

**DESARROLLO DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS DEL DISOLVENTE No.4 PRODUCIDO EN EL GCB CON
BASE EN LA CALIDAD DE LAS NAFTAS PROCESADAS.**

JAIVER EFRÉN JAIMES FIGUEROA

MIGUEL ANTONIO SUÁREZ JAIMES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2008

**DESARROLLO DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS DEL DISOLVENTE No.4 PRODUCIDO EN EL GCB CON
BASE EN LA CALIDAD DE LAS NAFTAS PROCESADAS.**

JAIVER EFRÉN JAIMES FIGUEROA

MIGUEL ANTONIO SUÁREZ JAIMES

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Químico**

Director

RAMIRO MARTÍNEZ REY. Ph.D

UIS

Co-Director

EDGAR FRANCISCO PANTOJA AGREDA. Ph.D

ICP

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2008

DEDICATORIA 1

Quiero dedicar la feliz culminación de este proyecto de grado primeramente a Dios, pues estoy seguro que fue la voluntad de El que esto se realizara.

A mis padres quienes son mi soporte y aliciente día a día y merecedores de todos mis logros.

A mi hermanita por poner siempre su confianza y admiración en mí.

Por último quiero agradecer a mi novia Viera Carolina Lozano Salazar por su paciencia y compañía en los momentos de mayor importancia.

MIGUEL ANTONIO SUAREZ JAIMES

DEDICATORIA 2

A Dios por acompañarme y darme la sabiduría para llegar donde ahora estoy.

A aquellas mujeres que siempre han estado ahí, para mostrarme que la vida no es fácil pero tampoco imposible y que acompañados se sobrellevan mejor las cosas: mi madre, mi abuela y mis dos hermanitas.

Y por último y no menos importante a ese grupo maravilloso de amigos, que sin ellos el camino hubiese sido casi imposible de atravesar.

JAIVER EFRÉN JAIMES FIGUEROA.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director de proyecto el doctor Ramiro Martínez Rey por su dedicación y colaboración durante el desarrollo de este, sus recomendaciones y ejemplo.

Agradecemos al doctor Edgar Francisco Pantoja Agreda; codirector de este proyecto que sin su ayuda no hubiese sido posible una culminación con éxito.

Debemos agradecer también al Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), por facilitarnos sus instalaciones, equipos y personal humano indispensables en el proceso de elaboración del presente proyecto de grado.

Agradecemos a nuestra Alma Mater, la Universidad Industrial de Santander por su ardua tarea de transmitirnos el conocimiento, además de inculcarnos un espíritu de responsabilidad, laboriosidad y respeto.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	2
1.1 Nafta	2
1.1.1 Curva de Destilación	2
1.2 Disolvente No.4	3
1.2.1 Propiedades del Disolvente No.4	4
1.3 Proceso de Obtención Del Disolvente No.4	5
1.3.1 Planta de Aromáticos	6
1.3.2 Planta de Especialidades	7
1.4 Modelos Computacionales	7
1.4.1 Statisti.XL	8
1.4.2 Grace 98	8
1.4.3 Personal 98.xls	9
2. METODOLOGÍA	10
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	14
3.1. Variabilidad en las Propiedades	14
3.2. Correlaciones	17
3.3. Hoja de Cálculo para la Predicción de las Propiedades del Disolvente No.4	21

3.4. Evaluación de la Exactitud del Modelo de Predicción de Propiedades del Disolvente No.4.	23
4. CONCLUSIONES	26
5. RECOMENDACIONES	27
6. BIBLIOGRAFÍA	28
ANEXO A. Sub-Rutina de Utilización de Grace98 y Personal 97.xls	29
ANEXO B. Variación en el Tiempo de las Propiedades del Disolvente No.4 Producido en el GBC a Partir de la Nafta Carga 1300.	31
ANEXO C. Diagrama de Flujo de la Planta de Aromáticos y la Unidad de Prefraccionamiento.	33

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones del Disolvente No.4.	6
Tabla 2. Matriz de Coeficientes de Correlación de las Propiedades del Disolvente No. 4.	15
Tabla 3. Variables Estadísticas de la Nafta Carga 1300.	15
Tabla 4. Variables Estadísticas del Disolvente No.4.	16
Tabla 5. Porcentaje de Error Relativo Implícito en las Correlaciones.	19
Tabla 6. Porcentaje de Error Relativo Implícito en las Correlaciones Ajustadas.	20
Tabla 7. Intervalo Óptimo de Operación para la Nafta Carga 1300.	22
Tabla 8. Intervalo Óptimo de Operación para la Nafta Carga 1301	22
Tabla 9. Propiedades Calculadas de Disolvente No.4 Producidas con Nafta Carga 1300.	22
Tabla 10. Propiedades Calculadas de Disolvente No.4 Producidas con Nafta Carga 1301.	23

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de Flujo del Proceso del Disolvente No.4.	5

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Prueba y Error del Modelo Paramétrico.	7
Gráfica 2. Curva de Destilación de La Nafta Carga a 1300	14
Gráfica 3. Curva de Destilación del Disolvente No.4	16
Gráfica 4. Correlación PIEVAR vs PIEVAR_Tr	17
Gráfica 5. Correlación 10VAR vs 10VAR_Tr	17
Gráfica 6. Correlación 50VAR vs 50VAR_Tr	18
Gráfica 7. Correlación 90VAR vs 90VAR_Tr	18
Gráfica 8. Correlación PS vs PS_Tr	18
Gráfica 9. Correlación CS vs CS_Tr	18
Gráfica 10. Correlación PDIVAR vs PDIVAR_Tr	18
Gráfica 11. Ajuste a la Correlación de Punto de Inflamación del Disolvente No.4	19
Gráfica 12. Correlación NB vs NB_Tr	21
Gráfica 13. PIE Calculado Vs. PIE Experimental.	24
Gráfica 14. 10VAR Calculado Vs. 10VAR Experimental.	24
Gráfica 15. 50VAR Calculado Vs. 50VAR Experimental.	24
Gráfica 16. 90VAR Calculado Vs. 90VAR Experimental.	24
Gráfica 17. PS Calculado Vs. PS Experimental.	24
Gráfica 18. PDIVAR Calculado Vs. PDIVAR Experimental.	24

Gráfica 19. CS Calculado Vs. CS Experimental.	25
Gráfica 20. KBVAR Calculado Vs. KBVAR Experimental.	25
Gráfica 21. DENSIDAD Calculado Vs. DENSIDAD Experimental.	25
Gráfica 22. GA Calculado Vs. GA Experimental.	25
Gráfica 23. IDRVAR Calculado Vs. IDRVAR Experimental.	29

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Sub-Rutina de Utilización de Grace98 y Personal 97.xls.	29
ANEXO B. Variación en el Tiempo de las Propiedades del Disolvente No.4 Producido en el GBC a Partir de la Nafta Carga 1300.	31
ANEXO C. Diagrama de Flujo de la Planta de Aromáticos y la Unidad de Prefraccionamiento.	33

RESUMEN

TÍTULO: “DESARROLLO DE UN MODELO DE PREDICCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL DISOLVENTE No.4 PRODUCIDO EN EL GCB CON BASE EN LA CALIDAD DE LAS NAFTAS PROCESADAS.*

AUTORES: JAIVER EFRÉN JAIMES FIGUEROA.
MIGUEL ANTONIO SUÁREZ JAIMES.**

PALABRAS CLAVE: Nafta, disolvente no.4, correlaciones, curva de destilación, número de bromo, kauri-butanol, punto de inflamación, color Saybolt, densidad.

