última columna corresponde al valor de la calidad final de la gasolina en dichas mezclas.

3. Teniendo arreglados en una matriz los datos, estos se llevaron a un documento de tipo texto (extensión txt) porque el programa de PLS trabaja bajo ambiente MATLAB y solo reconoce este tipo de documentos. Del histórico sólo se seleccionaron los valores numéricos, es decir, no se seleccionó la primera fila correspondiente a nombre de los componentes y calidad de la gasolina. Como el programa opera con puntos como separador, los coeficientes numéricos que tenían decimales debían poseer un punto y no una coma para indicarlo (0.01 y No 0,01).

4. Para que el programa PLS corriera fue necesario guardar el documento tipo texto con el nombre deseado en la siguiente dirección: C:\Matlab\Toolbox\Nway.

5. Se ejecutó el archivo C:\Matlab\Toolbox\Nway\Nwaypls.exe

Al ejecutarlo se desplegaba la pantalla mostrada en la siguiente figura.

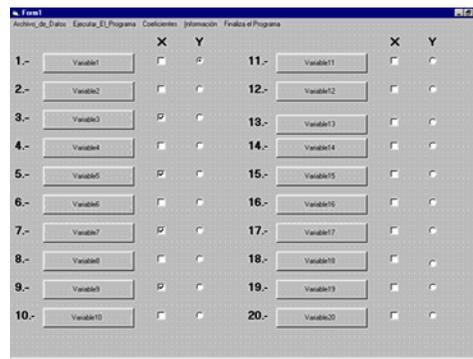


Figura 6.36 Pantalla de inicio programa PLS.

6. Para abrir el documento txt se utilizó el menú Archivo de datos, se desplegaba una ventana para abrir documentos y de allí se seleccionaba el documento txt deseado y el programa lo cargaba.

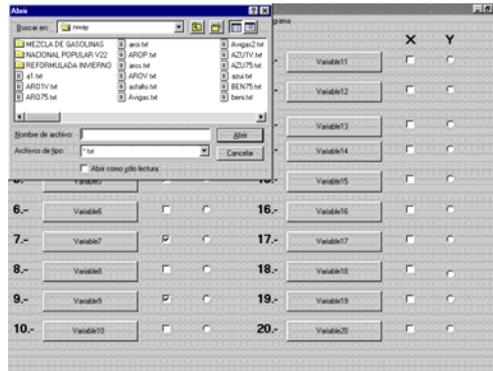


Figura 6.37 Abrir documentos PLS.

7. Para mayor comodidad y facilitar el manejo de los resultados se le asignaron nombres a las variables, esto se hizo colocando el cursor sobre los recuadros de las variables, se hizo un clic y se desplegaba una pantalla donde se colocó el nombre de la variable, la primera variable corresponde a la primera columna del histórico de calidad, en este caso al butano, por ende la última variable corresponde a la calidad final de la gasolina.

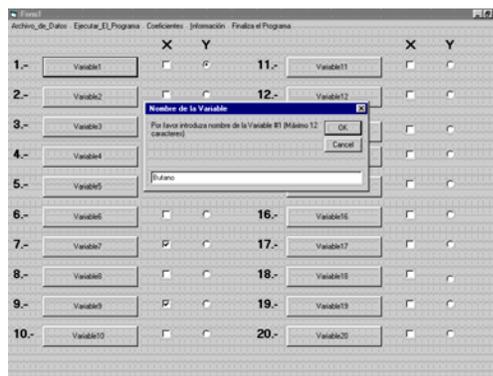


Figura 6.38 Identificación de las variables.

8. Luego de colocar los nombres de las variables independientes (factor de cada componente) y la variable dependiente (calidad final) se seleccionó con el cursor haciendo clic sobre X todos los componentes que dentro de las mezclas seleccionadas aportaron a la calidad final mínimo en una mezcla, es decir, si existía una columna de puros ceros bien sea porque la calidad del componente era cero (oxígeno en LKN) o porque las recetas no contenían nunca dicho componente (TAME en las gasolinas mercado local) se descartaba la selección de dicho componente como variable del modelo. La calidad final se seleccionaba haciendo clic en Y, ya que ésta es la variable dependiente.

9. Se corría el programa usando el menú ejecutar, luego aparecía en la parte superior izquierda de la pantalla el valor de R^2 del modelo y además una serie de gráficos que facilitaban la interpretación de los resultados del modelo y permitían así aceptarlo o descartarlo.

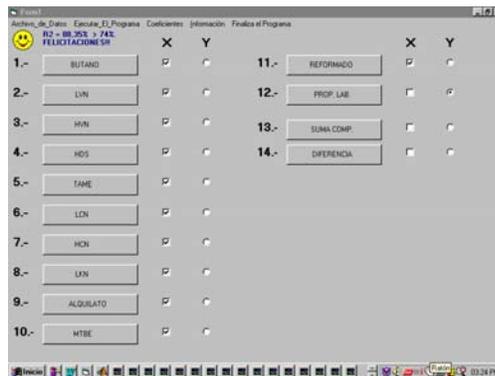


Figura 6.39 Ejecutar programa.

10. Si el R^2 era muy bajo se buscaban nuevas mezclas dentro del histórico para usarlas como datos. Esto se hacía una y otra vez hasta seleccionar un modelo cuyo valor de R^2 excediera el 75% (criterio del programa). Cuando no se hallaban tales valores de R^2 tras aplicar el programa con todas las combinaciones posibles de las mezclas se seleccionaba aquella combinación que permitía obtener los valores más altos de R^2 . Siempre que se ejecutaba el programa se observaban las gráficas más importantes, estas eran:

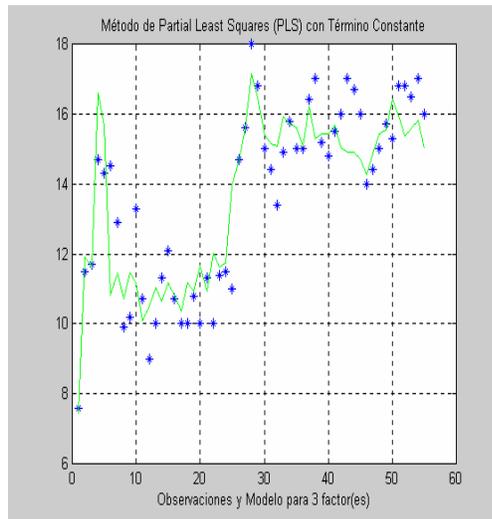


Figura 6.40 Comparación Gráfica entre los datos (*) y el modelo (línea continua).

En la figura 6.40 se comparaban los datos reales (Azul *) con el modelo (Verde Continua). El programa generaba una gráfica para cada factor y se podía observar la “mejora” del modelo a medida que se aumentaba el número de factores, para el programa PLS los factores correspondían a los componentes usados para generar el modelo.

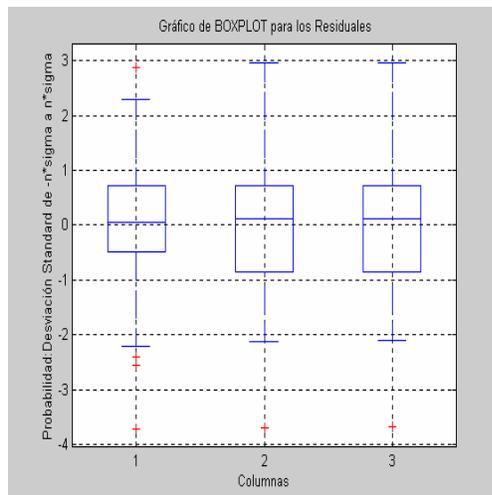


Figura 6.41 Análisis Estadístico de los Residuales.

La figura 6.41 muestra la gráfica de análisis estadístico de los residuales, aquí se podía observar dependiendo del número de factores cuando era menor el error, para el caso mostrado en la figura el mejor modelo es el que usa los coeficientes generados por el primer factor.

11. Los índices de mezcla se obtenían colocando el cursor en el menú coeficientes y seleccionando coeficientes definitivos, conociendo en que factor el error era menor se seleccionaba la columna de coeficientes correspondientes al número de factores deseado, en la figura f esto ocurre al primer factor por ende al desplegarse la ventana de coeficientes para este caso se tomaron los correspondientes a la primera columna.

| | Factor #1 | Factor #2 | Factor #3 | Factor #4 | Factor #5 | Factor #6 | Factor #7 | Factor #8 | Factor #9 | Factor #10 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| RUTANO | 0.2616 | 0.3414 | 0.3002 | 0.4721 | 0.0066 | 0.0503 | 0.5709 | 0.1641 | 0.6249 | 0.009 |
| LUN | -0.0754 | 0.0952 | 0.1801 | 0.2605 | 0.2241 | 0.1903 | 0.2513 | 0.2772 | 0.5309 | 0.0081 |
| MIN | 0.5953 | 0.6818 | 0.8729 | 0.5709 | 0.6626 | 0.2629 | 0.1626 | 0.0966 | 0.5611 | 3.1401 |
| HOS | 0.2964 | 0.0181 | 0.0803 | 0.2858 | 0.1364 | 0.0584 | -0.095 | -0.1103 | 0.0602 | 1.7493 |
| TAME | 0.1172 | 0.2224 | 0.1989 | 0.0782 | -0.0527 | -0.113 | -0.2178 | -0.1786 | 0.0646 | 1.5725 |
| LCN | -0.1073 | -0.0832 | 0.0486 | -0.0147 | 0.0144 | 0.0086 | 0.1254 | 0.1464 | 0.5156 | 1.2749 |
| MEN | 0.1018 | 0.1196 | 0.0403 | -0.0799 | -0.0923 | 0.02 | 0.0945 | 0.1094 | 0.5328 | 1.5229 |
| LEN | -0.2159 | -0.2487 | 0.3073 | -0.1626 | 0.0934 | 0.0438 | 0.1954 | 0.2068 | 0.3009 | 0.8379 |
| ALQUILATE | 0.1406 | 0.0194 | 0.0146 | -0.0312 | -0.0426 | 0.07 | 0.0614 | 0.0025 | 0.6822 | 1.8017 |
| NETE | -0.0204 | -0.1709 | -0.1756 | -0.1763 | -0.142 | -0.0753 | 0.0209 | 0.0119 | 0.5254 | 0.0286 |
| REFORMAC | -0.1812 | -0.1942 | -0.1144 | 0.0712 | 0.1378 | 0.0952 | -0.0087 | -0.031 | 0.0457 | 1.0067 |
| BIAS | 10.7447 | 10.2279 | 9.758 | 9.0503 | 8.7918 | 8.3792 | 7.9077 | 7.8113 | 5.0067 | 0.6402 |

Figura 6.42 Coeficientes del modelo.

12. Los factores seleccionados eran llevados a la nueva hoja de mezclas de Excel y automáticamente los modelos quedaban generados, cada vez que se deba o desee actualizar los modelos se debe realizar el mismo procedimiento.

Procedimiento usado para generar los modelos a partir de ARM.

1. Para generar los modelos usando la hoja de ARM lo primero que se hacía era repetir los dos primeros pasos del procedimiento usado para generarlos a partir del programa PLS.

2. El programa se abría accediendo a C:\Excel\MRA\Mra.xls.

Inmediatamente se desplegaba la siguiente hoja de Excel:

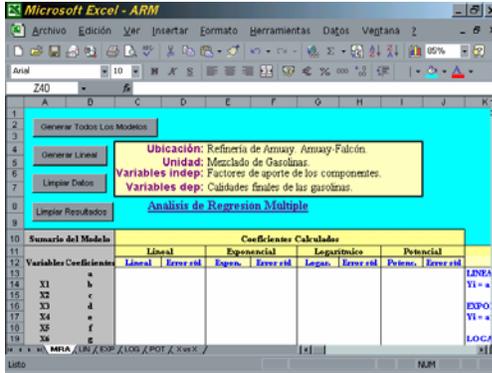


Figura 6.43 ARM al abrir.

3. Se copiaron los coeficientes de aporte de los componentes en la sección de variables independientes y la calidad a estudiar en la columna correspondiente a variable dependiente, se eliminaron las columnas que estaban formadas por puros ceros bien sea porque la calidad del componente era cero (oxígeno en LKN) o porque las recetas no contenían nunca dicho componente (TAME en las gasolinas mercado local).

| Mezcla | (X3) | (X4) | (X5) | (X6) | (X7) | (X8) | (X9) | (X10) | (X11) | (X12) | Var. Dep. | Calidad |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-----------|---------|
| 1 | 14.45 | 0.00 | 0.06 | 82.32 | 0.00 | 0.06 | 42.37 | 14.30 | 0.06 | | | 191.50 |
| 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.40 | 15.90 | 0.00 | 67.15 | 15.71 | 0.00 | | | 196.70 |
| 3 | 0.00 | 0.00 | 12.42 | 112.59 | 0.00 | 0.00 | 43.67 | 12.31 | 0.00 | | | 192.64 |
| 4 | 0.00 | 22.86 | 12.42 | 90.21 | 0.00 | 0.00 | 41.20 | 12.54 | 0.00 | | | 200.06 |
| 5 | 0.00 | 22.72 | 8.91 | 79.22 | 0.00 | 6.20 | 71.13 | 12.03 | 0.00 | | | 200.84 |
| 6 | 0.00 | 22.86 | 8.30 | 90.94 | 0.00 | 0.00 | 47.82 | 11.94 | 0.00 | | | 200.06 |
| 7 | 0.00 | 0.00 | 23.00 | 82.85 | 0.00 | 0.00 | 36.33 | 10.26 | 11.71 | | | 193.10 |
| 8 | 0.00 | 0.00 | 18.52 | 68.28 | 44.27 | 0.00 | 36.26 | 10.52 | 22.61 | | | 197.60 |
| 9 | 0.00 | 12.75 | 17.16 | 88.87 | 66.12 | 0.00 | 20.60 | 11.50 | 21.14 | | | 201.42 |
| 10 | 0.00 | 16.74 | 0.00 | 96.22 | 56.32 | 0.00 | 46.27 | 15.02 | 20.16 | | | 216.90 |
| 11 | 0.00 | 0.00 | 12.42 | 112.59 | 0.00 | 0.00 | 43.67 | 12.31 | 0.00 | | | 192.64 |
| 12 | 0.00 | 0.00 | 12.29 | 82.89 | 43.96 | 0.00 | 31.86 | 15.65 | 18.82 | | | 202.46 |
| 13 | 0.00 | 0.00 | 22.31 | 90.21 | 56.19 | 0.00 | 34.29 | 12.36 | 0.00 | | | 202.84 |
| 14 | 0.00 | 0.00 | 23.24 | 95.62 | 97.84 | 0.00 | 25.72 | 12.03 | 0.00 | | | 195.90 |
| 15 | 0.00 | 0.00 | 23.18 | 96.59 | 48.29 | 0.00 | 23.07 | 10.65 | 0.00 | | | 200.66 |

Figura 6.44 Datos para usar ARM.

4. Se ejecutó el programa presionando el botón Generar Todos Los Modelos, al hacerlo se generaban los modelos lineal, logarítmico, exponencial y potencial. También se podía generar solo el modelo lineal presionando el botón Generar Lineal (en cada caso se obtenían los coeficientes y bias para los modelos).

5. Luego de generados los modelos se obtienen los coeficientes (índices de mezcla) y algunos parámetros estadísticos que permiten seleccionar un

determinado modelo, es recomendable que el parámetro estadístico R^2 sea superior al 70%, pero de no serlo se deben tomar medidas análogas al caso de PLS (paso 10 procedimiento PLS).

| Resumen del Modelo | | Coeficientes Calculados | | | | | | | |
|---------------------|--------------|-------------------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | | Lineal | | Exponencial | | Logaritmo | | Potencial | |
| Variable | Coefficiente | Lineal | Error est. | Expon. | Error est. | Logar. | Error est. | Potencial | Error est. |
| a | | -15,354 | 122,080 | 64,911 | 1,054 | 57,212 | 47,633 | 87,135 | 1,276 |
| X1 | b | 3,492 | 1,595 | 0,017 | 0,009 | 0,546 | 0,120 | 0,002 | 0,001 |
| X2 | c | 0,206 | 0,973 | 0,002 | 0,005 | -13,947 | 3,706 | -0,069 | 0,016 |
| X3 | d | 0,024 | 0,345 | 0,004 | 0,002 | 0,419 | 0,142 | 0,002 | 0,001 |
| X4 | e | 0,461 | 0,594 | 0,002 | 0,003 | -12,005 | 3,078 | -0,064 | 0,016 |
| X5 | f | 1,308 | 0,589 | 0,007 | 0,003 | 0,258 | 0,129 | 0,001 | 0,001 |
| X6 | g | 0,943 | 0,606 | 0,005 | 0,003 | -6,772 | 6,850 | -0,039 | 0,034 |
| X7 | h | 0,803 | 0,275 | 0,003 | 0,001 | 0,173 | 0,150 | 0,001 | 0,001 |
| X8 | i | 0,360 | 0,110 | 0,002 | 0,005 | -4,456 | 0,134 | -0,002 | 0,001 |
| X9 | j | 1,245 | 0,593 | 0,006 | 0,003 | 3,370 | 3,242 | 0,019 | 0,017 |
| X10 | k | 2,575 | 0,961 | 0,012 | 0,005 | 22,208 | 4,412 | 0,110 | 0,022 |
| X11 | l | 1,150 | 0,568 | 0,006 | 0,003 | 0,039 | 0,105 | 0,000 | 0,001 |
| X12 | m | | | 0,001 | 0,001 | 0,004 | | 0,004 | |
| Desviación estándar | | 1,400 | | 1,000 | | 1,213 | | 1,006 | |
| Observaciones (n) | | 14 | | 14 | | 14 | | 14 | |

Figura 6.45 Resultados ARM.

- De los modelos generados se tomó el lineal, los valores de los índices de mezcla y bias fueron llevados a la hoja de mezclas y automáticamente los modelos quedaban generados, cada vez que se deba o desee actualizar los modelos a través de esta vía se debe realizar el mismo procedimiento.
- En caso de que en un futuro estadísticamente se obtenga como resultado que el modelo que permite predecir la calidad deseada con mayor exactitud no sea lineal, ARM posee una sección en donde se encuentran las ecuaciones matemáticas a utilizar según sea el modelo seleccionado.

| Índice | Potencial | Ecuaciones de los Modelos |
|------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Error est. | Potencial | Error est. |
| | | LINEAL: $Y_i = a + bX_{i1} + cX_{i2} + \dots + mX_{i12}$ |
| | | EXPONENCIAL: $Y_i = a * \exp(bX_{i1} + cX_{i2} + \dots + mX_{i12})$ |
| | | LOGARITMICO: $Y_i = a + b \ln X_{i1} + c \ln X_{i2} + \dots + m \ln X_{i12}$ |
| | | POTENCIAL: $Y_i = a * (X_{i1}^b + X_{i2}^c + \dots + X_{i12}^m)$ |
| | | $i = 1, 2, 3, \dots, n$ |

Figura 6.46 Ecuaciones de los modelos ARM.

7. CONCLUSIONES

Luego de realizar el estudio de los modelos obtenidos por ambos programas (PLS y ARM) para las calidades seleccionadas de las gasolinas LV-22, LV-23, L-154I y L-154V elaboradas en la refinería de Amuay se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Las elevadas desviaciones (de hasta 40%) de los valores de calidad estimados con los modelos anteriores a los propuestos en este trabajo, con respecto a los valores reales obtenidos de análisis de laboratorio, se deben al uso de índices de mezcla en lugar de las calidades reales de los componentes al determinar las calidades finales de las gasolinas.
2. Todos los componentes de las gasolinas varían sus calidades constantemente.
3. El laboratorio no realiza los suficientes análisis a los componentes de las gasolinas.
4. La influencia de un componente a una determinada calidad en la gasolina se debe a las magnitudes de calidad y porcentaje en volumen del componente en la mezcla.
5. Algunas calidades estudiadas como el RVP de la LV-22, el contenido de aromáticos y olefinas de la LV-23, el contenido de oxígeno y la T10 de la L-154I; y el contenido de azufre y el RVP de la L-154V, demostraron que para garantizar la elaboración de modelos confiables no es suficiente realizar un descarte primario de las mezclas haciendo uso de las premisas establecidas por el CRP, sino que se requiere de la aplicación de técnicas adicionales de CEP.
6. Una calidad específica de un determinado tipo de gasolina es estadísticamente controlable y consistente, cuando al elaborar los gráficos de control rango móvil e individuos - rango móvil se satisfacen las reglas de control estadístico de procesos (CEP).