DESCRIPCIÓN:

Debido a la incidencia que tiene la naturaleza de las naftas de alimento, sobre el proceso de obtención del Disolvente No.4 y los parámetros de calidad de éste, el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) conjuntamente con la Universidad Industrial de Santander (UIS), decidió emprender una investigación, en la cual se estudiará la dependencia existente entre la curva destilación de las naftas y las propiedades del Disolvente No.4, mas influyentes en la fabricación de resinas.

Se emplearon herramientas computacionales para determinar un modelo matemático, en el cual conocidas las propiedades de la curva de destilación de la nafta alimentada al proceso, predijera los valores de las propiedades del Disolvente No.4. Una vez construido el modelo se realizaron graficas de las propiedades del Disolvente No.4 en función de la curva de destilación, en las que se corroboró la existencia de una dependencia, entre dichas propiedades.

Con ayuda del modelo matemático se logró determinar el intervalo óptimo para la curva de destilación de la nafta de alimento que produjera un Disolvente No.4 dentro de los parámetros establecidos por los clientes de Ecopetrol S.A.

Por último se realizaron pruebas en plantas piloto para evaluar la exactitud del modelo de predicción, alimentando naftas de diferente naturaleza, pero dentro del intervalo óptimo encontrado y analizando las propiedades del Disolvente No.4 producido, para luego comparar el valor predicho con el valor obtenido experimentalmente, cuantificando así el error relativo propio del modelo.

* Proyecto de grado

** FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICOQUÍMICAS, ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA

Director: Ramiro Martínez Rey, Co-Director: Edgar Francisco Pantoja Agreda. Instituto Colombiano del Petróleo

ABSTRACT

TITLE: “DEVELOPMENT OF A MODEL FOR THE PREDICTION OF PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF SOLVENT No.4 PRODUCED IN THE GCB IN BASED OF THE QUALITY OF THE PROCESSED NAPHTHAS”*

AUTHORS: JAIVER EFRÉN JAIMES FIGUEROA.
MIGUEL ANTONIO SUÁREZ JAIMES**.

KEYS WORDS: Naphtha, solvent No.4, correlations, curves of distillation, bromine number, kauri-butanol, inflammation point, Saybolt color, density.

DESCRIPTION:

Due to the influence that Naphtha composition in the feed stream has on the production of Solvent No.4 and the parameters of its quality, the Colombian Institute of Petroleum (ICP) decided to develop a joint investigation with the Industrial University of Santander (UIS) which would study the existing dependency between the distillation curve of Naphtha and the properties of Solvent No.4 that are most influential on resin fabrication.

Computational tools were used to create a mathematical model, which knowing the properties of the distillation curve of the Naphtha fed to the process, could predict the properties of Solvent No.4. Once the model was constructed, graphics were produced showing the properties of Solvent No. 4 as a function of the distillation curve of the Naphtha. These graphics provide corroboration for the existence of a dependency between the said properties.

Using this mathematical model, it was possible to determine an optimum interval in the curve of distillation of Naphtha to produce Solvent No. 4 with the specifications requested by the clients of Ecopetrol S.A.

In the end of the study, various tests in a pilot plant were performed in order to evaluate the accuracy of the prediction model. In those experiments, Naphtha with varying compositions within the optimum interval was fed to the process. The Solvent No.4 obtained from these tests was analyzed to compare its properties with those predicted by the model, thus quantifying the inherent relative error of the model.

* UNDERGRADUATE WORK

** FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS, ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
Director: Ramiro Martínez Rey, Co-Director: Edgar Francisco Pantoja Agreda. Instituto Colombiano del Petróleo

INTRODUCCIÓN

El Disolvente No.4 es producido en las plantas de aromáticos y especialidades ubicadas en la Gerencia Complejo Barrancabermeja (GCB) a partir de destilados de crudos nafténicos, parafínicos y mezcla variable de las dos anteriores.

Por la constante variación que se ha presentado en la calidad del Disolvente No.4 y debido a la incidencia de este Disolvente sobre las propiedades finales de los productos elaborados por los principales compradores, y el desarrollo de procesos de homologación de los productos de estas industrias en otros países, Ecopetrol S.A decidió emprender un proceso de mejoramiento de las especificaciones de calidad del Disolvente No.4 de modo que correspondan a las necesidades propias de Ecopetrol S.A y de sus clientes.

Se parte de que existe, una marcada relación entre las propiedades de las naftas y algunas de las propiedades del Disolvente No.4, entre las más importantes la curva de destilación, poder de solvencia, color, número de bromo, índice de refracción, punto de inflamación, entre otras; por lo tanto, se buscaron modelos matemáticos de correlación que predijeran las propiedades del Disolvente No.4, conociendo la caracterización de las naftas de carga al proceso; para esto se utilizaron programas que permitieron estudiar variables estadísticas de gran relevancia como lo fueron la desviación estándar, varianza, coeficientes de correlación, entre otras.

Como resultado se pudo establecer un rango de valores para las propiedades de las naftas que garantizaran un Disolvente No.4 entre las especificaciones señaladas tanto para Ecopetrol S.A como para sus clientes.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Nafta

La nafta es una mezcla de hidrocarburos, producto de la destilación del petróleo crudo, obtenidos en la parte superior de la torre de destilación atmosférica. Es un producto líquido, incoloro o de coloración variable, con propiedades entre gasolina y keroseno. Apenas es soluble en agua y es más ligero que ella, formando una mancha flotante en la superficie. La inflamabilidad puede variar ampliamente (21-100°C). Los vapores pueden ser más pesados que el aire, acumularse y persistir en áreas bajas y desplazarse a alguna distancia hasta una fuente de ignición e inflamarse [7]. No reacciona con el agua ni con otros materiales comunes y es estable en el transporte normal. Es incompatible con oxidantes fuertes y puede atacar algunos tipos de plásticos, gomas y revestimientos. Posee una toxicidad baja-moderada, puede contener en ocasiones fracciones de benceno tóxico.

Generalmente se producen dos tipos de naftas: liviana y pesada, en las cuales ambas se diferencian en el rango de destilación, el cual después es utilizado para la producción de diferentes tipos de productos.

1.1.1 Curva de Destilación

Una fracción petrolífera cualquiera está compuesta por numerosos tipos de hidrocarburos diferentes. Estos tienen una característica común: la de tener unos puntos de ebullición comprendidos entre unos determinados valores. Esto último es debido a que dicha fracción es recogida a una determinada altura en una columna de rectificación, por lo que dicha fracción tendrá una composición y un punto de ebullición diferente según sea recogida. La curva de destilación es una propiedad característica de los diferentes combustibles que para los derivados del petróleo se calcula mediante la norma ASTM D 86 (destilación productos de petróleo). Los puntos de ebullición de gasolinas, naftas y querosenos son

diferentes, siendo también diferentes las curvas de destilación correspondientes, que bajo unas condiciones estandarizadas pueden servir para caracterizar el producto [5].

Dentro de la curva de destilación de las naftas se tienen puntos característicos que se tienen que definir previamente:

Punto Inicial de Ebullición: Es la temperatura en la cual, el líquido inicia su ebullición.

Punto Final de Ebullición: Es la máxima temperatura alcanzada en el termómetro durante el ensayo, la cual se alcanza frecuentemente, después de la evaporación de todo el líquido del fondo del matraz.

Punto Seco: Es la última lectura del termómetro observada en el instante en que la última gota de líquido se evapora del fondo del matraz. Se desprecian las gotas que pudieran quedar en las paredes. Suele coincidir con el punto final.

Porcentaje Recuperado: Es el volumen en mililitros, del líquido condensado que se recoge en la probeta colectora correspondiente a una determinada lectura simultánea del termómetro.

Porcentaje de Recuperación: Es el máximo volumen recogido en la probeta.

Porcentaje de Recuperación Total: Es la suma del porcentaje de recuperación y el residuo del matraz.

Porcentaje de Residuo: El volumen de residuo en ml medido directamente.

Porcentaje de Pérdida: Es igual a cien menos el porcentaje de recuperación total.

1.2 Disolvente No.4

El disolvente No.4 es una mezcla de hidrocarburos alifáticos saturados y alicíclicos de C7 a C12 con un máximo de 25% de hidrocarburos alquil-aromáticos de C7 a C12. Existen tres tipos diferentes y tres calidades diferentes de Disolvente No.4, el tipo se refiere a si el disolvente ha sido sometido a una hidrosulfuración (tipo uno), si es solvente para extracción (tipo dos), o si es sometido a hidrogenación

(tipo tres). Cada tipo comprende tres calidades diferentes: la calidad baja, calidad regular y calidad alta. La calidad es determinada por el crudo usado como material de alimento y las condiciones de destilación.

Es también conocido con otros nombres a nivel internacional: lacknafta (Sweden); Mineral spirit, mineral Turpentine, stoddard solvent, terpentina, varsol, White spirit.

El Disolvente No.4 es usado como un solvente de extracción, como solvente de limpieza, solvente en aerosoles y pinturas, en la fabricación de lacas, barnices y productos asfaltados. En la Unión Europea cerca del 60% de Disolvente No.4, es usado en lacas, pinturas y barnices. El Disolvente No.4 es el solvente más usado en la industria de pinturas.

1.2.1 Propiedades del Disolvente No.4

Punto de inflamación: Es la temperatura más baja a la cual se inflama espontáneamente los vapores que se desprenden de los productos derivados del petróleo cuando se les aplica una pequeña llama bajo determinadas condiciones de prueba. El punto de inflamación varía inversamente con la volatilidad del combustible; se determina mediante la norma ASTM D 56-02.

Número de Bromo: Es un indicativo de compuestos insaturados presentes en una muestra; esta propiedad presenta una variabilidad con respecto al tiempo, se puede observar en general que el número de bromo de una muestra disminuye con el paso del tiempo es decir que la concentración de compuestos insaturados en la misma se reduce lo cual sugiere que las especies olefinicas se están polimerizando, sus unidades son gr de Br₂ en cada 100gr de muestra analizada y se halla mediante la norma ASTM D 1159-01 [3].

Kauri-Butanol: El valor de kauri-butanol es el que representa el poder de solvencia del Disolvente No.4 (u otro disolvente). Es un valor adimensional y se puede hallar por medio de la norma ASTM D 1133. Si éste valor es mayor, indica mayor capacidad de disolución y su escala es fijada frente al tolueno al cual se le asignó el valor de 105, pero para disolventes alifáticos el patrón es la mezcla 75% n-heptano y 25% tolueno el cual posee un valor de 40 [6].

Color Saybolt: Es una medida del color contra patrones existentes. Determina la contaminación con productos negros (asfaltenos, asfaltos, aceites usados, etc) y el envejecimiento del producto por polimerización [4]; ésta es determinada por la norma ASTM D 156-00.

Densidad: se mide usando la norma ASTM D 1298-99.

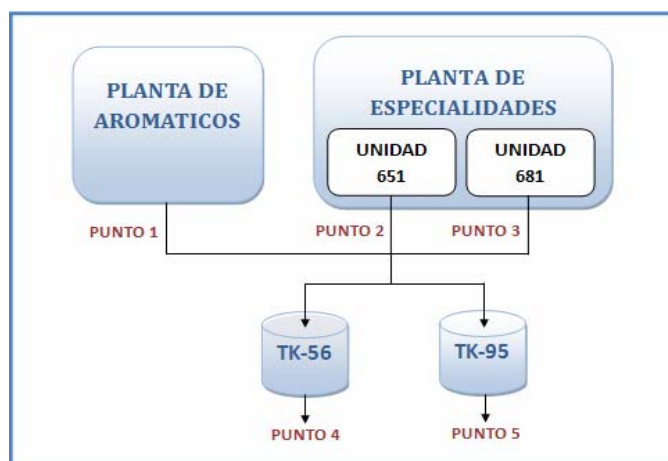
Índice de Refracción: se mide usando la norma ASTM D 1218-00.

1.3 Proceso de Obtención del Disolvente No.4

El Disolvente No.4 es obtenido en el GCB, a partir de naftas procedentes de diferentes tipos de crudos (provenientes de diversas zonas del país), las cuales son agrupadas en dos grandes corrientes: la nafta carga 1300 y la nafta carga 1301, éstas se diferencian principalmente, por su rango de destilación.

Las naftas son alimentadas a dos plantas diferentes: la planta de Aromáticos y la planta de Especialidades, el Disolvente No.4 obtenido de éstas es mezclado y enviado a los tanques de almacenamiento y distribución TK-56 y TK-95 (ver Figura 1).

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de obtención del Disolvente No. 4.



El Disolvente No.4 debido a su variabilidad con respecto al alimento que lo produce y las diferentes formas de operación de la planta; puede ser producido

con un alto rango en sus propiedades, por lo que es necesario establecer un intervalo en el cual las propiedades sean aceptables tanto para Ecopetrol S.A como para sus clientes, asegurando así que éstos últimos reciban siempre un Disolvente No.4 con las mismas especificaciones (ver Tabla 1).

Tabla 1. Especificaciones del Disolvente No.4.