7. El programa PLS es sencillo de aplicar para hallar modelos matemáticos lineales. Cuando el análisis estadístico de los residuales elaborado por dicho programa determina desviaciones bajas, los modelos obtenidos son confiables y el comportamiento entre los valores reales y los obtenidos por el modelo siguen la misma tendencia.
8. El programa ARM es una herramienta amigable a la hora de obtener modelos lineales, logarítmicos, exponenciales y potenciales. Además, demostró que el comportamiento de las calidades al mezclar es lineal.
9. Valores del coeficiente de correlación (R^2) superiores al 75 % garantizan que al aplicar los programas PLS y ARM se obtendrán modelos con confiabilidades superiores al 90 %.
10. El porcentaje de confiabilidad obtenido a la hora de predecir las calidades de las gasolinas LV-22, LV-23, L-154I y L-154V usando los modelos obtenidos por los programas PLS y ARM en todos los casos y todas las mezclas superaron los valores de confiabilidad originados por los modelos anteriores en un rango de 3 a 30 %.
11. El porcentaje de desviación originado por los modelos nuevos es similar entre sí, por lo que realmente es indiferente trabajar con un programa u otro (PLS o ARM).
12. La confiabilidad de los modelos hallados a partir del uso de PLS y ARM se mantuvo elevada tras validar los mismos con el total de las mezclas de LV-22, LV-23, L-154I y L-154V elaboradas entre Enero del 2000 y Septiembre del 2001.
13. Tanto con el uso del programa PLS o el ARM, las calidades más analizadas (RVP, RON, MON y destilación) facilitaron la obtención de modelos con confiabilidades muy cercanas al 100 %. Mientras el porcentaje de confiabilidad del resto de los modelos ronda el 90 %.
14. Usar los nuevos modelos para el caso del RON y el MON de las gasolinas destinadas al consumo local, evita el uso de tablas de sensibilidad al plomo.

15. Sí se realizan mezclas con componentes inusuales que no fueron tomados en cuenta a la hora de elaborar los modelos, disminuye la confiabilidad de los mismos.
16. La nueva hoja de mezclas es un documento muy sencillo de usar que presenta como ventajas el ofrecer diversas alternativas a la hora de introducir las recetas de las gasolinas así como también permitir obtener factores de aporte de una manera directa a la hora de futuras actualizaciones y poseer la capacidad de autoevaluar el comportamiento de los modelos, determinando las confiabilidades para los modelos mezcla tras mezcla y las confiabilidades promedio mensuales.
17. Cualquier ingeniero de la refinería está en capacidad de usar los programas PLS y ARM siguiendo estrictamente los procedimientos elaborados.
18. Tras comparar los modelos anteriores con los propuestos, la refinería de Amuay cambio sus métodos de predicción utilizando los coeficientes seleccionados (PLS y ARM) y la nueva hoja de mezclas.

8. RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las recomendaciones que se originan como resultado del trabajo realizado en el área de programación y suministros de la refinería de Amuay.

1. Se deben realizar análisis de RVP, RON, MON, aromáticos, azufre, benceno, olefinas, oxígeno y curva de destilación a los tanques de todos los componentes sin excepción como mínimo dos veces al mes.
2. Tomar en cuenta las calidades de los talones al momento de inferir las calidades finales de las gasolinas.
3. Si se pone en práctica la recomendación anterior, actualizar los nuevos modelos adicionando las nuevas variables que aportan las calidades del talón.
4. Actualizar al menos una vez al mes en la nueva hoja de mezclas las calidades de los componentes.
5. Actualizar por lo menos una vez al año los coeficientes (índices de mezcla) obtenidos por PLS y ARM.
6. Al poner en práctica la recomendación anterior, hacer el descarte primario de las mezclas antes de generar los factores de aporte de las mismas.
7. Restringir los modelos PLS y ARM para las calidades que provienen de balances de masa, de manera que los coeficientes finales de los mismos sean mayores o iguales que cero y tengan sentido físico.
8. De usar los modelos de bajo porcentaje de R^2 , aplicar conjuntamente los modelos PLS y ARM.
9. Actualizar los modelos cuando el promedio del porcentaje de confiabilidad para un mes sea inferior a lo esperado, según el criterio del programador.
10. Usar los programas PLS y ARM para generar modelos que permitan predecir otras calidades en las gasolinas.
11. Usar los programas PLS y ARM para generar modelos en cualquier mezcla, bien sea de gasolinas o de otros productos.

12. Cuando el programa ARM reporte que el mejor modelo no es el lineal, validar el mejor modelo obtenido junto con el lineal.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. HOLER R. / VALERA L. Manual de Naftas y Gasolinas de la Refinería de Amuay. LAGOVEN, Ingeniería de Procesos. Mar/1988.
2. Manual de Operaciones. Mezclador de gasolina. Refinería Amuay. Feb/1992.
3. Guía de Especificaciones de Calidad de Productos LAGOVEN. LAGOVEN. Oct/1996.
4. Documento Técnico. Pasantía Regalías El Palito. CORPOVEN 1999.
5. ARTEAGA L. / CHÁVEZ J. Optimización de mezclas en la preparación de gasolinas terminadas. PEMEX-Refinación. Hidalgo, Nov/2000.
6. PIETRI A. Representación de mezclas de gasolina en un modelo lineal. U.C.V. – E.I.Q. Caracas, May/1970.
7. PIMS USER'S MANUAL Versión 7.00. Bechtel Corporation, U.S.A. Nov/1994.
8. GARY, James. Petroleum Refinery Distillation. Gulf Publishing Company. Houston Texas 1979.
9. GELADI, Paul / KOWALSKI, B. Partial Least Squares Regression: A Tutorial. Laboratory for Chemometrics and Center for Process Analytical Chemistry, University of Washington, Seattle. July 1985.
10. LUYBEN, William. Process modeling simulation and control for Chemical Engineers. McGraw-Hill, Nueva York 1990.
11. RASMUS, B. The NWAY Toolbox. Departamento de Tecnología de Alimentos. Grupo de Chemometria, Dinamarca.1997.
12. MATLAB User's Guide, The MathWorks, Inc., Massachusetts, 1995.
13. SJOBERG, A. / MELIN, B. / ISAKSSON, P. The MATLAB Handbook, Addison-Wesley, Nueva York, 1996.
14. Página Web: www.geocities.com/calidad-cep
15. RUÍZ, D. Técnicas Estadísticas. Procesos administrativos generales CRP. Amuay. Feb/2001.

APÉNDICES

APÉNDICE A

A continuación se presentan de manera detallada la validación (porcentajes de desviación y confiabilidad) de los modelos anteriores y los modelos obtenidos de aplicar el programa PLS para el RVP de las gasolinas LV-22, LV-23, L-154I y L-154V. El primer grupo de tablas corresponde a las mezclas de LV-22 realizadas entre Enero de 2000 y Agosto de 2001.

Tabla A.1.a Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-22.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP PLS | % Desv PLS | Confiab PLS |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 14-Ene | 8,81 | 8,90 | 0,99 | 99,01 | 8,54 | 3,09 | 96,91 |
| 20-Ene | 8,75 | 8,81 | 0,71 | 99,29 | 8,58 | 1,91 | 98,09 |
| 04-Feb | 9,19 | 12,93 | 40,67 | 59,33 | 9,19 | 0,00 | 100,00 |
| 15-Feb | 9,05 | 9,08 | 0,28 | 99,72 | 8,63 | 4,62 | 95,38 |
| 20-Feb | 9,44 | 8,95 | 5,17 | 94,83 | 8,56 | 9,27 | 90,73 |
| 29-Feb | 9,40 | 10,03 | 6,72 | 93,28 | 9,41 | 0,09 | 99,91 |
| 03-Mar | 9,40 | 9,40 | 0,01 | 99,99 | 8,96 | 4,70 | 95,30 |
| 05-Mar | 9,10 | 8,88 | 2,38 | 97,62 | 8,55 | 6,02 | 93,98 |
| 17-Mar | 9,16 | 8,74 | 4,59 | 95,41 | 8,45 | 7,71 | 92,29 |
| 20-Mar | 8,72 | 8,34 | 4,40 | 95,60 | 8,19 | 6,12 | 93,88 |
| 24-Mar | 9,16 | 8,53 | 6,86 | 93,14 | 8,30 | 9,34 | 90,66 |
| 30-Mar | 8,21 | 8,24 | 0,38 | 99,62 | 8,10 | 1,40 | 98,60 |
| 01-Abr | 9,12 | 9,57 | 4,97 | 95,03 | 9,03 | 0,99 | 99,01 |
| 12-Abr | 8,98 | 7,97 | 11,28 | 88,72 | 8,80 | 2,00 | 98,00 |
| 15-Abr | 7,98 | 7,06 | 11,51 | 88,49 | 7,25 | 9,18 | 90,82 |
| 16-Abr | 9,19 | 9,60 | 4,46 | 95,54 | 9,02 | 1,82 | 98,18 |
| 25-Abr | 9,05 | 9,28 | 2,51 | 97,49 | 8,84 | 2,33 | 97,67 |
| 02-May | 8,69 | 7,92 | 8,82 | 91,18 | 7,82 | 9,96 | 90,04 |
| 04-May | 9,35 | 8,66 | 7,33 | 92,67 | 9,00 | 3,74 | 96,26 |
| 06-May | 9,35 | 8,65 | 7,44 | 92,56 | 9,00 | 3,74 | 96,26 |
| 10-May | 8,83 | 8,72 | 1,28 | 98,72 | 8,38 | 5,07 | 94,93 |
| 10-May | 8,98 | 8,69 | 3,28 | 96,72 | 8,36 | 6,89 | 93,11 |
| 17-May | 8,25 | 7,37 | 10,70 | 89,30 | 8,00 | 3,03 | 96,97 |
| 21-May | 7,77 | 8,50 | 9,42 | 90,58 | 8,22 | 5,85 | 94,15 |
| 29-May | 8,75 | 9,41 | 7,56 | 92,44 | 8,84 | 1,06 | 98,94 |
| 03-Jun | 8,86 | 7,61 | 14,07 | 85,93 | 8,00 | 9,71 | 90,29 |
| 07-Jun | 8,75 | 9,12 | 4,23 | 95,77 | 8,70 | 0,56 | 99,44 |
| 11-Jun | 8,06 | 7,08 | 12,13 | 87,87 | 8,00 | 0,74 | 99,26 |
| 15-Jun | 8,05 | 7,37 | 8,48 | 91,52 | 8,00 | 0,62 | 99,38 |

Tabla A.1.b Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-22.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP PLS | % Desv PLS | Confiab PLS |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 14-Ago | 8,58 | 8,73 | 1,71 | 98,29 | 8,42 | 1,91 | 98,09 |
| 18-Ago | 8,85 | 8,89 | 0,44 | 99,56 | 8,51 | 3,84 | 96,16 |
| 20-Ago | 8,86 | 8,66 | 2,30 | 97,70 | 8,35 | 5,78 | 94,22 |
| 25-Ago | 8,61 | 8,88 | 3,11 | 96,89 | 8,51 | 1,15 | 98,85 |
| 28-Ago | 7,01 | 6,53 | 6,81 | 93,19 | 7,00 | 0,18 | 99,82 |
| 12-Sep | 8,90 | 8,67 | 2,59 | 97,41 | 8,44 | 5,14 | 94,86 |
| 17-Sep | 9,35 | 9,20 | 1,63 | 98,37 | 8,76 | 6,29 | 93,71 |
| 20-Sep | 9,29 | 9,82 | 5,73 | 94,27 | 9,18 | 1,13 | 98,87 |
| 23-Sep | 9,45 | 9,49 | 0,41 | 99,59 | 8,95 | 5,28 | 94,72 |
| 29-Sep | 8,77 | 8,49 | 3,15 | 96,85 | 8,32 | 5,12 | 94,88 |
| 01-Oct | 8,55 | 7,30 | 14,66 | 85,34 | 8,00 | 6,43 | 93,57 |
| 03-Oct | 9,29 | 8,33 | 10,32 | 89,68 | 9,00 | 3,12 | 96,88 |
| 09-Oct | 9,16 | 8,23 | 10,15 | 89,85 | 9,00 | 1,75 | 98,25 |
| 15-Oct | 9,10 | 9,54 | 4,79 | 95,21 | 8,92 | 1,96 | 98,04 |
| 19-Oct | 8,87 | 9,57 | 7,92 | 92,08 | 8,94 | 0,83 | 99,17 |
| 22-Oct | 9,20 | 9,82 | 6,71 | 93,29 | 9,13 | 0,81 | 99,19 |
| 27-Oct | 8,54 | 9,25 | 8,33 | 91,67 | 8,76 | 2,59 | 97,41 |
| 29-Oct | 9,01 | 8,80 | 2,28 | 97,72 | 8,44 | 6,37 | 93,63 |
| 01-Nov | 8,58 | 8,33 | 2,88 | 97,12 | 8,20 | 4,43 | 95,57 |
| 03-Nov | 9,10 | 10,38 | 14,09 | 85,91 | 9,48 | 4,15 | 95,85 |
| 06-Nov | 8,67 | 8,26 | 4,71 | 95,29 | 8,05 | 7,15 | 92,85 |
| 12-Nov | 7,80 | 7,98 | 2,24 | 97,76 | 7,86 | 0,76 | 99,24 |
| 14-Nov | 8,85 | 7,84 | 11,41 | 88,59 | 8,00 | 9,60 | 90,40 |
| 20-Nov | 8,98 | 8,87 | 1,18 | 98,82 | 8,47 | 5,70 | 94,30 |
| 24-Nov | 8,28 | 7,78 | 6,04 | 93,96 | 7,73 | 6,68 | 93,32 |
| 28-Nov | 8,83 | 8,13 | 7,93 | 92,07 | 7,96 | 9,82 | 90,18 |
| 30-Nov | 8,53 | 7,92 | 7,09 | 92,91 | 7,84 | 8,09 | 91,91 |
| 04-Dic | 8,66 | 9,00 | 3,98 | 96,02 | 8,57 | 0,99 | 99,01 |
| 09-Dic | 9,33 | 9,07 | 2,75 | 97,25 | 8,63 | 7,46 | 92,54 |
| 12-Dic | 9,40 | 10,25 | 9,00 | 91,00 | 9,45 | 0,53 | 99,47 |
| 15-Dic | 9,24 | 9,16 | 0,86 | 99,14 | 8,68 | 6,01 | 93,99 |
| 20-Dic | 9,45 | 9,13 | 3,40 | 96,60 | 8,68 | 8,19 | 91,81 |
| 23-Dic | 9,20 | 9,36 | 1,70 | 98,30 | 8,85 | 3,78 | 96,22 |
| 27-Dic | 8,63 | 8,66 | 0,40 | 99,60 | 8,35 | 3,20 | 96,80 |
| 01-Ene | 9,18 | 8,88 | 3,22 | 96,78 | 8,50 | 7,37 | 92,63 |
| 06-Ene | 8,92 | 9,98 | 11,93 | 88,07 | 9,31 | 4,40 | 95,60 |
| 09-Ene | 7,75 | 7,29 | 5,91 | 94,09 | 7,39 | 4,61 | 95,39 |
| 12-Ene | 8,17 | 8,37 | 2,49 | 97,51 | 8,22 | 0,59 | 99,41 |
| 16-Ene | 8,62 | 8,62 | 0,04 | 99,96 | 8,38 | 2,77 | 97,23 |
| 18-Ene | 8,37 | 8,56 | 2,30 | 97,70 | 8,34 | 0,36 | 99,64 |
| 23-Ene | 8,84 | 8,87 | 0,35 | 99,65 | 8,55 | 3,31 | 96,69 |
| 24-Ene | 9,50 | 8,81 | 7,27 | 92,73 | 9,00 | 5,26 | 94,74 |
| 29-Ene | 9,50 | 9,53 | 0,30 | 99,70 | 9,00 | 5,30 | 94,70 |

Tabla A.1.c Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-22.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP PLS | % Desv PLS | Confiab PLS |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 01-Feb | 9,40 | 9,60 | 2,10 | 97,90 | 9,10 | 3,16 | 96,84 |
| 10-Feb | 9,20 | 9,83 | 6,90 | 93,10 | 9,23 | 0,35 | 99,65 |
| 09-Feb | 9,30 | 9,43 | 1,42 | 98,58 | 8,90 | 4,34 | 95,66 |
| 14-Feb | 9,20 | 10,35 | 12,45 | 87,55 | 9,59 | 4,28 | 95,72 |
| 14-Feb | 9,20 | 10,54 | 14,54 | 85,46 | 9,71 | 5,59 | 94,41 |
| 21-Feb | 9,40 | 10,20 | 8,53 | 91,47 | 9,52 | 1,31 | 98,69 |
| 11-Mar | 9,35 | 8,76 | 6,30 | 93,70 | 8,47 | 9,42 | 90,58 |
| 17-Mar | 9,16 | 8,98 | 1,91 | 98,09 | 8,61 | 5,95 | 94,05 |
| 22-Mar | 8,95 | 8,19 | 8,45 | 91,55 | 9,00 | 0,56 | 99,44 |
| 27-Mar | 8,44 | 8,58 | 1,70 | 98,30 | 8,35 | 1,08 | 98,92 |
| 2-Abr | 8,84 | 7,81 | 11,63 | 88,37 | 8,00 | 9,50 | 90,50 |
| 6-Abr | 9,28 | 10,31 | 11,12 | 88,88 | 9,42 | 1,47 | 98,53 |
| 9-Abr | 8,86 | 7,75 | 12,50 | 87,50 | 9,00 | 1,58 | 98,42 |
| 12-Abr | 9,39 | 6,76 | 27,96 | 72,04 | 9,00 | 4,15 | 95,85 |
| 16-Abr | 9,36 | 7,62 | 18,58 | 81,42 | 9,22 | 1,50 | 98,50 |
| 21-Abr | 9,28 | 8,05 | 13,29 | 86,71 | 8,89 | 4,20 | 95,80 |
| 24-Abr | 9,37 | 7,65 | 18,36 | 81,64 | 9,00 | 3,95 | 96,05 |
| 29-Abr | 8,66 | 8,01 | 7,45 | 92,55 | 7,94 | 8,36 | 91,64 |
| May | 8,37 | 8,96 | 7,04 | 92,96 | 8,56 | 2,30 | 97,70 |
| 15-May | 8,64 | 8,88 | 2,81 | 97,19 | 8,57 | 0,75 | 99,25 |
| 19-May | 8,77 | 9,48 | 8,05 | 91,95 | 8,99 | 2,46 | 97,54 |
| 01-Jun | 8,98 | 9,71 | 8,17 | 91,83 | 9,09 | 1,21 | 98,79 |
| 04-Jun | 8,79 | 8,75 | 0,47 | 99,53 | 8,48 | 3,48 | 96,52 |
| 12-Jun | 7,48 | 7,25 | 3,10 | 96,90 | 7,42 | 0,75 | 99,25 |
| 15-Jun | 8,58 | 9,51 | 10,83 | 89,17 | 9,01 | 4,99 | 95,01 |
| 19-Jun | 9,11 | 9,95 | 9,26 | 90,74 | 9,33 | 2,47 | 97,53 |
| 23-Jun | 8,91 | 9,41 | 5,67 | 94,33 | 8,95 | 0,40 | 99,60 |
| 25-Jun | 9,40 | 9,81 | 4,39 | 95,61 | 9,10 | 3,15 | 96,85 |
| | 8,87 | 9,13 | 2,96 | 97,04 | 8,75 | 1,35 | 98,65 |
| 06-Jul | 9,33 | 9,07 | 2,83 | 97,17 | 8,69 | 6,83 | 93,17 |
| 11-Jul | 8,51 | 9,21 | 8,24 | 91,76 | 8,79 | 3,25 | 96,75 |
| 16-Jul | 8,84 | 9,07 | 2,57 | 97,43 | 8,73 | 1,27 | 98,73 |
| 20-Jul | 8,81 | 8,80 | 0,13 | 99,87 | 8,48 | 3,73 | 96,27 |
| 26-Jul | 9,21 | 9,60 | 4,26 | 95,74 | 9,03 | 1,94 | 98,06 |
| 01-Ago | 9,35 | 9,41 | 0,69 | 99,31 | 8,91 | 4,66 | 95,34 |
| 05-Ago | 9,10 | 9,99 | 9,77 | 90,23 | 9,22 | 1,33 | 98,67 |
| 10-Ago | 8,91 | 8,79 | 1,32 | 98,68 | 8,52 | 4,32 | 95,68 |
| 14-Ago | 9,04 | 9,64 | 6,68 | 93,32 | 9,08 | 0,44 | 99,56 |
| 19-Ago | 9,25 | 9,88 | 6,78 | 93,22 | 9,27 | 0,16 | 99,84 |
| 23-Ago | 8,62 | 8,62 | 0,03 | 99,97 | 8,39 | 2,61 | 97,39 |
| 29-Ago | 8,96 | 9,44 | 5,37 | 94,63 | 8,93 | 0,29 | 99,71 |

A continuación se presentan en tablas la validación (porcentajes de desviación y confiabilidad) de los modelos de predicción de RVP anteriores y los modelos PLS para cada una de las mezclas realizadas entre Enero de 2000 y Agosto de 2001 de gasolina LV-23.