PROPIEDADES	ECOPETROL		PROPUESTA DE LOS CLIENTES	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Rango de destilación (°C)				
Punto Inicial de Ebullición	143.3		145	
10% recobrado				Reportar
50% recobrado		187.8		Reportar
90% recobrado				Reportar
Punto Seco		215.6	195	210
Punto de Inflamación (°C)	32.2			
Valor Kauri-Butanol	29	45	36	39
Índice de Refracción			1.4350	1.4410
Color Saybolt	+21		+26	
Número de Bromo		5		0.15
Gravedad Específica	Reportar		Reportar	

1.3.1 Planta de Aromáticos

El objetivo de esta planta es producir aromáticos de alta pureza, mediante la transformación de la Nafta Virgen de bajo octanaje, en una serie de productos y subproductos de tipo aromático y no aromático respectivamente.

Sus unidades de proceso son: procesos catalíticos (Unifining, Platforming y hidrar), proceso de extracción líquido-líquido (Sulfolane), proceso de hidrodealquilación Térmica (Hydeal), proceso de fraccionamiento de aromáticos.

Los productos son benceno, tolueno, xilenos mezclados, ortoxileno, ciclohexano, **Disolvente No.4**, virginoil y aromáticos pesados [2] (ver Anexo C).

Para nuestro estudio la unidad más importante de aromáticos es la de pre fraccionamiento, la cual se encarga de: realizar un corte a la nafta de rango de ebullición 49-204°C a 82-149°C, retirar los livianos menores de 6 carbonos y los pesados mayores de 9 carbonos, ya que los precursores de los aromáticos son los C6, C7 y C8, además de producir **Disolvente No.4**,[2] (ver Anexo C).

1.3.2 Planta de Especialidades

Por razones de confidencialidad de la Gerencia Complejo de Barrancabermeja, no se permite la publicación del diagrama de flujo, ni de las condiciones de operación de ésta planta.

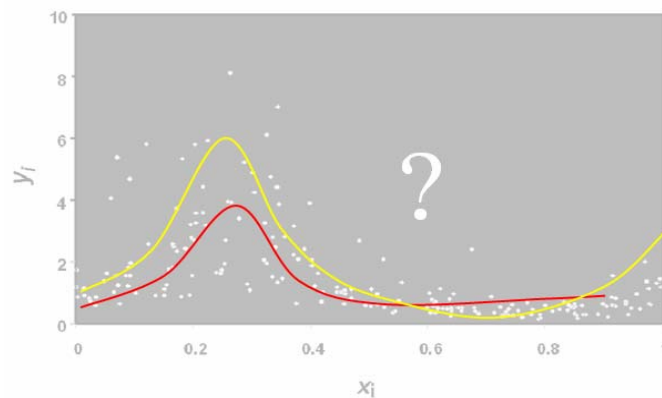
1.4 Modelos Computacionales

Los modelos computacionales para predecir variables, en su mayoría se basan en la regresión múltiple; donde una variable de salida o dependiente (y) puede ser determinada conociendo una o varias variables de entrada (x_n).

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Estos modelos pueden ser de dos tipos:

Paramétricos: para este tipo se necesita conocer relaciones funcionales entre variables dependientes e independientes; se llega a la correlación por métodos de prueba y error, lo que conlleva a un gran consumo de tiempo en la exploración de formas de relaciones funcionales, además la regresión múltiple convencional a menudo produce pobres resultados, debido a que pueden existir muchas correlaciones que cumplen con la misma tendencia de los datos, curva roja o curva amarilla (ver Gráfica 1), lo cual obliga a tener otros criterios de selección, que permitan establecer la correlación de “mejor” tendencia.



Gráfica 1. Prueba y Error del Modelo Paramétrico.

No Paramétricos: para éstos modelos no se tienen relaciones funcionales preliminares, se trabaja a partir de los datos; el procedimiento es iterativo para la minimización del error; su gran ventaja es la eficiencia computacional y facilidad en su manejo; se puede usar análisis bivariado o multivariado y su principal funcionalidad es maximizar la correlación en espacio transformado buscando con esto el óptimo intervalo de (x) para obtener buenos valores del dato esperado (y).

1.4.1 StatisticXL

Es un poderoso paquete de análisis de datos que se ejecuta como un complemento a las versiones Microsoft Excel de Windows. Ha sido completamente diseñado y escrito con el fin de satisfacer las exigentes necesidades de cualquiera, que requiera el acceso a un robusto y versátil paquete de análisis estadístico que es rápido de aprender y fácil de usar. Con la riqueza de sus características, Excel proporciona un ambiente ideal para la entrada de datos, la manipulación y el cálculo, gracias al aprovechamiento de este ambiente familiar, extiende este conjunto de características de alta potencia, para abarcar el análisis estadístico sin la necesidad de aprender a utilizar una nueva aplicación desde cero. Los datos almacenados en hojas de cálculo existentes, pueden ser sometidos inmediatamente a una amplia gama de pruebas estadísticas.

Grace 98

El programa Grace genera una correlación óptima entre una variable dependiente Y y las variables independientes múltiples $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$. Es importante que estas variables sean realmente independientes entre sí, ya que de lo contrario causaría errores en las correlaciones. Grace es un modelo de correlación no paramétrico; éste toma los datos de cada una de las variables independientes X_n y basándose en ellos crea unas nuevas variables que llama transformada de X_n (X_{n_Tr}); las cuales son aquellas que se encuentran en un intervalo óptimo para obtener buenas aproximaciones de la variable dependiente Y. De nuevo crea otra

variable, que es la suma de las variables independientes transformadas (Y_{i_Tr}), con la cual se calcula el valor real de la variable dependiente Y_i . Es importante aclarar que Grace trabaja con todas las variables llevadas a la escala de un orden de 10^5 [1].

1.4.2 Personal97.xls

Es una macro de Excel, que permite tomar archivos generados por Grace donde se encuentran las transformadas de las variables independientes (X_{n_Tr}) y la sumatoria de estas (Y_{i_Tr}), éste procede a graficar la variable independiente (X_n) versus su transformada (X_{n_Tr}) y hallar la correlación polinomial que más se ajuste, generalmente son polinomios de grado bajo; éste procedimiento se realiza para cada una de las n variables independientes y también para la variable Y_{i_Tr} versus la variable dependiente Y_i ; para así lograr la correlación de las variables independientes X_n con la variable dependiente Y_i .

2. METODOLOGÍA

Se inició de una revisión bibliográfica, y un reconocimiento de:

- Las unidades implicadas en el proceso de producción Disolvente No.4 (planta de Especialidades y de Aromáticos), sus formas de operar, equipos involucrados, caracterización del alimento utilizado, sus variedades y las posibilidades de cambiarlo.
- Los nuevos requerimientos deseados por Ecopetrol S.A y sus clientes; entre ellos los rangos de aceptabilidad de las propiedades del Disolvente No.4 y los valores con los cuales se está distribuyendo actualmente.
- Las posibles maneras de: manipular las características del Disolvente No.4, cambio de la forma de operación, cambio de los rangos de destilación y variabilidad en la procedencia del alimento (naftas de diferente naturaleza).