Tabla A.2.a Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-23.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP PLS | % Desv PLS | Confiab PLS |
|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| 02-Ene | 8,95 | 8,42 | 5,96 | 94,04 | 8,92 | 0,34 | 99,66 |
| 09-Ene | 9,40 | 8,23 | 12,42 | 87,58 | 9,07 | 3,55 | 96,45 |
| 14-Ene | 9,20 | 8,96 | 2,59 | 97,41 | 9,07 | 1,45 | 98,55 |
| 18-Ene | 9,20 | 8,52 | 7,36 | 92,64 | 9,20 | 0,04 | 99,96 |
| 03-Feb | 8,98 | 9,47 | 5,43 | 94,57 | 8,56 | 4,63 | 95,37 |
| 08-Feb | 9,04 | 9,49 | 5,01 | 94,99 | 8,57 | 5,21 | 94,79 |
| 16-Feb | 9,49 | 9,78 | 3,02 | 96,98 | 8,69 | 8,48 | 91,52 |
| 21-Feb | 9,33 | 8,89 | 4,68 | 95,32 | 8,46 | 9,36 | 90,64 |
| 03-Mar | 8,91 | 7,93 | 10,98 | 89,02 | 8,61 | 3,36 | 96,64 |
| 04-Mar | 8,88 | 7,92 | 10,77 | 89,23 | 8,56 | 3,56 | 96,44 |
| 09-Mar | 8,91 | 9,33 | 4,71 | 95,29 | 8,68 | 2,55 | 97,45 |
| 12-Mar | 8,07 | 9,27 | 14,85 | 85,15 | 8,66 | 7,27 | 92,73 |
| 15-Mar | 9,28 | 9,00 | 3,03 | 96,97 | 8,39 | 9,61 | 90,39 |
| 16-Mar | 9,10 | 8,54 | 6,21 | 93,79 | 8,29 | 8,91 | 91,09 |
| 19-Mar | 8,22 | 8,59 | 4,52 | 95,48 | 8,33 | 1,36 | 98,64 |
| 28-Mar | 8,62 | 9,55 | 10,80 | 89,20 | 8,55 | 0,77 | 99,23 |
| 30-Mar | 8,27 | 6,95 | 15,92 | 84,08 | 8,29 | 0,27 | 99,73 |
| 04-Abr | 8,60 | 9,95 | 15,72 | 84,28 | 8,94 | 3,95 | 96,05 |
| 06-Abr | 8,65 | 8,66 | 0,11 | 99,89 | 8,58 | 0,78 | 99,22 |
| 11-Abr | 8,51 | 9,41 | 10,63 | 89,37 | 8,70 | 2,28 | 97,72 |
| 17-Abr | 9,12 | 10,00 | 9,68 | 90,32 | 8,92 | 2,23 | 97,77 |
| 22-Abr | 8,79 | 8,67 | 1,39 | 98,61 | 8,80 | 0,17 | 99,83 |
| 24-Abr | 8,15 | 10,06 | 23,44 | 76,56 | 8,89 | 9,08 | 90,92 |
| 21-Abr | 8,83 | 10,12 | 14,60 | 85,40 | 8,97 | 1,56 | 98,44 |
| 02-May | 9,24 | 8,73 | 5,51 | 94,49 | 9,05 | 2,05 | 97,95 |
| 04-May | 9,15 | 8,63 | 5,64 | 94,36 | 8,97 | 2,00 | 98,00 |
| 11-May | 8,64 | 8,64 | 0,03 | 99,97 | 9,02 | 4,42 | 95,58 |
| 12-May | 8,46 | 7,79 | 7,96 | 92,04 | 8,58 | 1,39 | 98,61 |
| 20-May | 8,36 | 8,26 | 1,21 | 98,79 | 8,78 | 4,97 | 95,03 |
| 24-May | 9,10 | 7,94 | 12,79 | 87,21 | 9,05 | 0,56 | 99,44 |
| 21-May | 8,95 | 8,50 | 5,05 | 94,95 | 9,12 | 1,86 | 98,14 |
| 01-Jun | 8,96 | 7,83 | 12,66 | 87,34 | 8,77 | 2,15 | 97,85 |
| 06-Jun | 9,16 | 7,77 | 15,14 | 84,86 | 8,28 | 9,63 | 90,37 |
| 11-Jun | 8,43 | 7,98 | 5,32 | 94,68 | 8,25 | 2,10 | 97,90 |
| 13-Jun | 8,56 | 7,91 | 7,62 | 92,38 | 8,32 | 2,75 | 97,25 |
| 18-Jun | 8,49 | 9,16 | 7,88 | 92,12 | 8,60 | 1,33 | 98,67 |
| 23-Jun | 8,84 | 8,63 | 2,41 | 97,59 | 8,64 | 2,27 | 97,73 |

Tabla A.2.b Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-23.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP PLS | % Desv PLS | Confiab PLS |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 24-Jun | 8,97 | 8,57 | 4,48 | 95,52 | 8,45 | 5,74 | 94,26 |
| 28-Jun | 9,21 | 9,55 | 3,72 | 96,28 | 8,72 | 5,28 | 94,72 |
| 29-Jun | 9,26 | 9,53 | 2,87 | 97,13 | 8,71 | 5,90 | 94,10 |
| 05-Jul | 9,31 | 9,78 | 5,10 | 94,90 | 8,91 | 4,33 | 95,67 |
| 08-Jul | 9,15 | 10,36 | 13,26 | 86,74 | 8,64 | 5,58 | 94,42 |
| 08-Jul | 9,10 | 10,40 | 14,25 | 85,75 | 8,64 | 5,04 | 94,96 |
| 12-Jul | 9,19 | 12,16 | 32,35 | 67,65 | 8,96 | 2,49 | 97,51 |
| 14-Jul | 7,86 | 8,79 | 11,85 | 88,15 | 8,18 | 4,02 | 95,98 |
| 21-Jul | 7,27 | 7,92 | 8,92 | 91,08 | 7,00 | 3,71 | 96,29 |
| 21-Jul | 8,81 | 9,20 | 4,38 | 95,62 | 8,61 | 2,26 | 97,74 |
| 31-Jul | 8,44 | 9,44 | 11,87 | 88,13 | 8,58 | 1,66 | 98,34 |
| 02-Ago | 8,86 | 8,71 | 1,67 | 98,33 | 8,68 | 2,04 | 97,96 |
| 05-Ago | 8,81 | 8,84 | 0,32 | 99,68 | 8,72 | 0,99 | 99,01 |
| 12-Ago | 8,98 | 9,31 | 3,65 | 96,35 | 8,86 | 1,28 | 98,72 |
| 16-Ago | 8,42 | 8,72 | 3,55 | 96,45 | 8,71 | 3,45 | 96,55 |
| 21-Ago | 8,03 | 9,08 | 13,07 | 86,93 | 8,74 | 8,80 | 91,20 |
| 27-Ago | 8,63 | 8,80 | 1,93 | 98,07 | 8,66 | 0,33 | 99,67 |
| 04-Sep | 9,22 | 10,24 | 11,03 | 88,97 | 9,20 | 0,17 | 99,83 |
| 12-Sep | 8,93 | 9,39 | 5,12 | 94,88 | 8,95 | 0,21 | 99,79 |
| 16-Sep | 9,45 | 9,39 | 0,66 | 99,34 | 9,02 | 4,57 | 95,43 |
| 19-Sep | 9,31 | 9,38 | 0,76 | 99,24 | 8,91 | 4,34 | 95,66 |
| 22-Sep | 8,83 | 8,40 | 4,89 | 95,11 | 8,66 | 1,87 | 98,13 |
| 02-Oct | 9,27 | 8,30 | 10,44 | 89,56 | 8,71 | 6,08 | 93,92 |
| 05-Oct | 8,80 | 8,13 | 7,60 | 92,40 | 8,68 | 1,40 | 98,60 |
| 11-Oct | 9,10 | 8,96 | 1,54 | 98,46 | 8,87 | 2,55 | 97,45 |
| 12-Oct | 9,31 | 8,73 | 6,19 | 93,81 | 8,85 | 4,98 | 95,02 |
| 16-Oct | 9,20 | 9,43 | 2,49 | 97,51 | 8,99 | 2,28 | 97,72 |
| 18-Oct | 9,05 | 9,19 | 1,54 | 98,46 | 8,96 | 0,99 | 99,01 |
| 21-Oct | 9,14 | 9,40 | 2,80 | 97,20 | 9,02 | 1,33 | 98,67 |
| 24-Oct | 9,05 | 8,81 | 2,69 | 97,31 | 8,79 | 2,83 | 97,17 |
| 29-Oct | 9,35 | 8,95 | 4,33 | 95,67 | 8,88 | 5,07 | 94,93 |
| 01-Nov | 9,12 | 9,06 | 0,69 | 99,31 | 8,84 | 3,06 | 96,94 |
| 05-Nov | 9,36 | 9,39 | 0,30 | 99,70 | 8,91 | 4,78 | 95,22 |
| 06-Nov | 8,69 | 9,12 | 4,98 | 95,02 | 8,79 | 1,17 | 98,83 |
| 09-Nov | 9,44 | 9,45 | 0,06 | 99,94 | 8,99 | 4,72 | 95,28 |
| 13-Nov | 9,11 | 9,25 | 1,56 | 98,44 | 8,89 | 2,44 | 97,56 |
| 19-Nov | 9,08 | 8,88 | 2,17 | 97,83 | 8,81 | 3,02 | 96,98 |

Tabla A.2.c Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-23.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP PLS | % Desv PLS | Confiab PLS |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 21-Nov | 8,46 | 8,15 | 3,62 | 96,38 | 8,53 | 0,80 | 99,20 |
| 29-Nov | 9,05 | 8,68 | 4,07 | 95,93 | 8,74 | 3,39 | 96,61 |
| 30-Nov | 9,05 | 9,05 | 0,00 | 100,00 | 8,68 | 4,08 | 95,92 |
| 03-Dic | 9,23 | 9,33 | 1,11 | 98,89 | 9,02 | 2,30 | 97,70 |
| 07-Dic | 9,13 | 9,15 | 0,24 | 99,76 | 9,05 | 0,88 | 99,12 |
| 11-Dic | 9,50 | 9,18 | 3,42 | 96,58 | 9,11 | 4,14 | 95,86 |
| 13-Dic | 8,95 | 9,14 | 2,12 | 97,88 | 9,14 | 2,13 | 97,87 |
| 15-Dic | 9,11 | 9,05 | 0,69 | 99,31 | 9,15 | 0,48 | 99,52 |
| 20-Dic | 9,10 | 8,81 | 3,16 | 96,84 | 8,98 | 1,29 | 98,71 |
| 21-Dic | 9,10 | 9,30 | 2,23 | 97,77 | 9,12 | 0,20 | 99,80 |
| 21-Dic | 9,04 | 9,03 | 0,12 | 99,88 | 9,07 | 0,28 | 99,72 |
| 29-Dic | 9,08 | 10,16 | 11,85 | 88,15 | 9,25 | 1,86 | 98,14 |
| 31-Dic | 9,31 | 9,37 | 0,64 | 99,36 | 9,16 | 1,56 | 98,44 |
| 06-Ene | 9,20 | 9,24 | 0,46 | 99,54 | 9,13 | 0,74 | 99,26 |
| 09-Ene | 9,30 | 9,05 | 2,69 | 97,31 | 9,13 | 1,80 | 98,20 |
| 13-Ene | 8,90 | 8,78 | 1,35 | 98,65 | 8,97 | 0,73 | 99,27 |
| 17-Ene | 9,06 | 9,13 | 0,76 | 99,24 | 9,08 | 0,23 | 99,77 |
| 17-Ene | 8,79 | 8,97 | 2,02 | 97,98 | 9,10 | 3,54 | 96,46 |
| 18-Ene | 9,50 | 8,81 | 7,23 | 92,77 | 8,93 | 5,97 | 94,03 |
| 22-Ene | 9,02 | 9,03 | 0,16 | 99,84 | 8,85 | 1,89 | 98,11 |
| 21-Ene | 9,35 | 6,69 | 28,50 | 71,50 | 9,85 | 5,34 | 94,66 |
| 21-Ene | 9,20 | 8,30 | 9,79 | 90,21 | 8,88 | 3,50 | 96,50 |
| 28-Ene | 8,70 | 7,57 | 12,95 | 87,05 | 8,72 | 0,27 | 99,73 |
| 03-Feb | 9,50 | 7,18 | 24,44 | 75,56 | 9,00 | 5,26 | 94,74 |
| 11-Feb | 9,50 | 8,67 | 8,72 | 91,28 | 8,82 | 7,15 | 92,85 |
| 12-Feb | 9,00 | 9,45 | 4,97 | 95,03 | 8,96 | 0,40 | 99,60 |
| 15-Feb | 9,20 | 9,19 | 0,12 | 99,88 | 8,99 | 2,30 | 97,70 |
| 25-Feb | 9,50 | 9,18 | 3,37 | 96,63 | 8,92 | 6,08 | 93,92 |
| 02-Mar | 9,10 | 8,18 | 10,15 | 89,85 | 8,61 | 5,34 | 94,66 |
| 05-Mar | 8,86 | 8,07 | 8,89 | 91,11 | 8,73 | 1,52 | 98,48 |
| 12-Mar | 9,20 | 11,04 | 19,99 | 80,01 | 9,42 | 2,34 | 97,66 |
| 17-Mar | 8,87 | 8,61 | 2,97 | 97,03 | 8,86 | 0,10 | 99,90 |
| 21-Mar | 8,47 | 8,14 | 3,95 | 96,05 | 8,74 | 3,21 | 96,79 |
| 22-Mar | 8,85 | 8,36 | 5,51 | 94,49 | 8,77 | 0,90 | 99,10 |
| 25-Mar | 8,63 | 8,23 | 4,59 | 95,41 | 8,69 | 0,72 | 99,28 |
| 25-Mar | 8,86 | 8,58 | 3,12 | 96,88 | 8,78 | 0,89 | 99,11 |
| 27-Mar | 9,20 | 8,74 | 5,05 | 94,95 | 8,89 | 3,33 | 96,67 |

Tabla A.2.d Validación modelo PLS del RVP gasolina LV-23.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP PLS | % Desv PLS | Confiab PLS |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 27-Mar | 8,74 | 8,36 | 4,37 | 95,63 | 8,86 | 1,37 | 98,63 |
| 31-Mar | 9,37 | 8,88 | 5,25 | 94,75 | 9,07 | 3,16 | 96,84 |
| 1-Abr | 9,37 | 7,77 | 17,07 | 82,93 | 9,00 | 3,92 | 96,08 |
| 7-Abr | 9,49 | 8,00 | 15,68 | 84,32 | 8,87 | 6,49 | 93,51 |
| 10-Abr | 9,50 | 8,51 | 10,41 | 89,59 | 9,02 | 5,03 | 94,97 |
| 12-Abr | 8,47 | 7,73 | 8,77 | 91,23 | 8,82 | 4,10 | 95,90 |
| 16-Abr | 9,10 | 7,78 | 14,46 | 85,54 | 8,83 | 2,92 | 97,08 |
| 20-Abr | 9,07 | 8,35 | 7,95 | 92,05 | 9,38 | 3,40 | 96,60 |
| 22-Abr | 9,16 | 7,94 | 13,32 | 86,68 | 9,24 | 0,91 | 99,09 |
| 28-Abr | 8,68 | 8,93 | 2,88 | 97,12 | 9,09 | 4,72 | 95,28 |
| 2-May | 9,50 | 8,52 | 10,31 | 89,69 | 9,04 | 4,81 | 95,19 |
| 12-May | 8,84 | 9,23 | 4,43 | 95,57 | 8,98 | 1,58 | 98,42 |
| 19-May | 8,46 | 8,89 | 5,07 | 94,93 | 8,91 | 5,33 | 94,67 |
| 23-May | 8,46 | 8,96 | 5,94 | 94,06 | 9,06 | 7,04 | 92,96 |
| 25-May | 8,87 | 8,59 | 3,12 | 96,88 | 8,83 | 0,51 | 99,49 |
| 29-May | 8,66 | 9,07 | 4,79 | 95,21 | 8,95 | 3,33 | 96,67 |
| 02-Jun | 9,50 | 8,86 | 6,71 | 93,29 | 8,93 | 6,01 | 93,99 |
| 02-Jun | 9,28 | 8,73 | 5,92 | 94,08 | 8,84 | 4,72 | 95,28 |
| 06-Jun | 8,85 | 8,81 | 0,50 | 99,50 | 9,09 | 2,74 | 97,26 |
| 09-Jun | 8,64 | 8,72 | 0,96 | 99,04 | 9,02 | 4,38 | 95,62 |
| 14-Jun | 8,93 | 9,33 | 4,50 | 95,50 | 8,96 | 0,31 | 99,69 |
| 22-Jun | 8,93 | 9,47 | 6,05 | 93,95 | 8,99 | 0,71 | 99,29 |
| 27-Jun | 8,99 | 9,25 | 2,92 | 97,08 | 8,92 | 0,76 | 99,24 |
| 05-Jul | 8,51 | 9,03 | 6,15 | 93,85 | 9,00 | 5,76 | 94,24 |
| 12-Jul | 8,75 | 8,18 | 6,48 | 93,52 | 9,20 | 5,10 | 94,90 |
| 16-Jul | 8,98 | 9,02 | 0,42 | 99,58 | 9,52 | 6,01 | 93,99 |
| 20-Jul | 8,87 | 8,77 | 1,15 | 98,85 | 8,78 | 0,96 | 99,04 |
| 21-Jul | 8,92 | 8,32 | 6,68 | 93,32 | 9,20 | 3,15 | 96,85 |
| 29-Jul | 9,17 | 8,59 | 6,29 | 93,71 | 9,00 | 1,84 | 98,16 |
| 04-Ago | 8,89 | 8,89 | 0,02 | 99,98 | 8,90 | 0,14 | 99,86 |
| 03-Ago | 9,17 | 9,05 | 1,34 | 98,66 | 8,97 | 2,14 | 97,86 |
| 10-Ago | 9,32 | 9,08 | 2,57 | 97,43 | 8,96 | 3,91 | 96,09 |
| 16-Ago | 8,93 | 9,20 | 3,00 | 97,00 | 8,97 | 0,41 | 99,59 |
| 19-Ago | 8,19 | 8,66 | 5,68 | 94,32 | 8,82 | 7,73 | 92,27 |
| 21-Ago | 8,11 | 8,96 | 10,42 | 89,58 | 8,00 | 1,36 | 98,64 |
| 24-Ago | 9,34 | 9,05 | 3,08 | 96,92 | 9,18 | 1,69 | 98,31 |

A continuación se presentan en tablas la validación (porcentajes de desviación y confiabilidad) de los modelos de predicción de RVP anteriores y los modelos PLS para cada una de las mezclas realizadas entre Enero de 2000 y Agosto de 2001 de gasolina L-154I.

Tabla A.3 Validación modelo PLS del RVP gasolina L-154I.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP PLS | % Desv PLS | Confiab PLS |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 16-Ene | 12,55 | 13,64 | 8,70 | 91,30 | 13,07 | 4,16 | 95,84 |
| 06-Feb | 12,60 | 12,49 | 0,89 | 99,11 | 12,46 | 1,07 | 98,93 |
| 10-Feb | 12,76 | 11,89 | 6,79 | 93,21 | 11,78 | 7,71 | 92,29 |
| 18-Feb | 12,40 | 10,43 | 15,89 | 84,11 | 13,00 | 4,84 | 95,16 |
| 10-Sep | 12,31 | 12,43 | 0,97 | 99,03 | 12,22 | 0,70 | 99,30 |
| 10-Sep | 12,31 | 12,92 | 4,92 | 95,08 | 12,50 | 1,55 | 98,45 |
| 14-Sep | 12,28 | 13,34 | 8,60 | 91,40 | 12,87 | 4,83 | 95,17 |
| 17-Sep | 12,44 | 13,33 | 7,18 | 92,82 | 12,88 | 3,58 | 96,42 |
| 26-Sep | 12,50 | 10,00 | 20,01 | 79,99 | 12,50 | 0,00 | 100,00 |
| 06-Oct | 12,60 | 12,11 | 3,93 | 96,07 | 12,06 | 4,28 | 95,72 |
| 07-Oct | 12,40 | 12,93 | 4,25 | 95,75 | 12,55 | 1,24 | 98,76 |
| 14-Oct | 12,36 | 12,56 | 1,66 | 98,34 | 12,36 | 0,01 | 99,99 |
| 20-Oct | 12,01 | 12,47 | 3,82 | 96,18 | 12,38 | 3,11 | 96,89 |
| 25-Oct | 12,53 | 13,34 | 6,43 | 93,57 | 12,81 | 2,23 | 97,77 |
| 31-Oct | 12,15 | 11,95 | 1,61 | 98,39 | 12,05 | 0,84 | 99,16 |
| 03-Nov | 12,44 | 12,47 | 0,22 | 99,78 | 12,45 | 0,09 | 99,91 |
| 10-Nov | 12,48 | 13,01 | 4,22 | 95,78 | 12,77 | 2,31 | 97,69 |
| 11-Nov | 12,10 | 12,87 | 6,37 | 93,63 | 12,71 | 5,01 | 94,99 |
| 15-Nov | 12,30 | 12,88 | 4,72 | 95,28 | 12,59 | 2,32 | 97,68 |
| 18-Nov | 12,15 | 13,08 | 7,66 | 92,34 | 13,31 | 9,56 | 90,44 |
| 28-Nov | 11,89 | 11,00 | 7,48 | 92,52 | 11,38 | 4,31 | 95,69 |
| 02-Dic | 12,11 | 12,85 | 6,07 | 93,93 | 12,43 | 2,67 | 97,33 |
| 12-Dic | 11,98 | 13,08 | 9,19 | 90,81 | 12,51 | 4,39 | 95,61 |
| 28-Dic | 11,98 | 12,19 | 1,74 | 98,26 | 12,05 | 0,57 | 99,43 |
| 30-Dic | 12,14 | 12,38 | 2,01 | 97,99 | 12,25 | 0,88 | 99,12 |
| 04-Ene | 12,07 | 13,43 | 11,25 | 88,75 | 12,85 | 6,47 | 93,53 |
| 07-Ene | 11,91 | 13,37 | 12,27 | 87,73 | 12,98 | 9,01 | 90,99 |
| 11-Ene | 12,23 | 13,36 | 9,24 | 90,76 | 13,26 | 8,39 | 91,61 |
| 12-Ene | 11,82 | 13,08 | 10,64 | 89,36 | 12,91 | 9,23 | 90,77 |
| 20-Ene | 12,15 | 12,80 | 5,37 | 94,63 | 12,93 | 6,44 | 93,56 |
| 11-Feb | 12,30 | 13,44 | 9,25 | 90,75 | 13,43 | 9,18 | 90,82 |
| 12-Feb | 12,44 | 13,15 | 5,71 | 94,29 | 13,27 | 6,66 | 93,34 |
| 01-Mar | 10,82 | 12,16 | 12,41 | 87,59 | 11,61 | 7,34 | 92,66 |
| 06-Mar | 12,53 | 12,63 | 0,83 | 99,17 | 12,40 | 1,00 | 99,00 |
| 17-Mar | 12,30 | 12,67 | 2,99 | 97,01 | 12,37 | 0,55 | 99,45 |
| 17-Mar | 11,70 | 12,17 | 4,04 | 95,96 | 12,11 | 3,48 | 96,52 |

A continuación se presentan en tablas la validación (porcentajes de desviación y confiabilidad) de los modelos de predicción de RVP anteriores y los modelos PLS para cada una de las mezclas realizadas entre Enero de 2000 y Agosto de 2001 de gasolina L-154V.

Tabla A.4 Validación modelo PLS del RVP gasolina L-154V.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP PLS | % Desv PLS | Confiab PLS |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 29-Mar | 6,98 | 6,38 | 8,53 | 91,47 | 6,96 | 0,31 | 99,69 |
| 01-Abr | 6,92 | 6,41 | 7,42 | 92,58 | 6,93 | 0,09 | 99,91 |
| 10-Abr | 6,74 | 5,73 | 14,98 | 85,02 | 6,51 | 3,40 | 96,60 |
| 14-Abr | 6,73 | 5,98 | 11,15 | 88,85 | 6,48 | 3,66 | 96,34 |
| 20-Abr | 6,69 | 6,03 | 9,84 | 90,16 | 6,54 | 2,22 | 97,78 |
| 19-May | 6,40 | 5,90 | 7,80 | 92,20 | 6,55 | 2,30 | 97,70 |
| 22-May | 6,89 | 6,09 | 11,58 | 88,42 | 6,63 | 3,84 | 96,16 |
| 25-May | 6,89 | 6,08 | 11,79 | 88,21 | 6,60 | 4,25 | 95,75 |
| 30-May | 6,86 | 6,49 | 5,43 | 94,57 | 6,85 | 0,16 | 99,84 |
| 30-May | 6,89 | 6,51 | 5,53 | 94,47 | 6,85 | 0,64 | 99,36 |
| 02-Jun | 6,41 | 6,35 | 1,00 | 99,00 | 6,77 | 5,62 | 94,38 |
| 04-Jun | 6,54 | 7,44 | 13,80 | 86,20 | 6,60 | 0,92 | 99,08 |
| 07-Jun | 6,58 | 6,61 | 0,49 | 99,51 | 6,78 | 3,06 | 96,94 |
| 26-Jun | 6,57 | 6,17 | 6,02 | 93,98 | 6,52 | 0,73 | 99,27 |
| 26-Jun | 6,96 | 5,95 | 14,57 | 85,43 | 6,46 | 7,19 | 92,81 |
| 26-Jun | 6,73 | 6,36 | 5,42 | 94,58 | 6,85 | 1,79 | 98,21 |
| 29-Jun | 6,79 | 6,20 | 8,63 | 91,37 | 6,67 | 1,77 | 98,23 |
| 29-Jun | 6,72 | 6,45 | 4,08 | 95,92 | 6,87 | 2,19 | 97,81 |
| 06-Jul | 6,72 | 5,98 | 11,07 | 88,93 | 6,71 | 0,21 | 99,79 |
| 08-Jul | 6,89 | 6,19 | 10,18 | 89,82 | 6,88 | 0,20 | 99,80 |
| 13-Jul | 6,96 | 6,44 | 7,49 | 92,51 | 6,85 | 1,64 | 98,36 |
| 17-Jul | 6,47 | 7,05 | 9,00 | 91,00 | 6,40 | 1,08 | 98,92 |
| 19-Jul | 6,76 | 7,40 | 9,54 | 90,46 | 6,20 | 8,28 | 91,72 |
| 24-Jul | 6,82 | 7,22 | 5,91 | 94,09 | 6,90 | 1,17 | 98,83 |
| 28-Jul | 6,83 | 6,45 | 5,56 | 94,44 | 6,85 | 0,29 | 99,71 |
| 30-Jul | 6,76 | 6,26 | 7,44 | 92,56 | 6,82 | 0,94 | 99,06 |
| 03-Ago | 6,97 | 6,67 | 4,36 | 95,64 | 7,05 | 1,18 | 98,82 |
| 10-Ago | 7,27 | 7,53 | 3,55 | 96,45 | 7,78 | 6,96 | 93,04 |
| 13-Ago | 6,66 | 6,81 | 2,31 | 97,69 | 7,16 | 7,48 | 92,52 |
| 13-Ago | 6,79 | 6,99 | 2,91 | 97,09 | 6,80 | 0,15 | 99,85 |
| 18-Ago | 6,61 | 6,55 | 0,94 | 99,06 | 6,92 | 4,75 | 95,25 |
| 28-Ago | 6,93 | 6,62 | 4,43 | 95,57 | 6,90 | 0,39 | 99,61 |
| 23-Mar | 7,25 | 6,71 | 7,47 | 92,53 | 7,25 | 0,01 | 99,99 |
| 09-Abr | 6,75 | 5,48 | 18,78 | 81,22 | 6,60 | 2,22 | 97,78 |
| 17-Abr | 6,79 | 5,43 | 20,10 | 79,90 | 6,80 | 0,15 | 99,85 |
| 26-Abr | 6,60 | 5,48 | 16,96 | 83,04 | 6,60 | 0,00 | 100,00 |
| 4-May | 6,95 | 6,39 | 8,08 | 91,92 | 6,84 | 1,53 | 98,47 |
| 7-May | 6,45 | 6,30 | 2,25 | 97,75 | 6,60 | 2,29 | 97,71 |
| 16-May | 6,55 | 6,27 | 4,24 | 95,76 | 6,60 | 0,74 | 99,26 |
| 22-May | 6,45 | 7,83 | 21,32 | 78,68 | 6,40 | 0,78 | 99,22 |
| 03-Jun | 6,66 | 6,55 | 1,68 | 98,32 | 6,96 | 4,56 | 95,44 |
| 06-Jun | 6,77 | 6,53 | 3,55 | 96,45 | 6,94 | 2,45 | 97,55 |
| 11-Jun | 6,85 | 6,45 | 5,86 | 94,14 | 6,82 | 0,49 | 99,51 |
| 13-Jun | 6,85 | 6,55 | 4,45 | 95,55 | 6,84 | 0,12 | 99,88 |
| 20-Jun | 6,85 | 6,52 | 4,87 | 95,13 | 6,80 | 0,67 | 99,33 |

APÉNDICE B

A continuación se presentan de manera detallada la validación (porcentajes de desviación y confiabilidad) de los modelos anteriores y los modelos obtenidos de aplicar el programa ARM para el RVP de las gasolinas LV-22, LV-23, L-154I y L-154V. El primer grupo de tablas corresponde a las mezclas de LV-22 realizadas entre Enero de 2000 y Agosto de 2001.

Tabla B.1.a Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-22.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP ARM | % Desv ARM | Confiab ARM |
|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| 14-Ene | 8,81 | 8,90 | 0,99 | 99,01 | 8,86 | 0,62 | 99,38 |
| 20-Ene | 8,75 | 8,81 | 0,71 | 99,29 | 8,90 | 1,70 | 98,30 |
| 04-Feb | 9,19 | 12,93 | 40,67 | 59,33 | 9,00 | 2,07 | 97,93 |
| 15-Feb | 9,05 | 9,08 | 0,28 | 99,72 | 8,85 | 2,24 | 97,76 |
| 20-Feb | 9,44 | 8,95 | 5,17 | 94,83 | 8,90 | 5,70 | 94,30 |
| 29-Feb | 9,40 | 10,03 | 6,72 | 93,28 | 8,99 | 4,41 | 95,59 |
| 03-Mar | 9,40 | 9,40 | 0,01 | 99,99 | 8,85 | 5,84 | 94,16 |
| 05-Mar | 9,10 | 8,88 | 2,38 | 97,62 | 8,87 | 2,49 | 97,51 |
| 17-Mar | 9,16 | 8,74 | 4,59 | 95,41 | 8,91 | 2,73 | 97,27 |
| 20-Mar | 8,72 | 8,34 | 4,40 | 95,60 | 8,57 | 1,68 | 98,32 |
| 24-Mar | 9,16 | 8,53 | 6,86 | 93,14 | 8,81 | 3,84 | 96,16 |
| 30-Mar | 8,21 | 8,24 | 0,38 | 99,62 | 8,62 | 4,96 | 95,04 |
| 01-Abr | 9,12 | 9,57 | 4,97 | 95,03 | 9,18 | 0,65 | 99,35 |
| 12-Abr | 8,98 | 7,97 | 11,28 | 88,72 | 8,62 | 4,02 | 95,98 |
| 15-Abr | 7,98 | 7,06 | 11,51 | 88,49 | 8,43 | 5,60 | 94,40 |
| 16-Abr | 9,19 | 9,60 | 4,46 | 95,54 | 9,13 | 0,66 | 99,34 |
| 25-Abr | 9,05 | 9,28 | 2,51 | 97,49 | 8,94 | 1,24 | 98,76 |
| 02-May | 8,69 | 7,92 | 8,82 | 91,18 | 8,63 | 0,74 | 99,26 |
| 04-May | 9,35 | 8,66 | 7,33 | 92,67 | 8,83 | 5,54 | 94,46 |
| 06-May | 9,35 | 8,65 | 7,44 | 92,56 | 8,89 | 4,94 | 95,06 |
| 10-May | 8,83 | 8,72 | 1,28 | 98,72 | 8,91 | 0,91 | 99,09 |
| 10-May | 8,98 | 8,69 | 3,28 | 96,72 | 8,90 | 0,86 | 99,14 |
| 17-May | 8,25 | 7,37 | 10,70 | 89,30 | 8,35 | 1,18 | 98,82 |
| 21-May | 7,77 | 8,50 | 9,42 | 90,58 | 8,00 | 2,96 | 97,04 |
| 29-May | 8,75 | 9,41 | 7,56 | 92,44 | 9,11 | 4,14 | 95,86 |
| 03-Jun | 8,86 | 7,61 | 14,07 | 85,93 | 8,66 | 2,24 | 97,76 |
| 07-Jun | 8,75 | 9,12 | 4,23 | 95,77 | 8,93 | 2,06 | 97,94 |
| 11-Jun | 8,06 | 7,08 | 12,13 | 87,87 | 8,32 | 3,26 | 96,74 |
| 15-Jun | 8,05 | 7,37 | 8,48 | 91,52 | 8,45 | 4,92 | 95,08 |
| 19-Jun | 8,70 | 9,39 | 7,98 | 92,02 | 8,84 | 1,64 | 98,36 |
| 24-Jun | 8,65 | 9,11 | 5,32 | 94,68 | 8,96 | 3,54 | 96,46 |

Tabla B.1.b Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-22.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP ARM | % Desv ARM | Confiab ARM |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 14-Ago | 8,58 | 8,73 | 1,71 | 98,29 | 8,71 | 1,53 | 98,47 |
| 18-Ago | 8,85 | 8,89 | 0,44 | 99,56 | 8,74 | 1,23 | 98,77 |
| 20-Ago | 8,86 | 8,66 | 2,30 | 97,70 | 8,66 | 2,29 | 97,71 |
| 25-Ago | 8,61 | 8,88 | 3,11 | 96,89 | 8,76 | 1,71 | 98,29 |
| 28-Ago | 7,01 | 6,53 | 6,81 | 93,19 | 7,00 | 0,14 | 99,86 |
| 12-Sep | 8,90 | 8,67 | 2,59 | 97,41 | 8,59 | 3,45 | 96,55 |
| 17-Sep | 9,35 | 9,20 | 1,63 | 98,37 | 8,98 | 3,92 | 96,08 |
| 20-Sep | 9,29 | 9,82 | 5,73 | 94,27 | 9,16 | 1,40 | 98,60 |
| 23-Sep | 9,45 | 9,49 | 0,41 | 99,59 | 9,11 | 3,58 | 96,42 |
| 29-Sep | 8,77 | 8,49 | 3,15 | 96,85 | 8,55 | 2,46 | 97,54 |
| 01-Oct | 8,55 | 7,30 | 14,66 | 85,34 | 8,76 | 2,51 | 97,49 |
| 03-Oct | 9,29 | 8,33 | 10,32 | 89,68 | 9,00 | 3,12 | 96,88 |
| 09-Oct | 9,16 | 8,23 | 10,15 | 89,85 | 8,78 | 4,19 | 95,81 |
| 15-Oct | 9,10 | 9,54 | 4,79 | 95,21 | 9,05 | 0,57 | 99,43 |
| 19-Oct | 8,87 | 9,57 | 7,92 | 92,08 | 9,12 | 2,87 | 97,13 |
| 22-Oct | 9,20 | 9,82 | 6,71 | 93,29 | 9,21 | 0,09 | 99,91 |
| 27-Oct | 8,54 | 9,25 | 8,33 | 91,67 | 8,46 | 0,93 | 99,07 |
| 29-Oct | 9,01 | 8,80 | 2,28 | 97,72 | 8,82 | 2,09 | 97,91 |
| 01-Nov | 8,58 | 8,33 | 2,88 | 97,12 | 8,25 | 3,81 | 96,19 |
| 03-Nov | 9,10 | 10,38 | 14,09 | 85,91 | 9,15 | 0,59 | 99,41 |
| 06-Nov | 8,67 | 8,26 | 4,71 | 95,29 | 8,70 | 0,38 | 99,62 |
| 12-Nov | 7,80 | 7,98 | 2,24 | 97,76 | 8,00 | 2,56 | 97,44 |
| 14-Nov | 8,85 | 7,84 | 11,41 | 88,59 | 8,77 | 0,95 | 99,05 |
| 20-Nov | 8,98 | 8,87 | 1,18 | 98,82 | 9,01 | 0,37 | 99,63 |
| 24-Nov | 8,28 | 7,78 | 6,04 | 93,96 | 8,57 | 3,51 | 96,49 |
| 28-Nov | 8,83 | 8,13 | 7,93 | 92,07 | 8,46 | 4,16 | 95,84 |
| 30-Nov | 8,53 | 7,92 | 7,09 | 92,91 | 8,63 | 1,13 | 98,87 |
| 04-Dic | 8,66 | 9,00 | 3,98 | 96,02 | 8,95 | 3,33 | 96,67 |
| 09-Dic | 9,33 | 9,07 | 2,75 | 97,25 | 8,86 | 5,07 | 94,93 |
| 12-Dic | 9,40 | 10,25 | 9,00 | 91,00 | 8,78 | 6,59 | 93,41 |
| 15-Dic | 9,24 | 9,16 | 0,86 | 99,14 | 9,00 | 2,55 | 97,45 |
| 20-Dic | 9,45 | 9,13 | 3,40 | 96,60 | 9,03 | 4,41 | 95,59 |
| 23-Dic | 9,20 | 9,36 | 1,70 | 98,30 | 8,75 | 4,85 | 95,15 |
| 27-Dic | 8,63 | 8,66 | 0,40 | 99,60 | 8,76 | 1,50 | 98,50 |
| 01-Ene | 9,18 | 8,88 | 3,22 | 96,78 | 8,82 | 3,97 | 96,03 |
| 06-Ene | 8,92 | 9,98 | 11,93 | 88,07 | 8,91 | 0,10 | 99,90 |
| 09-Ene | 7,75 | 7,29 | 5,91 | 94,09 | 8,00 | 3,23 | 96,77 |
| 12-Ene | 8,17 | 8,37 | 2,49 | 97,51 | 8,00 | 2,08 | 97,92 |
| 16-Ene | 8,62 | 8,62 | 0,04 | 99,96 | 8,99 | 4,26 | 95,74 |
| 18-Ene | 8,37 | 8,56 | 2,30 | 97,70 | 8,72 | 4,16 | 95,84 |
| 23-Ene | 8,84 | 8,87 | 0,35 | 99,65 | 9,06 | 2,43 | 97,57 |
| 24-Ene | 9,50 | 8,81 | 7,27 | 92,73 | 9,04 | 4,86 | 95,14 |
| 29-Ene | 9,50 | 9,53 | 0,30 | 99,70 | 9,01 | 5,17 | 94,83 |

Tabla B.1.c Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-22.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP ARM | % Desv ARM | Confiab ARM |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 01-Feb | 9,40 | 9,60 | 2,10 | 97,90 | 9,24 | 1,75 | 98,25 |
| 10-Feb | 9,20 | 9,83 | 6,90 | 93,10 | 9,28 | 0,87 | 99,13 |
| 09-Feb | 9,30 | 9,43 | 1,42 | 98,58 | 8,83 | 5,01 | 94,99 |
| 14-Feb | 9,20 | 10,35 | 12,45 | 87,55 | 9,42 | 2,37 | 97,63 |
| 14-Feb | 9,20 | 10,54 | 14,54 | 85,46 | 9,47 | 2,93 | 97,07 |
| 21-Feb | 9,40 | 10,20 | 8,53 | 91,47 | 9,35 | 0,57 | 99,43 |
| 11-Mar | 9,35 | 8,76 | 6,30 | 93,70 | 8,84 | 5,43 | 94,57 |
| 17-Mar | 9,16 | 8,98 | 1,91 | 98,09 | 8,78 | 4,15 | 95,85 |
| 22-Mar | 8,95 | 8,19 | 8,45 | 91,55 | 8,69 | 2,94 | 97,06 |
| 27-Mar | 8,44 | 8,58 | 1,70 | 98,30 | 8,79 | 4,15 | 95,85 |
| 2-Abr | 8,84 | 7,81 | 11,63 | 88,37 | 8,57 | 3,07 | 96,93 |
| 6-Abr | 9,28 | 10,31 | 11,12 | 88,88 | 9,45 | 1,82 | 98,18 |
| 9-Abr | 8,86 | 7,75 | 12,50 | 87,50 | 8,67 | 2,10 | 97,90 |
| 12-Abr | 9,39 | 6,76 | 27,96 | 72,04 | 8,43 | 10,21 | 89,79 |
| 16-Abr | 9,36 | 7,62 | 18,58 | 81,42 | 9,50 | 1,50 | 98,50 |
| 21-Abr | 9,28 | 8,05 | 13,29 | 86,71 | 8,77 | 5,45 | 94,55 |
| 24-Abr | 9,37 | 7,65 | 18,36 | 81,64 | 9,00 | 3,95 | 96,05 |
| 29-Abr | 8,66 | 8,01 | 7,45 | 92,55 | 8,73 | 0,83 | 99,17 |
| May | 8,37 | 8,96 | 7,04 | 92,96 | 8,50 | 1,55 | 98,45 |
| 15-May | 8,64 | 8,88 | 2,81 | 97,19 | 8,91 | 3,16 | 96,84 |
| 19-May | 8,77 | 9,48 | 8,05 | 91,95 | 9,10 | 3,71 | 96,29 |
| 01-Jun | 8,98 | 9,71 | 8,17 | 91,83 | 9,01 | 0,38 | 99,62 |
| 04-Jun | 8,79 | 8,75 | 0,47 | 99,53 | 8,84 | 0,54 | 99,46 |
| 12-Jun | 7,48 | 7,25 | 3,10 | 96,90 | 7,50 | 0,27 | 99,73 |
| 15-Jun | 8,58 | 9,51 | 10,83 | 89,17 | 8,50 | 0,93 | 99,07 |
| 19-Jun | 9,11 | 9,95 | 9,26 | 90,74 | 9,23 | 1,35 | 98,65 |
| 23-Jun | 8,91 | 9,41 | 5,67 | 94,33 | 9,10 | 2,08 | 97,92 |
| 25-Jun | 9,40 | 9,81 | 4,39 | 95,61 | 9,32 | 0,87 | 99,13 |
| | 8,87 | 9,13 | 2,96 | 97,04 | 8,86 | 0,08 | 99,92 |
| 06-Jul | 9,33 | 9,07 | 2,83 | 97,17 | 9,02 | 3,37 | 96,63 |
| 11-Jul | 8,51 | 9,21 | 8,24 | 91,76 | 8,50 | 0,12 | 99,88 |
| 16-Jul | 8,84 | 9,07 | 2,57 | 97,43 | 8,96 | 1,41 | 98,59 |
| 20-Jul | 8,81 | 8,80 | 0,13 | 99,87 | 8,89 | 0,88 | 99,12 |
| 26-Jul | 9,21 | 9,60 | 4,26 | 95,74 | 9,08 | 1,40 | 98,60 |
| 01-Ago | 9,35 | 9,41 | 0,69 | 99,31 | 9,15 | 2,14 | 97,86 |
| 05-Ago | 9,10 | 9,99 | 9,77 | 90,23 | 9,43 | 3,66 | 96,34 |
| 10-Ago | 8,91 | 8,79 | 1,32 | 98,68 | 8,89 | 0,26 | 99,74 |
| 14-Ago | 9,04 | 9,64 | 6,68 | 93,32 | 9,21 | 1,83 | 98,17 |
| 19-Ago | 9,25 | 9,88 | 6,78 | 93,22 | 9,13 | 1,31 | 98,69 |
| 23-Ago | 8,62 | 8,62 | 0,03 | 99,97 | 8,71 | 1,03 | 98,97 |
| 29-Ago | 8,96 | 9,44 | 5,37 | 94,63 | 8,86 | 1,10 | 98,90 |

A continuación se presentan en tablas la validación (porcentajes de desviación y confiabilidad) de los modelos de predicción de RVP anteriores y los modelos ARM para cada una de las mezclas realizadas entre Enero de 2000 y Agosto de 2001 de gasolina LV-23.