Se accedió a la base de datos de Ecopetrol S.A (CDLab); en ella se hallaron registradas las propiedades que normalmente se miden en las diferentes corrientes de proceso. De allí se extrajeron los datos correspondientes al periodo comprendido entre Enero del 2005 hasta Octubre del 2007, tomadas tres veces al día (8 am, 2 pm y 8 pm).

Para las corrientes de nafta carga 1300 y 1301 alimentadas a las plantas de aromáticos y de especialidades, se tomó los valores de la curva de destilación: punto inicial de ebullición (PIENAF), 1% evaporado (1NAF), 5% evaporado (5NAF), 10% evaporado (10NAF), 50% evaporado (50NAF), 90% evaporado (90NAF), 95% evaporado (95NAF), y punto final de ebullición (PFENAF), como variables independientes del proceso. Sumando todos los registros se obtuvieron 183.360 datos.

Para las corrientes del Disolvente No.4 y los tanques de almacenamiento y distribución de éste (TK-56 y TK-95) se tomó la curva de destilación: punto inicial de ebullición (PIEVAR), 10% recobrado (10VAR), 50% recobrado (50VAR), 90%

recobrado (90VAR) y punto seco (PS), además de los registros de otras propiedades como: color Saybolt (CS), punto de inflamación (PDIVAR), índice de refracción (IDRVAR), kauri-butanol (KBVAR), número de bromo (NB), densidad (DENSIDAD) y gravedad API (GA), como variables dependientes del proceso. Para las corrientes del Disolvente No.4 y de los tanques de almacenamiento y distribución, se contó con un total de 258.360 datos.

Una vez disponibles los 441.720 datos en total, se procedió a ubicar cinco puntos estratégicos de obtención del Disolvente No.4 en el proceso; los cuales fueron: punto 1) salida de la planta de aromáticos, punto 2) salida de la planta de especialidades (unidad 651), punto 3) salida de la planta de especialidades (unidad 681), punto 4) salida del tanque de almacenamiento TK-56, punto 5) salida del tanque de almacenamiento TK-95 (ver Figura 1).

Después de determinar los puntos ya mencionados, se procedió a establecer una relación (en el mismo tiempo) entre las propiedades de la corriente de nafta carga (variables independientes) y las propiedades del Disolvente No.4 (variables dependientes), en cada uno de ellos. La relación que se estableció entre las propiedades de las corrientes de entrada y salida al proceso, tuvo el siguiente procedimiento:

- Se emparejaron todas las variables independientes con una de las variables dependientes; en el primero de los cinco puntos, tomados el mismo día y a la misma hora, por ejemplo: *la curva de destilación de la nafta carga 1300* el 4 de febrero del 2006 a las 2:00 pm, con *el punto inicial de ebullición del Disolvente No.4* a la salida de la planta el 4 de febrero del 2006 a las 2:00 pm.
- ✓ Se repitió este procedimiento hasta aparear todas las propiedades de la nafta carga 1300 con cada una de las propiedades del Disolvente No.4, en el primer punto.

- Una vez completo el emparejamiento en el primer punto (salida de la planta de Aromáticos), se repitió lo inmediatamente anterior, en cada uno de los cuatro puntos restantes.
- Teniendo en cuenta que la nafta alimentada al proceso no siempre es la misma, se repitió el procedimiento anterior, para la alimentación con nafta carga 1301.
- Además se hizo la eliminación de algunos datos, debido a que presentaban desvíos incoherentes con respecto a la media.

Una vez relacionados los datos, se procedió a determinar la correlación existente entre ellos, para lo cual se empleó conjuntamente Grace 98 y Personal97.xls, para obtener 315 correlaciones correspondientes a la corriente de nafta carga 1300 y 315 correlaciones para la corriente nafta carga 1301.

Conocidas las correlaciones se procedió a determinar el error relativo que se produjo entre los valores predichos por éstas y los valores reales (obtenidos de la base de datos CDLab). Utilizando la herramienta Solver de Microsoft Office Excel, se mejoró el coeficiente de correlación determinado por Personal97.xls, en cada una de las 630 correlaciones; usando como función objetivo el porcentaje de error relativo.

Con la obtención de las correlaciones y su error minimizado, se elaboró dos hojas de cálculo en Microsoft Office Excel, una de las cuales requiere, como dato de entrada, la caracterización de la curva de destilación de la nafta carga 1300 y la otra, la curva de destilación de la nafta carga 1301. Éstas hojas de cálculo devuelven la predicción de las propiedades del Disolvente No 4 en cada uno de los cinco puntos de obtención en el proceso, con su respectivo porcentaje de error relativo.

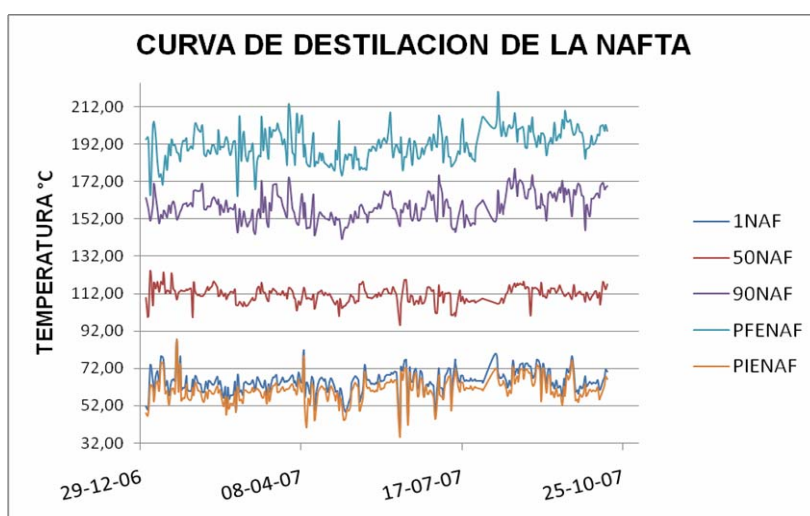
Con ayuda de las hojas de cálculo, se realizó una prueba y error, en la cual se tomó como punto de partida el valor promedio de los datos correspondientes a la curva de destilación de la nafta carga (nafta carga 1300 y nafta carga 1301) y tomando un 5% como porcentaje de incremento y decremento sobre cada propiedad. Para cada una de las iteraciones, se determinó y se comparó los valores de las propiedades del Disolvente No. 4 con los requerimientos establecidos, encontrando así el intervalo de valores de la curva de destilación, con los cuales se garantizó que el Disolvente No. 4 esté dentro de los parámetros establecidos por los clientes de Ecopetrol S.A (ver Tabla 1).

Por último se realizó en el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), pruebas en plantas piloto, en las cuales se alimentaron naftas con características dentro del intervalo encontrado, para comprobar la efectividad del modelo de predicción de propiedades fisicoquímicas del Disolvente No.4, producido en el GCB con base en la calidad de las naftas procesadas.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Variabilidad en las Propiedades.