Tabla B.2.a Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-23.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP ARM | % Desv ARM | Confiab ARM |
|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| 02-Ene | 8,95 | 8,42 | 5,96 | 94,04 | 8,64 | 3,49 | 96,51 |
| 09-Ene | 9,40 | 8,23 | 12,42 | 87,58 | 9,00 | 4,26 | 95,74 |
| 14-Ene | 9,20 | 8,96 | 2,59 | 97,41 | 8,71 | 5,35 | 94,65 |
| 18-Ene | 9,20 | 8,52 | 7,36 | 92,64 | 8,67 | 5,77 | 94,23 |
| 03-Feb | 8,98 | 9,47 | 5,43 | 94,57 | 8,77 | 2,37 | 97,63 |
| 08-Feb | 9,04 | 9,49 | 5,01 | 94,99 | 8,68 | 4,01 | 95,99 |
| 16-Feb | 9,49 | 9,78 | 3,02 | 96,98 | 9,00 | 5,16 | 94,84 |
| 21-Feb | 9,33 | 8,89 | 4,68 | 95,32 | 8,80 | 5,69 | 94,31 |
| 03-Mar | 8,91 | 7,93 | 10,98 | 89,02 | 8,81 | 1,18 | 98,82 |
| 04-Mar | 8,88 | 7,92 | 10,77 | 89,23 | 8,66 | 2,45 | 97,55 |
| 09-Mar | 8,91 | 9,33 | 4,71 | 95,29 | 8,82 | 1,04 | 98,96 |
| 12-Mar | 8,07 | 9,27 | 14,85 | 85,15 | 8,00 | 0,87 | 99,13 |
| 15-Mar | 9,28 | 9,00 | 3,03 | 96,97 | 9,00 | 3,02 | 96,98 |
| 16-Mar | 9,10 | 8,54 | 6,21 | 93,79 | 9,00 | 1,10 | 98,90 |
| 19-Mar | 8,22 | 8,59 | 4,52 | 95,48 | 8,58 | 4,34 | 95,66 |
| 28-Mar | 8,62 | 9,55 | 10,80 | 89,20 | 8,77 | 1,73 | 98,27 |
| 30-Mar | 8,27 | 6,95 | 15,92 | 84,08 | 8,21 | 0,76 | 99,24 |
| 04-Abr | 8,60 | 9,95 | 15,72 | 84,28 | 9,00 | 4,66 | 95,34 |
| 06-Abr | 8,65 | 8,66 | 0,11 | 99,89 | 8,77 | 1,43 | 98,57 |
| 11-Abr | 8,51 | 9,41 | 10,63 | 89,37 | 8,79 | 3,32 | 96,68 |
| 17-Abr | 9,12 | 10,00 | 9,68 | 90,32 | 8,98 | 1,58 | 98,42 |
| 22-Abr | 8,79 | 8,67 | 1,39 | 98,61 | 9,06 | 3,11 | 96,89 |
| 24-Abr | 8,15 | 10,06 | 23,44 | 76,56 | 8,00 | 1,84 | 98,16 |
| 21-Abr | 8,83 | 10,12 | 14,60 | 85,40 | 9,05 | 2,46 | 97,54 |
| 02-May | 9,24 | 8,73 | 5,51 | 94,49 | 8,94 | 3,23 | 96,77 |
| 04-May | 9,15 | 8,63 | 5,64 | 94,36 | 8,86 | 3,14 | 96,86 |
| 11-May | 8,64 | 8,64 | 0,03 | 99,97 | 8,87 | 2,62 | 97,38 |
| 12-May | 8,46 | 7,79 | 7,96 | 92,04 | 8,75 | 3,43 | 96,57 |
| 20-May | 8,36 | 8,26 | 1,21 | 98,79 | 8,00 | 4,31 | 95,69 |
| 24-May | 9,10 | 7,94 | 12,79 | 87,21 | 8,94 | 1,77 | 98,23 |
| 21-May | 8,95 | 8,50 | 5,05 | 94,95 | 8,99 | 0,47 | 99,53 |
| 01-Jun | 8,96 | 7,83 | 12,66 | 87,34 | 8,80 | 1,81 | 98,19 |
| 06-Jun | 9,16 | 7,77 | 15,14 | 84,86 | 8,56 | 6,59 | 93,41 |
| 11-Jun | 8,43 | 7,98 | 5,32 | 94,68 | 8,69 | 3,12 | 96,88 |
| 13-Jun | 8,56 | 7,91 | 7,62 | 92,38 | 8,62 | 0,72 | 99,28 |
| 18-Jun | 8,49 | 9,16 | 7,88 | 92,12 | 8,87 | 4,51 | 95,49 |
| 23-Jun | 8,84 | 8,63 | 2,41 | 97,59 | 8,80 | 0,42 | 99,58 |

Tabla B.2.b Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-23.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP ARM | % Desv ARM | Confiab ARM |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 24-Jun | 8,97 | 8,57 | 4,48 | 95,52 | 8,68 | 3,23 | 96,77 |
| 28-Jun | 9,21 | 9,55 | 3,72 | 96,28 | 8,94 | 2,92 | 97,08 |
| 29-Jun | 9,26 | 9,53 | 2,87 | 97,13 | 8,94 | 3,50 | 96,50 |
| 05-Jul | 9,31 | 9,78 | 5,10 | 94,90 | 9,05 | 2,81 | 97,19 |
| 08-Jul | 9,15 | 10,36 | 13,26 | 86,74 | 8,89 | 2,89 | 97,11 |
| 08-Jul | 9,10 | 10,40 | 14,25 | 85,75 | 8,89 | 2,27 | 97,73 |
| 12-Jul | 9,19 | 12,16 | 32,35 | 67,65 | 9,16 | 0,37 | 99,63 |
| 14-Jul | 7,86 | 8,79 | 11,85 | 88,15 | 8,00 | 1,78 | 98,22 |
| 21-Jul | 7,27 | 7,92 | 8,92 | 91,08 | 7,40 | 1,79 | 98,21 |
| 21-Jul | 8,81 | 9,20 | 4,38 | 95,62 | 8,81 | 0,01 | 99,99 |
| 31-Jul | 8,44 | 9,44 | 11,87 | 88,13 | 8,81 | 4,33 | 95,67 |
| 02-Ago | 8,86 | 8,71 | 1,67 | 98,33 | 8,85 | 0,14 | 99,86 |
| 05-Ago | 8,81 | 8,84 | 0,32 | 99,68 | 8,90 | 1,01 | 98,99 |
| 12-Ago | 8,98 | 9,31 | 3,65 | 96,35 | 8,94 | 0,47 | 99,53 |
| 16-Ago | 8,42 | 8,72 | 3,55 | 96,45 | 8,88 | 5,44 | 94,56 |
| 21-Ago | 8,03 | 9,08 | 13,07 | 86,93 | 8,10 | 0,87 | 99,13 |
| 27-Ago | 8,63 | 8,80 | 1,93 | 98,07 | 8,89 | 2,96 | 97,04 |
| 04-Sep | 9,22 | 10,24 | 11,03 | 88,97 | 9,26 | 0,46 | 99,54 |
| 12-Sep | 8,93 | 9,39 | 5,12 | 94,88 | 9,08 | 1,63 | 98,37 |
| 16-Sep | 9,45 | 9,39 | 0,66 | 99,34 | 9,14 | 3,33 | 96,67 |
| 19-Sep | 9,31 | 9,38 | 0,76 | 99,24 | 9,07 | 2,63 | 97,37 |
| 22-Sep | 8,83 | 8,40 | 4,89 | 95,11 | 8,85 | 0,20 | 99,80 |
| 02-Oct | 9,27 | 8,30 | 10,44 | 89,56 | 9,20 | 0,76 | 99,24 |
| 05-Oct | 8,80 | 8,13 | 7,60 | 92,40 | 8,87 | 0,75 | 99,25 |
| 11-Oct | 9,10 | 8,96 | 1,54 | 98,46 | 9,01 | 0,94 | 99,06 |
| 12-Oct | 9,31 | 8,73 | 6,19 | 93,81 | 8,98 | 3,50 | 96,50 |
| 16-Oct | 9,20 | 9,43 | 2,49 | 97,51 | 9,11 | 1,00 | 99,00 |
| 18-Oct | 9,05 | 9,19 | 1,54 | 98,46 | 9,07 | 0,24 | 99,76 |
| 21-Oct | 9,14 | 9,40 | 2,80 | 97,20 | 9,16 | 0,26 | 99,74 |
| 24-Oct | 9,05 | 8,81 | 2,69 | 97,31 | 8,96 | 0,98 | 99,02 |
| 29-Oct | 9,35 | 8,95 | 4,33 | 95,67 | 9,02 | 3,53 | 96,47 |
| 01-Nov | 9,12 | 9,06 | 0,69 | 99,31 | 8,97 | 1,67 | 98,33 |
| 05-Nov | 9,36 | 9,39 | 0,30 | 99,70 | 9,00 | 3,83 | 96,17 |
| 06-Nov | 8,69 | 9,12 | 4,98 | 95,02 | 8,94 | 2,88 | 97,12 |
| 09-Nov | 9,44 | 9,45 | 0,06 | 99,94 | 9,09 | 3,71 | 96,29 |
| 13-Nov | 9,11 | 9,25 | 1,56 | 98,44 | 9,02 | 0,97 | 99,03 |
| 19-Nov | 9,08 | 8,88 | 2,17 | 97,83 | 8,91 | 1,90 | 98,10 |

Tabla B.2.c Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-23.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP ARM | % Desv ARM | Confiab ARM |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 21-Nov | 8,46 | 8,15 | 3,62 | 96,38 | 8,74 | 3,31 | 96,69 |
| 29-Nov | 9,05 | 8,68 | 4,07 | 95,93 | 8,88 | 1,90 | 98,10 |
| 30-Nov | 9,05 | 9,05 | 0,00 | 100,00 | 8,84 | 2,29 | 97,71 |
| 03-Dic | 9,23 | 9,33 | 1,11 | 98,89 | 9,06 | 1,83 | 98,17 |
| 07-Dic | 9,13 | 9,15 | 0,24 | 99,76 | 9,06 | 0,75 | 99,25 |
| 11-Dic | 9,50 | 9,18 | 3,42 | 96,58 | 9,50 | 0,00 | 100,00 |
| 13-Dic | 8,95 | 9,14 | 2,12 | 97,88 | 9,12 | 1,92 | 98,08 |
| 15-Dic | 9,11 | 9,05 | 0,69 | 99,31 | 9,15 | 0,43 | 99,57 |
| 20-Dic | 9,10 | 8,81 | 3,16 | 96,84 | 9,12 | 0,21 | 99,79 |
| 21-Dic | 9,10 | 9,30 | 2,23 | 97,77 | 9,20 | 1,15 | 98,85 |
| 21-Dic | 9,04 | 9,03 | 0,12 | 99,88 | 9,16 | 1,33 | 98,67 |
| 29-Dic | 9,08 | 10,16 | 11,85 | 88,15 | 9,40 | 3,51 | 96,49 |
| 31-Dic | 9,31 | 9,37 | 0,64 | 99,36 | 9,24 | 0,73 | 99,27 |
| 06-Ene | 9,20 | 9,24 | 0,46 | 99,54 | 9,16 | 0,46 | 99,54 |
| 09-Ene | 9,30 | 9,05 | 2,69 | 97,31 | 9,17 | 1,40 | 98,60 |
| 13-Ene | 8,90 | 8,78 | 1,35 | 98,65 | 9,02 | 1,39 | 98,61 |
| 17-Ene | 9,06 | 9,13 | 0,76 | 99,24 | 9,11 | 0,60 | 99,40 |
| 17-Ene | 8,79 | 8,97 | 2,02 | 97,98 | 9,02 | 2,60 | 97,40 |
| 18-Ene | 9,50 | 8,81 | 7,23 | 92,77 | 9,40 | 1,05 | 98,95 |
| 22-Ene | 9,02 | 9,03 | 0,16 | 99,84 | 8,99 | 0,37 | 99,63 |
| 21-Ene | 9,35 | 6,69 | 28,50 | 71,50 | 9,20 | 1,60 | 98,40 |
| 21-Ene | 9,20 | 8,30 | 9,79 | 90,21 | 8,94 | 2,79 | 97,21 |
| 28-Ene | 8,70 | 7,57 | 12,95 | 87,05 | 8,82 | 1,38 | 98,62 |
| 03-Feb | 9,50 | 7,18 | 24,44 | 75,56 | 9,40 | 1,05 | 98,95 |
| 11-Feb | 9,50 | 8,67 | 8,72 | 91,28 | 8,94 | 5,85 | 94,15 |
| 12-Feb | 9,00 | 9,45 | 4,97 | 95,03 | 9,05 | 0,53 | 99,47 |
| 15-Feb | 9,20 | 9,19 | 0,12 | 99,88 | 8,99 | 2,28 | 97,72 |
| 25-Feb | 9,50 | 9,18 | 3,37 | 96,63 | 9,02 | 5,02 | 94,98 |
| 02-Mar | 9,10 | 8,18 | 10,15 | 89,85 | 8,76 | 3,75 | 96,25 |
| 05-Mar | 8,86 | 8,07 | 8,89 | 91,11 | 8,84 | 0,23 | 99,77 |
| 12-Mar | 9,20 | 11,04 | 19,99 | 80,01 | 9,25 | 0,58 | 99,42 |
| 17-Mar | 8,87 | 8,61 | 2,97 | 97,03 | 8,86 | 0,11 | 99,89 |
| 21-Mar | 8,47 | 8,14 | 3,95 | 96,05 | 8,85 | 4,48 | 95,52 |
| 22-Mar | 8,85 | 8,36 | 5,51 | 94,49 | 8,87 | 0,25 | 99,75 |
| 25-Mar | 8,63 | 8,23 | 4,59 | 95,41 | 8,77 | 1,65 | 98,35 |
| 25-Mar | 8,86 | 8,58 | 3,12 | 96,88 | 8,84 | 0,20 | 99,80 |
| 27-Mar | 9,20 | 8,74 | 5,05 | 94,95 | 8,97 | 2,46 | 97,54 |

Tabla B.2.d Validación modelo ARM del RVP gasolina LV-23.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP ARM | % Desv ARM | Confiab ARM |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 27-Mar | 8,74 | 8,36 | 4,37 | 95,63 | 8,96 | 2,53 | 97,47 |
| 31-Mar | 9,37 | 8,88 | 5,25 | 94,75 | 8,94 | 4,55 | 95,45 |
| 1-Abr | 9,37 | 7,77 | 17,07 | 82,93 | 8,88 | 5,25 | 94,75 |
| 7-Abr | 9,49 | 8,00 | 15,68 | 84,32 | 9,40 | 0,95 | 99,05 |
| 10-Abr | 9,50 | 8,51 | 10,41 | 89,59 | 8,97 | 5,57 | 94,43 |
| 12-Abr | 8,47 | 7,73 | 8,77 | 91,23 | 8,84 | 4,42 | 95,58 |
| 16-Abr | 9,10 | 7,78 | 14,46 | 85,54 | 8,85 | 2,75 | 97,25 |
| 20-Abr | 9,07 | 8,35 | 7,95 | 92,05 | 8,93 | 1,55 | 98,45 |
| 22-Abr | 9,16 | 7,94 | 13,32 | 86,68 | 8,83 | 3,57 | 96,43 |
| 28-Abr | 8,68 | 8,93 | 2,88 | 97,12 | 9,13 | 5,22 | 94,78 |
| 2-May | 9,50 | 8,52 | 10,31 | 89,69 | 9,05 | 4,73 | 95,27 |
| 12-May | 8,84 | 9,23 | 4,43 | 95,57 | 8,89 | 0,56 | 99,44 |
| 19-May | 8,46 | 8,89 | 5,07 | 94,93 | 8,85 | 4,64 | 95,36 |
| 23-May | 8,46 | 8,96 | 5,94 | 94,06 | 8,90 | 5,18 | 94,82 |
| 25-May | 8,87 | 8,59 | 3,12 | 96,88 | 8,81 | 0,68 | 99,32 |
| 29-May | 8,66 | 9,07 | 4,79 | 95,21 | 8,90 | 2,74 | 97,26 |
| 02-Jun | 9,50 | 8,86 | 6,71 | 93,29 | 9,30 | 2,11 | 97,89 |
| 02-Jun | 9,28 | 8,73 | 5,92 | 94,08 | 8,78 | 5,40 | 94,60 |
| 06-Jun | 8,85 | 8,81 | 0,50 | 99,50 | 8,86 | 0,17 | 99,83 |
| 09-Jun | 8,64 | 8,72 | 0,96 | 99,04 | 8,87 | 2,64 | 97,36 |
| 14-Jun | 8,93 | 9,33 | 4,50 | 95,50 | 8,95 | 0,20 | 99,80 |
| 22-Jun | 8,93 | 9,47 | 6,05 | 93,95 | 9,03 | 1,16 | 98,84 |
| 27-Jun | 8,99 | 9,25 | 2,92 | 97,08 | 8,97 | 0,27 | 99,73 |
| 05-Jul | 8,51 | 9,03 | 6,15 | 93,85 | 9,13 | 7,28 | 92,72 |
| 12-Jul | 8,75 | 8,18 | 6,48 | 93,52 | 8,89 | 1,61 | 98,39 |
| 16-Jul | 8,98 | 9,02 | 0,42 | 99,58 | 9,07 | 1,01 | 98,99 |
| 20-Jul | 8,87 | 8,77 | 1,15 | 98,85 | 8,88 | 0,07 | 99,93 |
| 21-Jul | 8,92 | 8,32 | 6,68 | 93,32 | 9,00 | 0,87 | 99,13 |
| 29-Jul | 9,17 | 8,59 | 6,29 | 93,71 | 8,92 | 2,68 | 97,32 |
| 04-Ago | 8,89 | 8,89 | 0,02 | 99,98 | 8,97 | 0,90 | 99,10 |
| 03-Ago | 9,17 | 9,05 | 1,34 | 98,66 | 9,04 | 1,46 | 98,54 |
| 10-Ago | 9,32 | 9,08 | 2,57 | 97,43 | 9,01 | 3,29 | 96,71 |
| 16-Ago | 8,93 | 9,20 | 3,00 | 97,00 | 9,02 | 1,02 | 98,98 |
| 19-Ago | 8,19 | 8,66 | 5,68 | 94,32 | 8,20 | 0,12 | 99,88 |
| 21-Ago | 8,11 | 8,96 | 10,42 | 89,58 | 8,20 | 1,11 | 98,89 |
| 24-Ago | 9,34 | 9,05 | 3,08 | 96,92 | 8,98 | 3,83 | 96,17 |

A continuación se presentan en tablas la validación (porcentajes de desviación y confiabilidad) de los modelos de predicción de RVP anteriores y los modelos ARM para cada una de las mezclas realizadas entre Enero de 2000 y Agosto de 2001 de gasolina L-154I.

Tabla B.3 Validación modelo ARM del RVP gasolina L-154I.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP ARM | % Desv ARM | Confiab ARM |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 16-Ene | 12,55 | 13,64 | 8,70 | 91,30 | 12,50 | 0,40 | 99,60 |
| 06-Feb | 12,60 | 12,49 | 0,89 | 99,11 | 13,01 | 3,28 | 96,72 |
| 10-Feb | 12,76 | 11,89 | 6,79 | 93,21 | 12,54 | 1,70 | 98,30 |
| 18-Feb | 12,40 | 10,43 | 15,89 | 84,11 | 12,24 | 1,27 | 98,73 |
| 10-Sep | 12,31 | 12,43 | 0,97 | 99,03 | 12,12 | 1,53 | 98,47 |
| 10-Sep | 12,31 | 12,92 | 4,92 | 95,08 | 12,21 | 0,78 | 99,22 |
| 14-Sep | 12,28 | 13,34 | 8,60 | 91,40 | 12,24 | 0,31 | 99,69 |
| 17-Sep | 12,44 | 13,33 | 7,18 | 92,82 | 12,42 | 0,20 | 99,80 |
| 26-Sep | 12,50 | 10,00 | 20,01 | 79,99 | 12,32 | 1,42 | 98,58 |
| 06-Oct | 12,60 | 12,11 | 3,93 | 96,07 | 12,50 | 0,79 | 99,21 |
| 07-Oct | 12,40 | 12,93 | 4,25 | 95,75 | 12,32 | 0,61 | 99,39 |
| 14-Oct | 12,36 | 12,56 | 1,66 | 98,34 | 12,36 | 0,04 | 99,96 |
| 20-Oct | 12,01 | 12,47 | 3,82 | 96,18 | 12,00 | 0,08 | 99,92 |
| 25-Oct | 12,53 | 13,34 | 6,43 | 93,57 | 12,48 | 0,36 | 99,64 |
| 31-Oct | 12,15 | 11,95 | 1,61 | 98,39 | 12,19 | 0,37 | 99,63 |
| 03-Nov | 12,44 | 12,47 | 0,22 | 99,78 | 12,30 | 1,13 | 98,87 |
| 10-Nov | 12,48 | 13,01 | 4,22 | 95,78 | 12,30 | 1,44 | 98,56 |
| 11-Nov | 12,10 | 12,87 | 6,37 | 93,63 | 12,13 | 0,28 | 99,72 |
| 15-Nov | 12,30 | 12,88 | 4,72 | 95,28 | 12,43 | 1,08 | 98,92 |
| 18-Nov | 12,15 | 13,08 | 7,66 | 92,34 | 12,05 | 0,82 | 99,18 |
| 28-Nov | 11,89 | 11,00 | 7,48 | 92,52 | 11,78 | 0,94 | 99,06 |
| 02-Dic | 12,11 | 12,85 | 6,07 | 93,93 | 12,00 | 0,91 | 99,09 |
| 12-Dic | 11,98 | 13,08 | 9,19 | 90,81 | 12,00 | 0,17 | 99,83 |
| 28-Dic | 11,98 | 12,19 | 1,74 | 98,26 | 12,00 | 0,17 | 99,83 |
| 30-Dic | 12,14 | 12,38 | 2,01 | 97,99 | 12,16 | 0,21 | 99,79 |
| 04-Ene | 12,07 | 13,43 | 11,25 | 88,75 | 11,87 | 1,68 | 98,32 |
| 07-Ene | 11,91 | 13,37 | 12,27 | 87,73 | 11,94 | 0,27 | 99,73 |
| 11-Ene | 12,23 | 13,36 | 9,24 | 90,76 | 12,37 | 1,18 | 98,82 |
| 12-Ene | 11,82 | 13,08 | 10,64 | 89,36 | 12,00 | 1,54 | 98,46 |
| 20-Ene | 12,15 | 12,80 | 5,37 | 94,63 | 12,16 | 0,07 | 99,93 |
| 11-Feb | 12,30 | 13,44 | 9,25 | 90,75 | 12,58 | 2,25 | 97,75 |
| 12-Feb | 12,44 | 13,15 | 5,71 | 94,29 | 12,49 | 0,43 | 99,57 |
| 01-Mar | 10,82 | 12,16 | 12,41 | 87,59 | 10,95 | 1,24 | 98,76 |
| 06-Mar | 12,53 | 12,63 | 0,83 | 99,17 | 12,21 | 2,53 | 97,47 |
| 17-Mar | 12,30 | 12,67 | 2,99 | 97,01 | 12,18 | 0,99 | 99,01 |
| 17-Mar | 11,70 | 12,17 | 4,04 | 95,96 | 11,80 | 0,85 | 99,15 |

A continuación se presentan en tablas la validación (porcentajes de desviación y confiabilidad) de los modelos de predicción de RVP anteriores y los modelos ARM para cada una de las mezclas realizadas entre Enero de 2000 y Agosto de 2001 de gasolina L-154V.

Tabla B.4 Validación modelo ARM del RVP gasolina L-154V.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP ARM | % Desv ARM | Confiab ARM |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|---------|------------|-------------|
| 29-Mar | 6,98 | 6,38 | 8,53 | 91,47 | 6,79 | 2,65 | 97,35 |
| 01-Abr | 6,92 | 6,41 | 7,42 | 92,58 | 7,00 | 1,16 | 98,84 |
| 10-Abr | 6,74 | 5,73 | 14,98 | 85,02 | 6,75 | 0,12 | 99,88 |
| 14-Abr | 6,73 | 5,98 | 11,15 | 88,85 | 7,00 | 4,01 | 95,99 |
| 20-Abr | 6,69 | 6,03 | 9,84 | 90,16 | 6,45 | 3,63 | 96,37 |
| 19-May | 6,40 | 5,90 | 7,80 | 92,20 | 6,29 | 1,67 | 98,33 |
| 22-May | 6,89 | 6,09 | 11,58 | 88,42 | 7,00 | 1,60 | 98,40 |
| 25-May | 6,89 | 6,08 | 11,79 | 88,21 | 7,00 | 1,60 | 98,40 |
| 30-May | 6,86 | 6,49 | 5,43 | 94,57 | 7,00 | 2,04 | 97,96 |
| 30-May | 6,89 | 6,51 | 5,53 | 94,47 | 7,20 | 4,50 | 95,50 |
| 02-Jun | 6,41 | 6,35 | 1,00 | 99,00 | 6,92 | 7,90 | 92,10 |
| 04-Jun | 6,54 | 7,44 | 13,80 | 86,20 | 6,55 | 0,15 | 99,85 |
| 07-Jun | 6,58 | 6,61 | 0,49 | 99,51 | 6,65 | 1,04 | 98,96 |
| 26-Jun | 6,57 | 6,17 | 6,02 | 93,98 | 6,95 | 5,78 | 94,22 |
| 26-Jun | 6,96 | 5,95 | 14,57 | 85,43 | 6,85 | 1,53 | 98,47 |
| 26-Jun | 6,73 | 6,36 | 5,42 | 94,58 | 7,02 | 4,27 | 95,73 |
| 29-Jun | 6,79 | 6,20 | 8,63 | 91,37 | 6,88 | 1,29 | 98,71 |
| 29-Jun | 6,72 | 6,45 | 4,08 | 95,92 | 6,95 | 3,40 | 96,60 |
| 06-Jul | 6,72 | 5,98 | 11,07 | 88,93 | 6,44 | 4,12 | 95,88 |
| 08-Jul | 6,89 | 6,19 | 10,18 | 89,82 | 6,70 | 2,71 | 97,29 |
| 13-Jul | 6,96 | 6,44 | 7,49 | 92,51 | 6,78 | 2,56 | 97,44 |
| 17-Jul | 6,47 | 7,05 | 9,00 | 91,00 | 6,78 | 4,76 | 95,24 |
| 19-Jul | 6,76 | 7,40 | 9,54 | 90,46 | 6,81 | 0,76 | 99,24 |
| 24-Jul | 6,82 | 7,22 | 5,91 | 94,09 | 6,80 | 0,25 | 99,75 |
| 28-Jul | 6,83 | 6,45 | 5,56 | 94,44 | 6,71 | 1,82 | 98,18 |
| 30-Jul | 6,76 | 6,26 | 7,44 | 92,56 | 6,80 | 0,58 | 99,42 |
| 03-Ago | 6,97 | 6,67 | 4,36 | 95,64 | 6,91 | 0,92 | 99,08 |
| 10-Ago | 7,27 | 7,53 | 3,55 | 96,45 | 7,21 | 0,88 | 99,12 |
| 13-Ago | 6,66 | 6,81 | 2,31 | 97,69 | 6,66 | 0,00 | 100,00 |
| 13-Ago | 6,79 | 6,99 | 2,91 | 97,09 | 6,75 | 0,59 | 99,41 |
| 18-Ago | 6,61 | 6,55 | 0,94 | 99,06 | 6,69 | 1,16 | 98,84 |
| 28-Ago | 6,93 | 6,62 | 4,43 | 95,57 | 6,68 | 3,64 | 96,36 |
| 23-Mar | 7,25 | 6,71 | 7,47 | 92,53 | 7,29 | 0,55 | 99,45 |
| 09-Abr | 6,75 | 5,48 | 18,78 | 81,22 | 6,56 | 2,81 | 97,19 |
| 17-Abr | 6,79 | 5,43 | 20,10 | 79,90 | 7,24 | 6,63 | 93,37 |
| 26-Abr | 6,60 | 5,48 | 16,96 | 83,04 | 6,86 | 3,94 | 96,06 |
| 4-May | 6,95 | 6,39 | 8,08 | 91,92 | 6,70 | 3,53 | 96,47 |
| 7-May | 6,45 | 6,30 | 2,25 | 97,75 | 6,69 | 3,70 | 96,30 |
| 16-May | 6,55 | 6,27 | 4,24 | 95,76 | 6,45 | 1,53 | 98,47 |
| 22-May | 6,45 | 7,83 | 21,32 | 78,68 | 6,45 | 0,03 | 99,97 |
| 03-Jun | 6,66 | 6,55 | 1,68 | 98,32 | 6,60 | 0,90 | 99,10 |
| 06-Jun | 6,77 | 6,53 | 3,55 | 96,45 | 6,94 | 2,52 | 97,48 |
| 11-Jun | 6,85 | 6,45 | 5,86 | 94,14 | 6,71 | 2,02 | 97,98 |
| 13-Jun | 6,85 | 6,55 | 4,45 | 95,55 | 6,55 | 4,32 | 95,68 |
| 20-Jun | 6,85 | 6,52 | 4,87 | 95,13 | 6,89 | 0,58 | 99,42 |

APÉNDICE C

A continuación se presenta la validación de los modelos seleccionados y del funcionamiento de la nueva hoja de mezclas, en las mezclas realizadas en el mes de Septiembre de 2001 para las gasolinas LV-22, LV-23 y L-154I, y las realizadas durante el período Julio-Agosto de 2001. El primer grupo de tablas corresponde a las calidades de la gasolina LV-22, en dichas tablas (C.1 a la C.9) se encuentran porcentajes de desviación y confiabilidad de los modelos anteriores y los propuestos.

Tabla C.1 RVP de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 4-Sep-01 | 9,11 | 10,75 | 18,06 | 81,94 | 9,39 | 3,10 | 96,90 |
| 8-Sep-01 | 9,25 | 11,01 | 19,07 | 80,93 | 9,42 | 1,88 | 98,12 |
| 11-Sep-01 | 8,49 | 8,69 | 2,33 | 97,67 | 8,70 | 2,42 | 97,58 |
| 16-Sep-01 | 9,30 | 10,70 | 15,11 | 84,89 | 9,31 | 0,16 | 99,84 |
| 22-Sep-01 | 9,36 | 8,83 | 5,66 | 94,34 | 9,00 | 3,85 | 96,15 |
| 25-Sep-01 | 9,47 | 9,81 | 3,64 | 96,36 | 9,50 | 0,32 | 99,68 |
| 30-Sep-01 | 9,02 | 8,71 | 3,43 | 96,57 | 9,00 | 0,22 | 99,78 |

Tabla C.2 RON de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | RON Laboratorio | RON Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RON Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 4-Sep-01 | 88,20 | 87,80 | 0,46 | 99,54 | 88,00 | 0,23 | 99,77 |
| 8-Sep-01 | 87,20 | 84,35 | 3,27 | 96,73 | 88,56 | 1,56 | 98,44 |
| 11-Sep-01 | 87,60 | 81,09 | 7,44 | 92,56 | 88,14 | 0,62 | 99,38 |
| 16-Sep-01 | 87,10 | 84,81 | 2,62 | 97,38 | 87,50 | 0,46 | 99,54 |
| 22-Sep-01 | 86,50 | 80,48 | 6,96 | 93,04 | 87,42 | 1,06 | 98,94 |
| 25-Sep-01 | 88,40 | 83,72 | 5,29 | 94,71 | 88,26 | 0,16 | 99,84 |
| 30-Sep-01 | 88,10 | 83,63 | 5,08 | 94,92 | 88,34 | 0,27 | 99,73 |

Tabla C.3 MON de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | MON Laboratorio | MON Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | MON Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 4-Sep-01 | 81,00 | 78,12 | 3,55 | 96,45 | 80,68 | 0,39 | 99,61 |
| 8-Sep-01 | 82,00 | 75,96 | 7,37 | 92,63 | 80,80 | 1,47 | 98,53 |
| 11-Sep-01 | 81,60 | 74,06 | 9,24 | 90,76 | 81,06 | 0,66 | 99,34 |
| 16-Sep-01 | 81,10 | 76,10 | 6,17 | 93,83 | 80,72 | 0,47 | 99,53 |
| 22-Sep-01 | 82,70 | 73,29 | 11,38 | 88,62 | 81,30 | 1,70 | 98,30 |
| 25-Sep-01 | 80,50 | 75,75 | 5,90 | 94,10 | 80,98 | 0,60 | 99,40 |
| 30-Sep-01 | 81,00 | 75,60 | 6,67 | 93,33 | 80,99 | 0,01 | 99,99 |

Tabla C.4 Aromáticos de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | Aromáticos Laboratorio | Aromáticos Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Arom. Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|------------------------|---------------------|-----------------|------------------|--------------|---------------|----------------|
| 4-Sep-01 | 19,30 | 22,71 | 17,69 | 82,31 | 18,52 | 4,05 | 95,95 |
| 8-Sep-01 | 19,90 | 18,38 | 7,61 | 92,39 | 20,01 | 0,56 | 99,44 |
| 11-Sep-01 | 19,90 | 18,37 | 7,69 | 92,31 | 19,00 | 4,52 | 95,48 |
| 16-Sep-01 | 21,10 | 18,01 | 14,64 | 85,36 | 19,56 | 7,28 | 92,72 |
| 22-Sep-01 | 20,90 | 18,72 | 10,45 | 89,55 | 20,64 | 1,26 | 98,74 |
| 25-Sep-01 | 22,20 | 20,32 | 8,49 | 91,51 | 21,48 | 3,24 | 96,76 |
| 30-Sep-01 | 22,00 | 20,99 | 4,59 | 95,41 | 21,43 | 2,60 | 97,40 |

Tabla C.5 Olefinas de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | Olefinas Laboratorio | Olefinas Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Olef. Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|--------------|---------------|----------------|
| 4-Sep-01 | 13,70 | 21,91 | 59,89 | 40,11 | 14,00 | 2,19 | 97,81 |
| 8-Sep-01 | 13,80 | 17,91 | 29,81 | 70,19 | 14,00 | 1,45 | 98,55 |
| 11-Sep-01 | 13,80 | 19,51 | 41,36 | 58,64 | 15,00 | 8,70 | 91,30 |
| 16-Sep-01 | 12,90 | 19,91 | 54,37 | 45,63 | 14,00 | 8,53 | 91,47 |
| 22-Sep-01 | 12,70 | 12,68 | 0,14 | 99,86 | 13,00 | 2,36 | 97,64 |
| 25-Sep-01 | 12,60 | 13,32 | 5,72 | 94,28 | 14,00 | 11,11 | 88,89 |
| 30-Sep-01 | 12,60 | 13,02 | 3,35 | 96,65 | 13,00 | 3,17 | 96,83 |

Tabla C.6 T10 de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | T10 Laboratorio | T10 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T10 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 4-Sep-01 | 135,32 | 152,87 | 12,97 | 87,03 | 126,27 | 6,69 | 93,31 |
| 8-Sep-01 | 131,54 | 145,06 | 10,28 | 89,72 | 124,22 | 5,57 | 94,43 |
| 11-Sep-01 | 133,52 | 155,97 | 16,82 | 83,18 | 132,93 | 0,44 | 99,56 |
| 16-Sep-01 | 130,28 | 144,82 | 11,16 | 88,84 | 125,21 | 3,89 | 96,11 |
| 22-Sep-01 | 128,30 | 156,27 | 21,80 | 78,20 | 132,85 | 3,55 | 96,45 |
| 25-Sep-01 | 125,78 | 149,05 | 18,50 | 81,50 | 126,91 | 0,90 | 99,10 |
| 30-Sep-01 | 127,94 | 150,66 | 17,76 | 82,24 | 128,49 | 0,43 | 99,57 |

Tabla C.7 T50 de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | T50 Laboratorio | T50 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T50 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| 4-Sep-01 | 237,56 | 245,43 | 3,31 | 96,69 | 240,23 | 1,12 | 98,88 |
| 8-Sep-01 | 232,70 | 224,90 | 3,35 | 96,65 | 230,00 | 1,16 | 98,84 |
| 11-Sep-01 | 234,32 | 226,82 | 3,20 | 96,80 | 230,00 | 1,84 | 98,16 |
| 16-Sep-01 | 211,82 | 222,11 | 4,86 | 95,14 | 215,87 | 1,91 | 98,09 |
| 22-Sep-01 | 211,10 | 232,39 | 10,08 | 89,92 | 221,69 | 5,02 | 94,98 |
| 25-Sep-01 | 213,08 | 236,16 | 10,83 | 89,17 | 217,09 | 1,88 | 98,12 |
| 30-Sep-01 | 207,14 | 240,14 | 15,93 | 84,07 | 204,00 | 1,52 | 98,48 |

Tabla C.8 T90 de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | T90 Laboratorio | T90 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T90 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| 4-Sep-01 | 370,22 | 285,76 | 22,81 | 77,19 | 377,66 | 2,01 | 97,99 |
| 8-Sep-01 | 370,04 | 274,33 | 25,86 | 74,14 | 368,04 | 0,54 | 99,46 |
| 11-Sep-01 | 360,86 | 269,86 | 25,22 | 74,78 | 357,99 | 0,80 | 99,20 |
| 16-Sep-01 | 352,58 | 268,68 | 23,79 | 76,21 | 368,41 | 4,49 | 95,51 |
| 22-Sep-01 | 352,22 | 279,88 | 20,54 | 79,46 | 366,79 | 4,14 | 95,86 |
| 25-Sep-01 | 373,46 | 287,44 | 23,03 | 76,97 | 368,53 | 1,32 | 98,68 |
| 30-Sep-01 | 370,40 | 291,88 | 21,20 | 78,80 | 371,20 | 0,22 | 99,78 |

Tabla C.9 FBP de la LV-22 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | FBP Laboratorio | FBP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | FBP Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| 4-Sep-01 | 410,72 | 343,50 | 16,37 | 83,63 | 417,32 | 1,61 | 98,39 |
| 8-Sep-01 | 410,18 | 350,74 | 14,49 | 85,51 | 410,06 | 0,03 | 99,97 |
| 11-Sep-01 | 406,04 | 329,70 | 18,80 | 81,20 | 408,16 | 0,52 | 99,48 |
| 16-Sep-01 | 401,90 | 343,99 | 14,41 | 85,59 | 410,67 | 2,18 | 97,82 |
| 22-Sep-01 | 406,04 | 355,68 | 12,40 | 87,60 | 413,69 | 1,88 | 98,12 |
| 25-Sep-01 | 414,32 | 367,15 | 11,38 | 88,62 | 412,10 | 0,54 | 99,46 |
| 30-Sep-01 | 415,58 | 372,19 | 10,44 | 89,56 | 414,88 | 0,17 | 99,83 |

El siguiente grupo de tablas de la C.10 a la C.18, corresponde a las calidades de la gasolina mercado local óptima LV-23, en dichas tablas se encuentran porcentajes de desviación y confiabilidad de los modelos anteriores y los propuestos.