Los datos de las propiedades correspondientes a la curva de destilación de la nafta de alimento al proceso, se graficaron en función del tiempo (ver Gráfica 2).



Gráfica 2. Curva de Destilación de la Nafta Carga 1300

Como se puede apreciar en la gráfica anterior, existe una gran variabilidad a través del tiempo en cada una de las propiedades de la curva destilación; esto se debe a que la naturaleza química de las naftas agrupadas en la corriente nafta carga 1300 no es la misma. Sin embargo es notable que existen intervalos característicos para cada una de ellas, en los cuales se presentan casos eventuales en los que algunos valores de las propiedades salen de dicho intervalo, debido a posibles errores en la medición del dato o en su registro; por lo tanto se eliminaron bajo éste criterio.

Hecha la eliminación de los casos eventuales en cada una de las propiedades y con ayuda de StatisticXL, se construyó una tabla de coeficientes de correlación (ver Tabla 2), para determinar el grado de relación existente entre las variables independientes del proceso, es decir en la curva de destilación de la nafta carga

1300 y ésta arrojó como resultado un coeficiente de correlación de 0.940 para las propiedades de 5% evaporado y 10% evaporado y de 0.966 para 90% evaporado y 95% evaporado (ver Tabla 2), valores muy cercanos a la unidad, teniendo en cuenta éste parámetro se escogieron, las propiedades 5% evaporado y 90% evaporado como representantes de las otras dos, evitando así posibles errores sistemáticos en el cálculo de las propiedades del Disolvente No.4.

Tabla 2. Matriz de Coeficientes de Correlación Entre las Propiedades de la Nafta.

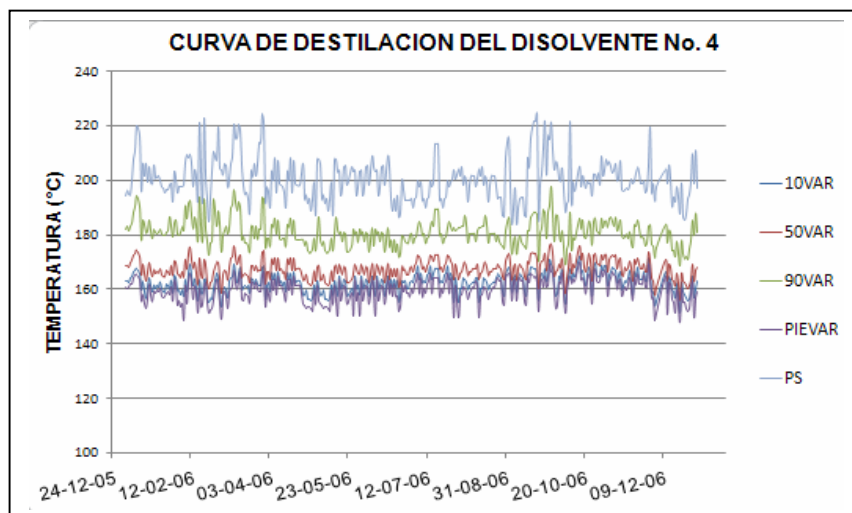
MATRIZ DE CORRELACION (R)								
	1NAF	5NAF	10NAF	50NAF	90NAF	95NAF	PIENAF	PIENAF
1% EVAPORADO	1,000	0,725	0,726	0,202	0,228	0,174	0,775	0,263
5% EVAPORADO	0,725	1,000	0,940	0,448	0,312	0,217	0,751	0,293
10% EVAPORADO	0,726	0,940	1,000	0,634	0,473	0,366	0,730	0,366
50% EVAPORADO	0,202	0,448	0,634	1,000	0,791	0,679	0,222	0,478
90% EVAPORADO	0,228	0,312	0,473	0,791	1,000	0,966	0,231	0,852
95% EVAPORADO	0,174	0,217	0,366	0,679	0,966	1,000	0,221	0,884
PUNTO INICIAL DE EBULLICION	0,775	0,751	0,730	0,222	0,231	0,221	1,000	0,279
PUNTO FINAL DE EBULLICION	0,263	0,293	0,366	0,478	0,852	0,884	0,279	1,000

Asimismo se calculó el valor máximo y el valor mínimo, para cada una de las propiedades de la curva de destilación, además de: el valor promedio, la varianza y la desviación estándar. Esta última tuvo como valor máximo 4.96 (ver Tabla 3), reportada para la propiedad PFENAF (punto final de ebullición), el cual es muy bajo, teniendo en cuenta que los datos representan temperaturas. (ver Tabla 3).

Tabla 3. Variables Estadísticas de la Nafta Carga 1300.

	1NAF	5NAF	50NAF	90NAF	PIENAF	PFENAF
MINIMO	48,70	59,50	100,90	151,60	45,20	179,60
MAXIMO	76,80	86,10	123,60	169,30	69,40	207,40
PROMEDIO	62,78	75,37	114,40	160,62	57,69	191,91
DESVIACION EST	4,56	4,65	4,16	3,36	4,05	4,96
VARIANZA	20,80	21,61	17,28	11,28	16,44	24,61

De igual forma se graficó y analizó el conjunto de datos de las propiedades del Disolvente No.4 (ver Gráfica 3) producido en el punto uno del proceso, analizados bajo los mismos parámetros de la nafta carga 1300.



Gráfica 3. Curva de Destilación del Disolvente No.4

Las propiedades del Disolvente No.4, oscilan de forma similar a las propiedades de la nafta, lo que demuestra una dependencia entre las variables de entrada y salida del proceso.

Por otro lado se obtuvo los intervalos en los cuales se encuentran las propiedades del Disolvente No.4, así como otras variables estadísticas necesarias en cálculos posteriores (ver Tabla 4).

Tabla 4. Variables Estadísticas del Disolvente No.4.

	10VAR	50VAR	90VAR	PIEVAR	PDIVAR	CS	PS
MÍNIMO	151,2	156,1	168,5	147,9	33,9	19	184
MÁXIMO	171,9	176,5	197,6	169,9	47,2	30	224,3
PROMEDIO	162,25	167,38	180,78	159,39	41,10	29,34	200,24
DESVIACIÓN EST	3,58	3,43	4,90	4,34	2,28	2,00	7,89
VARIANZA	12,84	11,76	24,00	18,82	5,18	4,01	62,20

El comportamiento a través del tiempo de las propiedades: color Saybolt , punto de inflamación, índice de refracción, kauri-butanol, número de bromo, densidad y

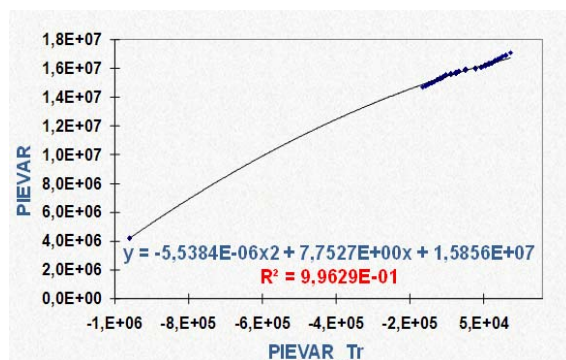
gravedad API, presentan también un intervalo de variación, consecuencia también de la naturaleza variante de las naftas agrupadas en la corriente de alimento al proceso (ver Anexo B).