Tabla C.10 RVP de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 2-Sep | 8,85 | 9,43 | 6,52 | 93,48 | 9,14 | 3,30 | 96,70 |
| 3-Sep | 8,82 | 9,05 | 2,58 | 97,42 | 8,96 | 1,53 | 98,47 |
| 6-Sep | 9,45 | 9,39 | 0,59 | 99,41 | 9,01 | 4,60 | 95,40 |
| 11-Sep | 8,98 | 9,02 | 0,46 | 99,54 | 9,03 | 0,51 | 99,49 |
| 15-Sep | 9,21 | 10,33 | 12,12 | 87,88 | 9,22 | 0,07 | 99,93 |
| 16-Sep | 8,96 | 9,64 | 7,57 | 92,43 | 9,21 | 2,75 | 97,25 |
| 22-Sep | 9,05 | 9,73 | 7,55 | 92,45 | 9,23 | 1,98 | 98,02 |
| 27-Sep | 9,24 | 9,16 | 0,86 | 99,14 | 9,03 | 2,23 | 97,77 |

Tabla C.11 RON de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | RON Laboratorio | RON Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RON Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 2-Sep | 95,30 | 85,61 | 10,17 | 89,83 | 94,82 | 0,50 | 99,50 |
| 3-Sep | 95,40 | 87,14 | 8,66 | 91,34 | 95,54 | 0,15 | 99,85 |
| 6-Sep | 95,60 | 87,25 | 8,73 | 91,27 | 95,07 | 0,55 | 99,45 |
| 11-Sep | 95,00 | 85,33 | 10,18 | 89,82 | 94,98 | 0,02 | 99,98 |
| 15-Sep | 95,80 | 86,86 | 9,33 | 90,67 | 95,39 | 0,43 | 99,57 |
| 16-Sep | 95,40 | 85,70 | 10,17 | 89,83 | 95,27 | 0,14 | 99,86 |
| 22-Sep | 94,80 | 84,70 | 10,66 | 89,34 | 94,93 | 0,14 | 99,86 |
| 27-Sep | 95,80 | 87,34 | 8,84 | 91,16 | 96,01 | 0,22 | 99,78 |

Tabla C.12 MON de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | MON Laboratorio | MON Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | MON Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 2-Sep | 87,00 | 79,57 | 8,54 | 91,46 | 87,23 | 0,27 | 99,73 |
| 3-Sep | 87,00 | 79,76 | 8,32 | 91,68 | 87,26 | 0,30 | 99,70 |
| 6-Sep | 87,00 | 81,15 | 6,72 | 93,28 | 87,37 | 0,43 | 99,57 |
| 11-Sep | 87,20 | 79,62 | 8,69 | 91,31 | 87,27 | 0,07 | 99,93 |
| 15-Sep | 87,40 | 81,26 | 7,03 | 92,97 | 87,32 | 0,09 | 99,91 |
| 16-Sep | 87,50 | 79,25 | 9,42 | 90,58 | 87,23 | 0,31 | 99,69 |
| 22-Sep | 87,50 | 78,92 | 9,80 | 90,20 | 87,24 | 0,29 | 99,71 |
| 27-Sep | 87,30 | 80,03 | 8,33 | 91,67 | 87,18 | 0,14 | 99,86 |

Tabla C.13 Aromáticos de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | Aromáticos Laboratorio | Aromáticos Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Arom. Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|------------------------|---------------------|-----------------|------------------|--------------|---------------|----------------|
| 2-Sep | 20,40 | 15,20 | 25,47 | 74,53 | 19,01 | 6,81 | 93,19 |
| 3-Sep | 18,60 | 16,16 | 13,12 | 86,88 | 20,14 | 8,29 | 91,71 |
| 6-Sep | 19,40 | 16,45 | 15,20 | 84,80 | 20,93 | 7,89 | 92,11 |
| 11-Sep | 19,40 | 12,56 | 35,27 | 64,73 | 19,32 | 0,40 | 99,60 |
| 15-Sep | 20,40 | 15,28 | 25,12 | 74,88 | 21,06 | 3,24 | 96,76 |
| 16-Sep | 20,60 | 17,36 | 15,75 | 84,25 | 18,76 | 8,92 | 91,08 |
| 22-Sep | 22,70 | 16,72 | 26,33 | 73,67 | 22,00 | 3,08 | 96,92 |
| 27-Sep | 22,90 | 21,42 | 6,46 | 93,54 | 23,00 | 0,44 | 99,56 |

Tabla C.14 Olefinas de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | Olefinas Laboratorio | Olefinas Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Olef. Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|--------------|---------------|----------------|
| 2-Sep | 15,30 | 14,84 | 3,03 | 96,97 | 15,00 | 1,96 | 98,04 |
| 3-Sep | 17,00 | 15,56 | 8,44 | 91,56 | 17,00 | 0,00 | 100,00 |
| 6-Sep | 15,30 | 11,66 | 23,78 | 76,22 | 15,00 | 1,96 | 98,04 |
| 11-Sep | 15,40 | 15,72 | 2,07 | 97,93 | 16,00 | 3,90 | 96,10 |
| 15-Sep | 15,20 | 13,48 | 11,28 | 88,72 | 16,00 | 5,26 | 94,74 |
| 16-Sep | 16,70 | 15,96 | 4,41 | 95,59 | 17,47 | 4,62 | 95,38 |
| 22-Sep | 15,20 | 15,03 | 1,13 | 98,87 | 16,00 | 5,26 | 94,74 |
| 27-Sep | 15,30 | 15,76 | 3,00 | 97,00 | 16,50 | 7,84 | 92,16 |

Tabla C.15 T10 de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | T10 Laboratorio | T10 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T10 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 2-Sep | 139,28 | 158,77 | 13,99 | 86,01 | 134,64 | 3,33 | 96,67 |
| 3-Sep | 139,10 | 154,59 | 11,13 | 88,87 | 138,00 | 0,79 | 99,21 |
| 6-Sep | 140,54 | 161,13 | 14,65 | 85,35 | 134,78 | 4,10 | 95,90 |
| 11-Sep | 137,48 | 156,80 | 14,05 | 85,95 | 135,20 | 1,66 | 98,34 |
| 15-Sep | 138,56 | 160,03 | 15,49 | 84,51 | 137,77 | 0,57 | 99,43 |
| 16-Sep | 131,18 | 159,14 | 21,31 | 78,69 | 135,15 | 3,03 | 96,97 |
| 22-Sep | 136,22 | 159,71 | 17,24 | 82,76 | 136,20 | 0,01 | 99,99 |
| 27-Sep | 137,30 | 161,58 | 17,69 | 82,31 | 135,42 | 1,37 | 98,63 |

Tabla C.16 T50 de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | T50 Laboratorio | T50 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T50 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 2-Sep | 224,24 | 224,33 | 0,04 | 99,96 | 218,01 | 2,78 | 97,22 |
| 3-Sep | 221,54 | 228,22 | 3,02 | 96,98 | 215,78 | 2,60 | 97,40 |
| 6-Sep | 227,84 | 236,95 | 4,00 | 96,00 | 222,61 | 2,30 | 97,70 |
| 11-Sep | 214,70 | 214,32 | 0,18 | 99,82 | 211,46 | 1,51 | 98,49 |
| 15-Sep | 217,76 | 217,26 | 0,23 | 99,77 | 225,08 | 3,36 | 96,64 |
| 16-Sep | 219,56 | 222,98 | 1,56 | 98,44 | 221,72 | 0,99 | 99,01 |
| 22-Sep | 224,78 | 216,74 | 3,58 | 96,42 | 221,88 | 1,29 | 98,71 |
| 27-Sep | 223,52 | 234,20 | 4,78 | 95,22 | 226,61 | 1,38 | 98,62 |

Tabla C.17 T90 de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | T90 Laboratorio | T90 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T90 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 2-Sep | 347,54 | 237,61 | 31,63 | 68,37 | 354,77 | 2,08 | 97,92 |
| 3-Sep | 350,24 | 247,14 | 29,44 | 70,56 | 360,59 | 2,96 | 97,04 |
| 6-Sep | 362,12 | 266,45 | 26,42 | 73,58 | 364,06 | 0,54 | 99,46 |
| 11-Sep | 304,88 | 232,88 | 23,61 | 76,39 | 348,67 | 14,36 | 85,64 |
| 15-Sep | 333,68 | 246,51 | 26,12 | 73,88 | 355,66 | 6,59 | 93,41 |
| 16-Sep | 346,64 | 233,40 | 32,67 | 67,33 | 353,27 | 1,91 | 98,09 |
| 22-Sep | 357,62 | 227,22 | 36,46 | 63,54 | 349,88 | 2,16 | 97,84 |
| 27-Sep | 351,68 | 257,40 | 26,81 | 73,19 | 356,70 | 1,43 | 98,57 |

Tabla C.18 FBP de la LV-23 correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | FBP Laboratorio | FBP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | FBP Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 2-Sep | 409,82 | 280,55 | 31,54 | 68,46 | 412,76 | 0,72 | 99,28 |
| 3-Sep | 408,02 | 299,79 | 26,53 | 73,47 | 415,90 | 1,93 | 98,07 |
| 6-Sep | 415,58 | 318,01 | 23,48 | 76,52 | 416,37 | 0,19 | 99,81 |
| 11-Sep | 401,36 | 281,38 | 29,89 | 70,11 | 413,85 | 3,11 | 96,89 |
| 15-Sep | 406,94 | 299,03 | 26,52 | 73,48 | 415,15 | 2,02 | 97,98 |
| 16-Sep | 405,86 | 274,20 | 32,44 | 67,56 | 411,00 | 1,27 | 98,73 |
| 22-Sep | 412,70 | 268,86 | 34,85 | 65,15 | 410,14 | 0,62 | 99,38 |
| 27-Sep | 413,60 | 303,59 | 26,60 | 73,40 | 411,59 | 0,48 | 99,52 |

El siguiente grupo de tablas de la C.19 a la C.30, corresponde a las calidades de la gasolina mercado de exportación calidad invierno L-154I, en dichas tablas se encuentran porcentajes de desviación y confiabilidad de los modelos anteriores y los propuestos.

Tabla C.19 RVP de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 11,55 | 12,54 | 8,58 | 91,42 | 11,49 | 0,50 | 99,50 |
| 13-Sep | 11,24 | 12,06 | 7,34 | 92,66 | 11,31 | 0,66 | 99,34 |
| 14-Sep | 12,10 | 11,82 | 2,33 | 97,67 | 12,00 | 0,83 | 99,17 |
| 15-Sep | 11,53 | 12,63 | 9,57 | 90,43 | 11,50 | 0,26 | 99,74 |
| 18-Sep | 12,07 | 12,71 | 5,29 | 94,71 | 12,00 | 0,58 | 99,42 |
| 19-Sep | 11,72 | 12,35 | 5,38 | 94,62 | 11,84 | 1,04 | 98,96 |
| 22-Sep | 11,82 | 12,21 | 3,28 | 96,72 | 11,69 | 1,11 | 98,89 |
| 23-Sep | 11,88 | 11,62 | 2,16 | 97,84 | 11,55 | 2,77 | 97,23 |
| 26-Sep | 12,10 | 13,55 | 11,99 | 88,01 | 12,09 | 0,09 | 99,91 |
| 26-Sep | 12,10 | 12,76 | 5,44 | 94,56 | 12,05 | 0,45 | 99,55 |

Tabla C.20 RON de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | RON Laboratorio | RON Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RON Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 92,50 | 92,16 | 0,37 | 99,63 | 92,05 | 0,49 | 99,51 |
| 13-Sep | 91,90 | 92,29 | 0,43 | 99,57 | 92,12 | 0,24 | 99,76 |
| 14-Sep | 91,70 | 92,90 | 1,31 | 98,69 | 91,95 | 0,28 | 99,72 |
| 15-Sep | 91,80 | 92,09 | 0,32 | 99,68 | 91,78 | 0,02 | 99,98 |
| 18-Sep | 92,00 | 93,30 | 1,42 | 98,58 | 91,95 | 0,05 | 99,95 |
| 19-Sep | 91,30 | 92,92 | 1,78 | 98,22 | 91,72 | 0,46 | 99,54 |
| 22-Sep | 91,80 | 93,27 | 1,61 | 98,39 | 91,75 | 0,06 | 99,94 |
| 23-Sep | 91,90 | 91,93 | 0,03 | 99,97 | 91,74 | 0,18 | 99,82 |
| 26-Sep | 92,00 | 93,00 | 1,08 | 98,92 | 91,90 | 0,11 | 99,89 |
| 26-Sep | 91,70 | 92,37 | 0,73 | 99,27 | 91,67 | 0,03 | 99,97 |

Tabla C.21 MON de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | MON Laboratorio | MON Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | MON Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 82,70 | 83,40 | 0,84 | 99,16 | 82,61 | 0,11 | 99,89 |
| 13-Sep | 83,30 | 83,32 | 0,02 | 99,98 | 83,00 | 0,36 | 99,64 |
| 14-Sep | 83,10 | 84,41 | 1,57 | 98,43 | 82,70 | 0,48 | 99,52 |
| 15-Sep | 83,20 | 83,98 | 0,93 | 99,07 | 82,91 | 0,35 | 99,65 |
| 18-Sep | 82,80 | 84,86 | 2,49 | 97,51 | 82,88 | 0,10 | 99,90 |
| 19-Sep | 83,90 | 85,51 | 1,92 | 98,08 | 83,74 | 0,19 | 99,81 |
| 22-Sep | 83,20 | 84,78 | 1,90 | 98,10 | 82,82 | 0,46 | 99,54 |
| 23-Sep | 82,30 | 83,52 | 1,48 | 98,52 | 82,47 | 0,21 | 99,79 |
| 26-Sep | 82,70 | 85,00 | 2,78 | 97,22 | 83,13 | 0,52 | 99,48 |
| 26-Sep | 83,70 | 84,62 | 1,10 | 98,90 | 83,60 | 0,12 | 99,88 |

Tabla C.22 Aromáticos de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | Aromáticos Laboratorio | Aromáticos Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Arom. Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|------------------------|---------------------|-----------------|------------------|--------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 19,80 | 14,09 | 28,83 | 71,17 | 19,00 | 4,04 | 95,96 |
| 13-Sep | 15,30 | 14,60 | 4,57 | 95,43 | 14,00 | 8,50 | 91,50 |
| 14-Sep | 17,20 | 16,19 | 5,89 | 94,11 | 16,64 | 3,27 | 96,73 |
| 15-Sep | 16,40 | 17,06 | 4,00 | 96,00 | 16,40 | 0,00 | 100,00 |
| 18-Sep | 19,80 | 18,44 | 6,84 | 93,16 | 19,00 | 4,04 | 95,96 |
| 19-Sep | 14,00 | 13,43 | 4,05 | 95,95 | 13,68 | 2,29 | 97,71 |
| 22-Sep | 16,10 | 16,47 | 2,30 | 97,70 | 15,65 | 2,77 | 97,23 |
| 23-Sep | 15,80 | 15,24 | 3,57 | 96,43 | 16,04 | 1,53 | 98,47 |
| 26-Sep | 11,80 | 11,04 | 6,40 | 93,60 | 12,61 | 6,90 | 93,10 |
| 26-Sep | 13,30 | 11,09 | 16,58 | 83,42 | 13,00 | 2,26 | 97,74 |

Tabla C.23 Azufre de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | Azufre Laboratorio | Azufre Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Azufre Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|--------------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 333,00 | 310,15 | 6,86 | 93,14 | 300,00 | 9,91 | 90,09 |
| 13-Sep | 303,00 | 308,41 | 1,79 | 98,21 | 290,00 | 4,29 | 95,71 |
| 14-Sep | 273,00 | 243,97 | 10,63 | 89,37 | 273,74 | 0,27 | 99,73 |
| 15-Sep | 293,00 | 275,24 | 6,06 | 93,94 | 295,67 | 0,91 | 99,09 |
| 18-Sep | 383,00 | 363,40 | 5,12 | 94,88 | 371,26 | 3,07 | 96,93 |
| 19-Sep | 251,00 | 236,25 | 5,88 | 94,12 | 274,21 | 9,25 | 90,75 |
| 22-Sep | 295,00 | 248,16 | 15,88 | 84,12 | 274,01 | 7,12 | 92,88 |
| 23-Sep | 298,00 | 292,78 | 1,75 | 98,25 | 298,20 | 0,07 | 99,93 |
| 26-Sep | 301,00 | 269,13 | 10,59 | 89,41 | 300,00 | 0,33 | 99,67 |
| 26-Sep | 255,00 | 267,32 | 4,83 | 95,17 | 257,96 | 1,16 | 98,84 |

Tabla C.24 Benceno de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | Benceno Laboratorio | Benceno Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Benceno Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 0,70 | 0,83 | 18,82 | 81,18 | 0,71 | 1,43 | 98,57 |
| 13-Sep | 0,60 | 0,87 | 44,31 | 55,69 | 0,66 | 10,00 | 90,00 |
| 14-Sep | 0,60 | 0,78 | 29,31 | 70,69 | 0,61 | 1,00 | 99,00 |
| 15-Sep | 0,60 | 0,77 | 28,78 | 71,22 | 0,62 | 2,72 | 97,28 |
| 18-Sep | 0,50 | 0,69 | 38,20 | 61,80 | 0,55 | 10,00 | 90,00 |
| 19-Sep | 0,50 | 0,67 | 33,39 | 66,61 | 0,50 | 0,00 | 100,00 |
| 22-Sep | 0,60 | 0,72 | 20,41 | 79,59 | 0,60 | 0,00 | 100,00 |
| 23-Sep | 0,70 | 0,73 | 4,84 | 95,16 | 0,66 | 5,71 | 94,29 |
| 26-Sep | 0,50 | 0,61 | 21,51 | 78,49 | 0,55 | 10,00 | 90,00 |
| 26-Sep | 0,50 | 0,60 | 20,15 | 79,85 | 0,52 | 4,00 | 96,00 |

Tabla C.25 Olefinas de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | Olefinas Laboratorio | Olefinas Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Olef. Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|--------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 13,00 | 17,01 | 30,82 | 69,18 | 13,30 | 2,31 | 97,69 |
| 13-Sep | 14,00 | 17,09 | 22,08 | 77,92 | 14,94 | 6,69 | 93,31 |
| 14-Sep | 14,50 | 15,52 | 7,06 | 92,94 | 13,61 | 6,16 | 93,84 |
| 15-Sep | 14,10 | 15,96 | 13,18 | 86,82 | 14,20 | 0,71 | 99,29 |
| 18-Sep | 12,40 | 14,00 | 12,90 | 87,10 | 12,26 | 1,12 | 98,88 |
| 19-Sep | 12,30 | 12,61 | 2,52 | 97,48 | 11,90 | 3,27 | 96,73 |
| 22-Sep | 14,30 | 14,67 | 2,57 | 97,43 | 13,60 | 4,90 | 95,10 |
| 23-Sep | 13,70 | 14,78 | 7,85 | 92,15 | 13,40 | 2,17 | 97,83 |
| 26-Sep | 17,20 | 14,86 | 13,62 | 86,38 | 16,60 | 3,49 | 96,51 |
| 26-Sep | 13,50 | 14,35 | 6,29 | 93,71 | 13,20 | 2,22 | 97,78 |

Tabla C.26 Oxígeno de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | Oxígeno Laboratorio | Oxígeno Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Oxígeno Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 2,30 | 2,15 | 6,37 | 93,63 | 2,21 | 4,02 | 95,98 |
| 13-Sep | 2,30 | 2,30 | 0,20 | 99,80 | 2,29 | 0,53 | 99,47 |
| 14-Sep | 2,40 | 2,47 | 2,73 | 97,27 | 2,39 | 0,29 | 99,71 |
| 15-Sep | 2,40 | 1,99 | 17,20 | 82,80 | 2,25 | 6,46 | 93,54 |
| 18-Sep | 2,30 | 2,68 | 16,31 | 83,69 | 2,30 | 0,00 | 100,00 |
| 19-Sep | 2,60 | 2,61 | 0,30 | 99,70 | 2,50 | 3,70 | 96,30 |
| 22-Sep | 2,40 | 2,49 | 3,74 | 96,26 | 2,41 | 0,30 | 99,70 |
| 23-Sep | 2,50 | 2,47 | 1,15 | 98,85 | 2,40 | 4,15 | 95,85 |
| 26-Sep | 2,40 | 2,69 | 11,99 | 88,01 | 2,54 | 5,77 | 94,23 |
| 26-Sep | 2,50 | 2,51 | 0,27 | 99,73 | 2,43 | 2,74 | 97,26 |

Tabla C.27 T10 de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | T10 Laboratorio | T10 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T10 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 115,34 | 144,03 | 24,87 | 75,13 | 115,00 | 0,29 | 99,71 |
| 13-Sep | 118,76 | 143,82 | 21,10 | 78,90 | 119,81 | 0,88 | 99,12 |
| 14-Sep | 114,26 | 150,56 | 31,77 | 68,23 | 112,92 | 1,17 | 98,83 |
| 15-Sep | 115,70 | 149,34 | 29,07 | 70,93 | 112,27 | 2,97 | 97,03 |
| 18-Sep | 114,08 | 151,37 | 32,69 | 67,31 | 115,00 | 0,81 | 99,19 |
| 19-Sep | 114,26 | 148,84 | 30,26 | 69,74 | 114,51 | 0,21 | 99,79 |
| 22-Sep | 111,38 | 151,45 | 35,97 | 64,03 | 110,17 | 1,09 | 98,91 |
| 23-Sep | 113,72 | 151,49 | 33,22 | 66,78 | 114,30 | 0,51 | 99,49 |
| 26-Sep | 110,66 | 147,68 | 33,45 | 66,55 | 111,28 | 0,56 | 99,44 |
| 26-Sep | 113,36 | 149,79 | 32,14 | 67,86 | 113,58 | 0,19 | 99,81 |

Tabla C.28 T50 de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | T50 Laboratorio | T50 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T50 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 186,26 | 193,56 | 3,92 | 96,08 | 186,52 | 0,14 | 99,86 |
| 13-Sep | 182,48 | 193,00 | 5,77 | 94,23 | 182,00 | 0,26 | 99,74 |
| 14-Sep | 188,42 | 202,00 | 7,21 | 92,79 | 187,01 | 0,75 | 99,25 |
| 15-Sep | 188,42 | 203,19 | 7,84 | 92,16 | 178,23 | 5,41 | 94,59 |
| 18-Sep | 190,76 | 219,67 | 15,16 | 84,84 | 189,47 | 0,68 | 99,32 |
| 19-Sep | 185,36 | 199,78 | 7,78 | 92,22 | 185,30 | 0,03 | 99,97 |
| 22-Sep | 187,16 | 208,20 | 11,24 | 88,76 | 187,32 | 0,09 | 99,91 |
| 23-Sep | 188,78 | 206,61 | 9,45 | 90,55 | 190,14 | 0,72 | 99,28 |
| 26-Sep | 183,56 | 196,33 | 6,96 | 93,04 | 182,57 | 0,54 | 99,46 |
| 26-Sep | 185,00 | 199,23 | 7,69 | 92,31 | 184,77 | 0,12 | 99,88 |