Los análisis anteriores así como: gráficas y tablas, se repitieron para los cuatro puntos restantes en el proceso de obtención del Disolvente No.4, y luego se hizo todo por duplicado, pero usando como alimento la carga nafta 1301, obteniendo resultados muy similares, para los cuales es válido el análisis ya presentado.

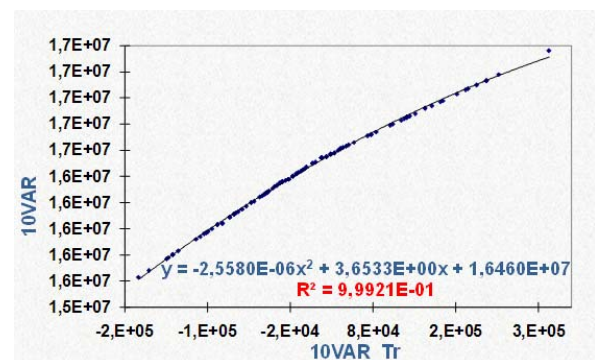
3.2 Correlaciones

Con los datos organizados e identificadas todas las variables de entrada y salida del proceso se obtuvieron las correlaciones que se muestran en las gráficas 4 a 10, las cuales corresponden a las propiedades de Disolvente No.4 en el punto uno del proceso (ver Figura 1), procedente de la nafta carga 1300.

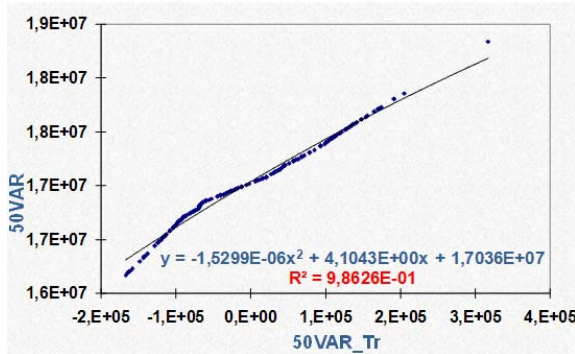
En las gráficas 5 a 11 se encuentran las líneas de tendencia que Personal97.xls encontró más apropiadas, así como los coeficientes de correlación entre las variables de salida del proceso y las sumatorias de las variables independientes transformadas (PIEVAR_Tr, 10VAR_Tr, 50VAR_Tr, 90VAR_Tr, PS_Tr, CS_Tr, PDIVAR_Tr).



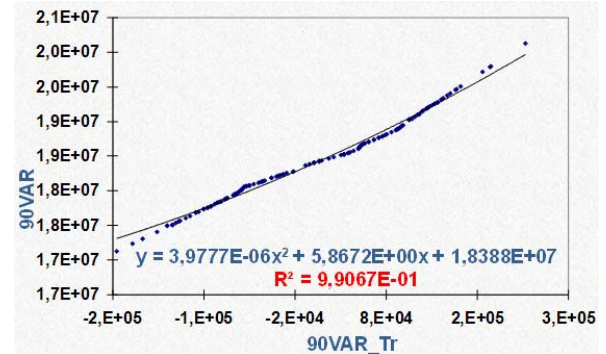
Gráfica 4-. Correlación PIEVAR vs
PIEVAR_Tr



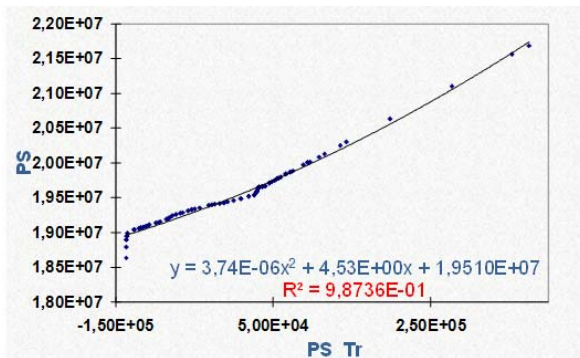
Gráfica 5. Correlación 10VAR vs
10VAR_Tr



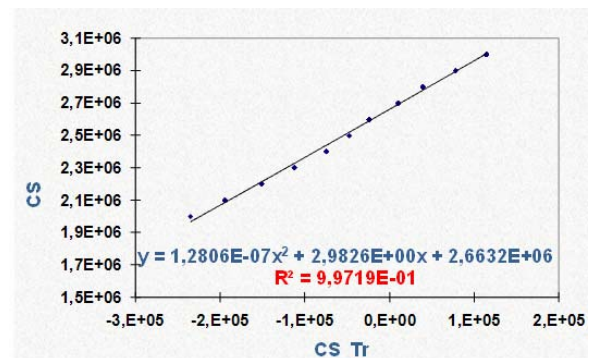
Gráfica 6. Correlación 50VAR vs 50VAR_Tr



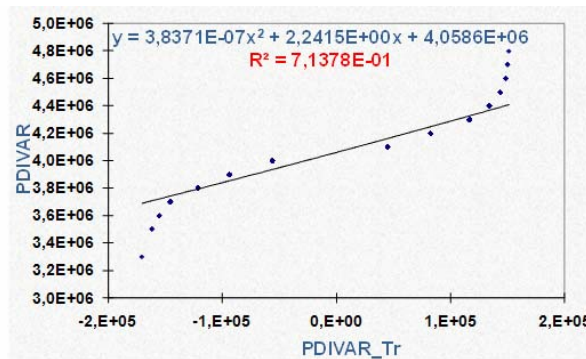
Gráfica 7. Correlación 90VAR vs 90VAR_Tr



Gráfica 8. Correlación PS vs PS_Tr



Gráfica 9. Correlación CS vs CS_Tr



Gráfica 10. Correlación PDIVAR vs PDIVAR_Tr

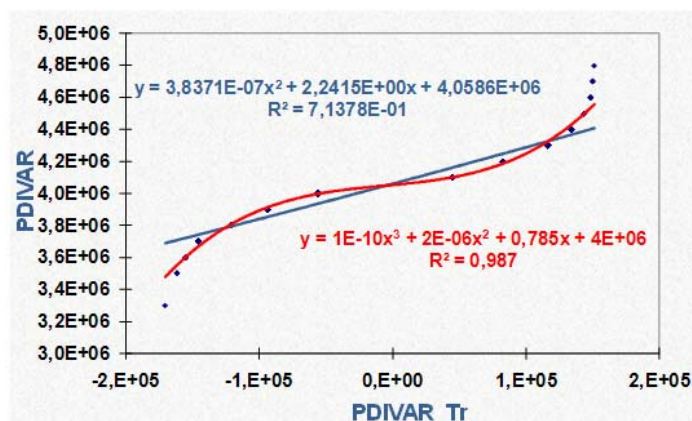
Para estos modelos matemáticos se encontró que el coeficiente de correlación en cada uno de ellos es muy cercano a la unidad, lo cual garantiza confiabilidad de los datos predichos, sin embargo estos modelos están sometidos a un error sistemático, el cual se calculó y tabuló para cada una de las propiedades (ver Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de Error Relativo Implícito en las Correlaciones.