Tabla C.29 T90 de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | T90 Laboratorio | T90 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T90 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 338,72 | 256,44 | 24,29 | 75,71 | 344,00 | 1,56 | 98,44 |
| 13-Sep | 315,32 | 255,17 | 19,08 | 80,92 | 312,00 | 1,05 | 98,95 |
| 14-Sep | 314,42 | 260,82 | 17,05 | 82,95 | 320,69 | 1,99 | 98,01 |
| 15-Sep | 323,60 | 263,86 | 18,46 | 81,54 | 317,04 | 2,03 | 97,97 |
| 18-Sep | 353,10 | 272,32 | 22,88 | 77,12 | 360,00 | 1,95 | 98,05 |
| 19-Sep | 318,74 | 262,08 | 17,78 | 82,22 | 321,08 | 0,73 | 99,27 |
| 22-Sep | 328,82 | 265,93 | 19,13 | 80,87 | 323,06 | 1,75 | 98,25 |
| 23-Sep | 331,88 | 265,36 | 20,04 | 79,96 | 338,17 | 1,89 | 98,11 |
| 26-Sep | 313,34 | 255,94 | 18,32 | 81,68 | 308,32 | 1,60 | 98,40 |
| 26-Sep | 315,50 | 261,10 | 17,24 | 82,76 | 314,00 | 0,48 | 99,52 |

Tabla C.30 FBP de la L-154I correspondientes al mes de Septiembre de 2001.

| Fecha Mezcla | FBP Laboratorio | FBP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | FBP Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 12-Sep | 408,92 | 318,29 | 22,16 | 77,84 | 414,41 | 1,34 | 98,66 |
| 13-Sep | 403,16 | 317,02 | 21,37 | 78,63 | 400,00 | 0,78 | 99,22 |
| 14-Sep | 399,38 | 310,67 | 22,21 | 77,79 | 397,20 | 0,55 | 99,45 |
| 15-Sep | 402,08 | 313,45 | 22,04 | 77,96 | 392,07 | 2,49 | 97,51 |
| 18-Sep | 413,78 | 316,63 | 23,48 | 76,52 | 420,00 | 1,50 | 98,50 |
| 19-Sep | 403,88 | 319,12 | 20,99 | 79,01 | 409,77 | 1,46 | 98,54 |
| 22-Sep | 404,96 | 312,91 | 22,73 | 77,27 | 397,86 | 1,75 | 98,25 |
| 23-Sep | 404,96 | 317,21 | 21,67 | 78,33 | 416,74 | 2,91 | 97,09 |
| 26-Sep | 400,28 | 307,67 | 23,14 | 76,86 | 391,37 | 2,23 | 97,77 |
| 26-Sep | 403,88 | 314,67 | 22,09 | 77,91 | 393,33 | 2,61 | 97,39 |

El siguiente grupo de tablas de la C.31 a la C.42, corresponde a las calidades de la gasolina de exportación calidad verano L-154V, en dichas tablas se encuentran porcentajes de desviación y confiabilidad de los modelos anteriores y los propuestos.

Tabla C.31 RVP de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | RVP Laboratorio | RVP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RVP Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 02-Jul | 6,79 | 6,27 | 7,70 | 92,30 | 6,85 | 0,91 | 99,09 |
| 03-Jul | 6,64 | 6,24 | 6,02 | 93,98 | 6,78 | 2,08 | 97,92 |
| 07-Jul | 6,47 | 6,26 | 3,26 | 96,74 | 6,50 | 0,46 | 99,54 |
| 14-Jul | 6,77 | 6,24 | 7,86 | 92,14 | 6,90 | 1,86 | 98,14 |
| 18-Jul | 6,67 | 5,73 | 14,11 | 85,89 | 6,76 | 1,36 | 98,64 |
| 18-Jul | 6,67 | 10,18 | 52,63 | 47,37 | 6,69 | 0,32 | 99,68 |
| 22-Jul | 7,01 | 6,32 | 9,80 | 90,20 | 6,66 | 4,93 | 95,07 |
| 17-Ago | 6,70 | 6,46 | 3,54 | 96,46 | 6,66 | 0,55 | 99,45 |
| 18-Ago | 6,85 | 6,61 | 3,46 | 96,54 | 6,93 | 1,19 | 98,81 |
| 25-Ago | 7,11 | 6,75 | 5,11 | 94,89 | 7,09 | 0,30 | 99,70 |

Tabla C.32 RON de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | RON Laboratorio | RON Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | RON Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 02-Jul | 91,40 | 92,53 | 1,23 | 98,77 | 91,35 | 0,06 | 99,94 |
| 03-Jul | 91,10 | 90,73 | 0,40 | 99,60 | 91,15 | 0,05 | 99,95 |
| 07-Jul | 91,20 | 90,67 | 0,59 | 99,41 | 91,17 | 0,03 | 99,97 |
| 14-Jul | 91,40 | 90,79 | 0,66 | 99,34 | 91,26 | 0,16 | 99,84 |
| 18-Jul | 91,80 | 90,57 | 1,34 | 98,66 | 91,78 | 0,03 | 99,97 |
| 18-Jul | 91,70 | 91,12 | 0,63 | 99,37 | 91,70 | 0,00 | 100,00 |
| 22-Jul | 91,60 | 91,18 | 0,46 | 99,54 | 91,92 | 0,35 | 99,65 |
| 17-Ago | 91,80 | 93,08 | 1,39 | 98,61 | 91,62 | 0,20 | 99,80 |
| 18-Ago | 91,60 | 92,50 | 0,98 | 99,02 | 91,49 | 0,12 | 99,88 |
| 25-Ago | 91,20 | 92,22 | 1,12 | 98,88 | 91,39 | 0,21 | 99,79 |

Tabla C.33 MON de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | MON Laboratorio | MON Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | MON Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 02-Jul | 83,00 | 84,01 | 1,21 | 98,79 | 83,83 | 1,00 | 99,00 |
| 03-Jul | 83,10 | 84,09 | 1,19 | 98,81 | 84,62 | 1,83 | 98,17 |
| 07-Jul | 83,20 | 83,98 | 0,93 | 99,07 | 84,71 | 1,82 | 98,18 |
| 14-Jul | 83,00 | 83,98 | 1,18 | 98,82 | 84,06 | 1,28 | 98,72 |
| 18-Jul | 82,60 | 84,07 | 1,78 | 98,22 | 82,61 | 0,01 | 99,99 |
| 18-Jul | 83,40 | 85,52 | 2,55 | 97,45 | 83,36 | 0,05 | 99,95 |
| 22-Jul | 83,00 | 84,56 | 1,88 | 98,12 | 81,13 | 2,25 | 97,75 |
| 17-Ago | 83,60 | 85,60 | 2,39 | 97,61 | 81,45 | 2,57 | 97,43 |
| 18-Ago | 83,20 | 84,81 | 1,94 | 98,06 | 83,33 | 0,15 | 99,85 |
| 25-Ago | 83,60 | 84,80 | 1,44 | 98,56 | 83,31 | 0,35 | 99,65 |

Tabla C.34 Aromáticos de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | Aromáticos Laboratorio | Aromáticos Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Arom. Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|------------------------|---------------------|-----------------|------------------|--------------|---------------|----------------|
| 02-Jul | 19,80 | 22,11 | 11,67 | 88,33 | 19,25 | 2,78 | 97,22 |
| 03-Jul | 19,50 | 21,40 | 9,75 | 90,25 | 18,65 | 4,37 | 95,63 |
| 07-Jul | 18,30 | 21,43 | 17,08 | 82,92 | 18,74 | 2,41 | 97,59 |
| 14-Jul | 17,60 | 21,90 | 24,45 | 75,55 | 18,50 | 5,11 | 94,89 |
| 18-Jul | 20,20 | 23,10 | 14,38 | 85,62 | 20,64 | 2,20 | 97,80 |
| 18-Jul | 19,90 | 19,21 | 3,48 | 96,52 | 19,20 | 3,52 | 96,48 |
| 22-Jul | 17,30 | 19,01 | 9,89 | 90,11 | 17,76 | 2,65 | 97,35 |
| 17-Ago | 15,00 | 15,84 | 5,60 | 94,40 | 15,02 | 0,15 | 99,85 |
| 18-Ago | 16,00 | 16,20 | 1,24 | 98,76 | 15,34 | 4,15 | 95,85 |
| 25-Ago | 15,10 | 15,36 | 1,70 | 98,30 | 14,57 | 3,54 | 96,46 |

Tabla C.35 Azufre de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | Azufre Laboratorio | Azufre Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Azufre Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|--------------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------|---------------|----------------|
| 02-Jul | 165,00 | 148,60 | 9,94 | 90,06 | 150,60 | 8,73 | 91,27 |
| 03-Jul | 153,00 | 146,17 | 4,47 | 95,53 | 152,60 | 0,26 | 99,74 |
| 07-Jul | 151,00 | 147,33 | 2,43 | 97,57 | 149,90 | 0,73 | 99,27 |
| 14-Jul | 137,00 | 149,62 | 9,21 | 90,79 | 132,56 | 3,24 | 96,76 |
| 18-Jul | 171,00 | 153,34 | 10,33 | 89,67 | 180,00 | 5,26 | 94,74 |
| 18-Jul | 141,00 | 127,66 | 9,46 | 90,54 | 148,96 | 5,64 | 94,36 |
| 22-Jul | 107,00 | 131,75 | 23,13 | 76,87 | 109,90 | 2,71 | 97,29 |
| 17-Ago | 186,00 | 206,79 | 11,18 | 88,82 | 190,30 | 2,31 | 97,69 |
| 18-Ago | 196,00 | 207,60 | 5,92 | 94,08 | 189,38 | 3,38 | 96,62 |
| 25-Ago | 176,00 | 194,75 | 10,65 | 89,35 | 179,22 | 1,83 | 98,17 |

Tabla C.36 Benceno de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | Benceno Laboratorio | Benceno Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Benceno Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|----------------|
| 02-Jul | 0,60 | 0,89 | 47,60 | 52,40 | 0,62 | 3,33 | 96,67 |
| 03-Jul | 0,60 | 0,86 | 43,07 | 56,93 | 0,58 | 3,33 | 96,67 |
| 07-Jul | 0,70 | 0,86 | 23,29 | 76,71 | 0,69 | 1,07 | 98,93 |
| 14-Jul | 0,70 | 0,87 | 24,55 | 75,45 | 0,70 | 0,39 | 99,61 |
| 18-Jul | 0,70 | 0,80 | 14,63 | 85,37 | 0,65 | 6,52 | 93,48 |
| 18-Jul | 0,60 | 0,62 | 2,92 | 97,08 | 0,56 | 7,05 | 92,95 |
| 22-Jul | 0,60 | 0,82 | 36,33 | 63,67 | 0,61 | 0,83 | 99,17 |
| 17-Ago | 0,40 | 0,68 | 71,06 | 28,94 | 0,42 | 3,75 | 96,25 |
| 18-Ago | 0,60 | 0,74 | 22,94 | 77,06 | 0,58 | 3,33 | 96,67 |
| 25-Ago | 0,40 | 0,72 | 79,29 | 20,71 | 0,41 | 2,50 | 97,50 |

Tabla C.37 Olefinas de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | Olefinas Laboratorio | Olefinas Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Olef. Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|--------------|---------------|----------------|
| 02-Jul | 11,70 | 7,96 | 32,00 | 68,00 | 11,90 | 1,71 | 98,29 |
| 03-Jul | 10,50 | 7,28 | 30,66 | 69,34 | 9,95 | 5,20 | 94,80 |
| 07-Jul | 10,20 | 7,56 | 25,92 | 74,08 | 10,13 | 0,69 | 99,31 |
| 14-Jul | 10,40 | 8,02 | 22,88 | 77,12 | 10,29 | 1,02 | 98,98 |
| 18-Jul | 11,10 | 9,68 | 12,82 | 87,18 | 11,66 | 5,09 | 94,91 |
| 18-Jul | 9,50 | 8,40 | 11,63 | 88,37 | 9,95 | 4,76 | 95,24 |
| 22-Jul | 10,60 | 8,73 | 17,63 | 82,37 | 10,65 | 0,47 | 99,53 |
| 17-Ago | 12,10 | 10,49 | 13,30 | 86,70 | 12,00 | 0,83 | 99,17 |
| 18-Ago | 12,40 | 11,00 | 11,26 | 88,74 | 13,15 | 6,06 | 93,94 |
| 25-Ago | 12,10 | 10,99 | 9,14 | 90,86 | 12,00 | 0,83 | 99,17 |

Tabla C.38 Oxígeno de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | Oxígeno Laboratorio | Oxígeno Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | Oxígeno Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|----------------|
| 02-Jul | 2,10 | 2,30 | 9,60 | 90,40 | 2,23 | 5,99 | 94,01 |
| 03-Jul | 2,10 | 2,21 | 5,23 | 94,77 | 2,20 | 4,56 | 95,44 |
| 07-Jul | 2,40 | 2,21 | 7,92 | 92,08 | 2,45 | 2,08 | 97,92 |
| 14-Jul | 2,10 | 2,21 | 5,24 | 94,76 | 2,20 | 4,56 | 95,44 |
| 18-Jul | 2,10 | 2,07 | 1,61 | 98,39 | 2,13 | 1,60 | 98,40 |
| 18-Jul | 2,30 | 2,21 | 4,00 | 96,00 | 2,15 | 6,54 | 93,46 |
| 22-Jul | 2,40 | 2,68 | 11,55 | 88,45 | 2,32 | 3,32 | 96,68 |
| 17-Ago | 2,50 | 2,54 | 1,51 | 98,49 | 2,30 | 7,89 | 92,11 |
| 18-Ago | 2,50 | 2,50 | 0,12 | 99,88 | 2,45 | 2,00 | 98,00 |
| 25-Ago | 2,20 | 2,30 | 4,34 | 95,66 | 2,23 | 1,33 | 98,67 |

Tabla C.39 T10 de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | T10 Laboratorio | T10 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T10 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 02-Jul | 143,24 | 162,88 | 13,71 | 86,29 | 140,74 | 1,75 | 98,25 |
| 03-Jul | 145,40 | 163,00 | 12,10 | 87,90 | 145,00 | 0,28 | 99,72 |
| 07-Jul | 142,88 | 162,71 | 13,88 | 86,12 | 140,13 | 1,93 | 98,07 |
| 14-Jul | 143,60 | 162,90 | 13,44 | 86,56 | 140,51 | 2,15 | 97,85 |
| 18-Jul | 142,70 | 165,51 | 15,98 | 84,02 | 142,25 | 0,31 | 99,69 |
| 18-Jul | 146,84 | 158,78 | 8,13 | 91,87 | 147,01 | 0,11 | 99,89 |
| 22-Jul | 143,06 | 157,37 | 10,00 | 90,00 | 142,71 | 0,24 | 99,76 |
| 17-Ago | 142,70 | 160,25 | 12,30 | 87,70 | 143,32 | 0,43 | 99,57 |
| 18-Ago | 138,74 | 159,12 | 14,69 | 85,31 | 140,03 | 0,93 | 99,07 |
| 25-Ago | 144,32 | 159,66 | 10,63 | 89,37 | 142,04 | 1,58 | 98,42 |

Tabla C.40 T50 de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | T50 Laboratorio | T50 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T50 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 02-Jul | 206,24 | 228,74 | 10,91 | 89,09 | 201,26 | 2,41 | 97,59 |
| 03-Jul | 206,42 | 228,45 | 10,67 | 89,33 | 201,22 | 2,52 | 97,48 |
| 07-Jul | 205,88 | 228,30 | 10,89 | 89,11 | 200,38 | 2,67 | 97,33 |
| 14-Jul | 202,10 | 229,18 | 13,40 | 86,60 | 201,11 | 0,49 | 99,51 |
| 18-Jul | 206,42 | 235,05 | 13,87 | 86,13 | 205,85 | 0,28 | 99,72 |
| 18-Jul | 216,86 | 221,73 | 2,25 | 97,75 | 216,97 | 0,05 | 99,95 |
| 22-Jul | 202,46 | 217,85 | 7,60 | 92,40 | 202,50 | 0,02 | 99,98 |
| 17-Ago | 202,64 | 226,53 | 11,79 | 88,21 | 202,42 | 0,11 | 99,89 |
| 18-Ago | 195,98 | 224,83 | 14,72 | 85,28 | 196,74 | 0,39 | 99,61 |
| 25-Ago | 200,66 | 222,70 | 10,98 | 89,02 | 200,01 | 0,33 | 99,67 |

Tabla C.41 T90 de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | T90 Laboratorio | T90 Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | T90 Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|------------|---------------|----------------|
| 02-Jul | 340,52 | 295,66 | 13,17 | 86,83 | 341,30 | 0,23 | 99,77 |
| 03-Jul | 340,16 | 296,58 | 12,81 | 87,19 | 341,64 | 0,44 | 99,56 |
| 07-Jul | 337,28 | 296,13 | 12,20 | 87,80 | 341,84 | 1,35 | 98,65 |
| 14-Jul | 326,84 | 296,82 | 9,18 | 90,82 | 330,00 | 0,97 | 99,03 |
| 18-Jul | 334,58 | 303,63 | 9,25 | 90,75 | 339,87 | 1,58 | 98,42 |
| 18-Jul | 334,58 | 286,85 | 14,27 | 85,73 | 339,97 | 1,61 | 98,39 |
| 22-Jul | 328,10 | 284,83 | 13,19 | 86,81 | 319,31 | 2,68 | 97,32 |
| 17-Ago | 340,16 | 292,37 | 14,05 | 85,95 | 348,08 | 2,33 | 97,67 |
| 18-Ago | 333,32 | 288,95 | 13,31 | 86,69 | 347,49 | 4,25 | 95,75 |
| 25-Ago | 405,14 | 289,13 | 28,63 | 71,37 | 401,00 | 1,02 | 98,98 |

Tabla C.42 FBP de la L-154V correspondientes al período Julio-Agosto 2001.

| Fecha Mezcla | FBP Laboratorio | FBP Anterior | % Desv Anterior | Confiab Anterior | FBP Actual | % Desv Actual | Confiab Actual |
|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| 02-Jul | 410,36 | 332,60 | 18,95 | 81,05 | 409,92 | 0,11 | 99,89 |
| 03-Jul | 410,18 | 332,32 | 18,98 | 81,02 | 411,02 | 0,21 | 99,79 |
| 07-Jul | 412,34 | 332,28 | 19,42 | 80,58 | 409,56 | 0,67 | 99,33 |
| 14-Jul | 401,90 | 333,40 | 17,05 | 82,95 | 409,01 | 1,77 | 98,23 |
| 18-Jul | 406,76 | 336,65 | 17,24 | 82,76 | 406,65 | 0,03 | 99,97 |
| 18-Jul | 410,72 | 311,43 | 24,18 | 75,82 | 411,21 | 0,12 | 99,88 |
| 22-Jul | 404,42 | 320,59 | 20,73 | 79,27 | 402,36 | 0,51 | 99,49 |
| 17-Ago | 408,92 | 322,60 | 21,11 | 78,89 | 409,54 | 0,15 | 99,85 |
| 18-Ago | 398,84 | 321,59 | 19,37 | 80,63 | 403,02 | 1,05 | 98,95 |
| 25-Ago | 405,14 | 320,85 | 20,80 | 79,20 | 399,17 | 1,47 | 98,53 |

APÉNDICE D

A continuación se presentan en la tabla D.1 los factores utilizados en CEP para los gráficos de control de rango móvil e individuos-rango móvil. Las celdas sombreadas significan que dichos parámetros son cero.

Figura D.1 Factores para los gráficos de control.

| n | D₃ | D₄ | A₂ | d₂ | B₃ | B₄ | A₃ | C |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|
| 2 | | 3.27 | 1.88 | 1.128 | | 3.27 | 2.66 | 0.7979 |
| 3 | | 2.57 | 1.02 | 1.693 | | 2.57 | 1.95 | 0.8862 |
| 4 | | 2.28 | 0.73 | 2.059 | | 2.27 | 1.63 | 0.9213 |
| 5 | | 2.11 | 0.58 | 2.326 | | 2.09 | 1.43 | 0.9399 |
| 6 | | 2.00 | 0.48 | 2.534 | 0.03 | 1.97 | 1.29 | 0.9515 |
| 7 | 0.08 | 1.92 | 0.42 | 2.704 | 0.12 | 1.88 | 1.18 | 0.9594 |
| 8 | 0.14 | 1.86 | 0.37 | 2.847 | 0.19 | 1.81 | 1.10 | 0.9650 |
| 9 | 0.18 | 1.82 | 0.34 | 2.970 | 0.24 | 1.76 | 1.03 | 0.9693 |
| 10 | 0.22 | 1.78 | 0.31 | 3.078 | 0.28 | 1.72 | 0.98 | 0.9726 |