PROPIEDADES DE DISOLVENTE No.4	% ERROR RELATIVO IMPLÍCITO EN LA CORRELACIÓN
PIE	1,839
10VAR	0,287
50VAR	1,328
90VAR	1,572
PS	2,939
PDIVAR	4,484
CS	4,446

Una vez cuantificado el porcentaje de error relativo, se ajustaron algunas de las líneas de tendencia, aproximándolas a un polinomio de tercer grado, el cual es mayor que el predicho por Personal97.xls, lo que garantizó que el coeficiente de correlación fuera aun más cercano a la unidad y de esta manera disminuyó el porcentaje de error relativo.

A continuación se muestra el caso de la predicción del punto de inflamación del Disolvente No.4 (Gráfica 11); donde la curva azul representa la tendencia propuesta por Personal97.xls, correspondiente a un polinomio de grado dos, con un coeficiente de correlación de 0.714 y por otra parte la curva roja representa la tendencia mejorada por Solver, la cual corresponde a un polinomio de tercer grado, con coeficiente de correlación de 0.987.



Gráfica 11. Ajuste a la Correlación de Punto de Inflamación del Disolvente No.4

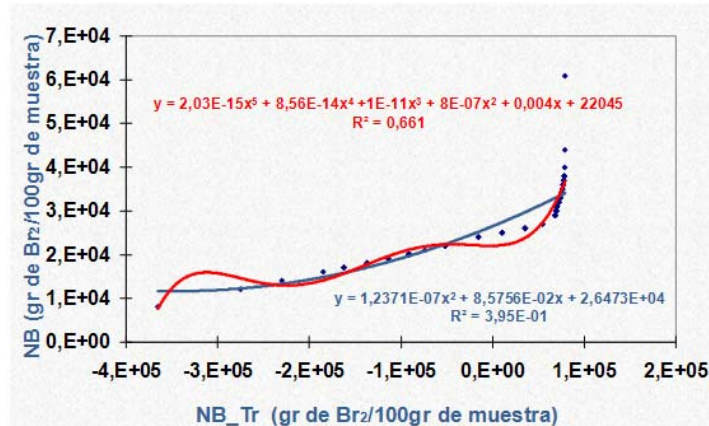
El mismo ajuste, se aplicó a las otras propiedades del Disolvente No.4, con lo que se logró disminuir el error en la predicción (ver Tabla 6).

Tabla 6. Porcentaje de Error Relativo Implícito en las Correlaciones Ajustadas.

PROPIEDADES DE DISOLVENTE No.4	% ERROR RELATIVO IMPLÍCITO EN LA CORRELACIÓN
PIE	0,980
10VAR	0,200
50VAR	0,975
90VAR	0,802
PS	1,963
PDIVAR	3,920
CS	3,521

Los análisis anteriores así como gráficas y tablas, se repitieron para los cuatro puntos restantes en el proceso de obtención del Disolvente No.4, y luego se hizo todo por duplicado, pero usando como alimento la carga nafta 1301, obteniendo resultados muy similares, para los cuales el análisis es muy parecido al ya presentado.

La propiedad número de Bromo (solamente medida en los tanques de almacenamiento) fue la única de las propiedades que no mostró dependencia alguna con las propiedades de entrada al proceso, como lo corrobora la gráfica 12, donde se observa un coeficiente de correlación de 0.395 (curva azul), el cual es bajo; esto debido a que el tiempo de residencia en los tanques de almacenamiento y distribución no siempre es el mismo, con lo cual las especies olefinicas presentes en el Disolvente No.4 empiezan a polimerizarse, esto hace necesario tener en cuenta el tiempo de residencia como variable independiente en la predicción de esta propiedad. Sin embargo se realizó el ajuste con Solver incrementando el coeficiente de correlación, de la nueva curva de tendencia (curva roja), hasta un máximo de 0.661, correspondiente a un polinomio de grado cinco. Aunque el coeficiente de correlación mejoró notablemente, no garantiza exactitud en la predicción de ésta propiedad con base en la curva de destilación de la nafta de carga al proceso.



Gráfica 12. Correlación NB vs NB_Tr

3.3 Hoja de Cálculo para la Predicción de las Propiedades del Disolvente No.4.

Una vez obtenidas todas las correlaciones, con su correspondiente ajuste se realizó dos hojas de cálculo (una con nafta carga 1300 y la otra con nafta carga 1301), para la predicción del valor de las propiedades en cada uno de los cinco puntos de obtención del Disolvente No.4.

El cálculo de las propiedades que realizan éstas hojas de cálculo, está supeditado para los valores de entrada que estén dentro del rango de variabilidad (valor máximo-valor mínimo), característico de la naturaleza de las naftas agrupadas en la corriente de carga al proceso (ver Tabla 3).

Se usó como única herramienta las hojas de cálculo, para la determinación de los intervalos en los que se encuentran las propiedades de la curva de destilación de las naftas de carga al proceso, que garanticen la calidad de Disolvente No.4 dentro de las especificaciones hechas por los clientes de Ecopetrol S.A (ver Tabla 1), estos intervalos están reportados en las tablas 7 y 8.

Tabla 7. Intervalo óptimo de operación para la nafta carga 1300.

	PIENAF	1NAF	5NAF	50NAF	90NAF	PFENAF
LÍMITE INFERIOR	52,10	56,79	65,43	99,36	140,81	169,23
LÍMITE SUPERIOR	53,72	58,83	68,24	105,23	150,41	181,39

Tabla 8. Intervalo óptimo de operación para la nafta carga 1301.

	PIENAF	1NAF	5NAF	50NAF	90NAF	PFENAF
LÍMITE INFERIOR	49,28	53,97	62,61	96,54	137,99	166,41
LÍMITE SUPERIOR	65,32	71,54	82,99	127,97	182,91	220,59

Como se puede apreciar en las tablas anteriores, el rango óptimo para la nafta carga 1300 es muy pequeño, haciendo que sea muy difícil su control en la alimentación y por lo tanto, también difícil la obtención del Disolvente No.4 con las especificaciones requeridas.

En las tablas a continuación se muestran los resultados, obtenidos con la hoja de cálculo, en los tanques de almacenamiento y distribución TK-56 y TK-95 correspondientes a una caracterización de nafta alimentada que está dentro del intervalo óptimo (ver tablas 9 y 10).

Tabla 9. Propiedades Calculadas de Disolvente No.4 Producido con Nafta Carga 1300

DISOLVENTE No. 4	TANQUE 56	TANQUE 95
P. INICIAL DE EBULLICIÓN (°C)	154,81	150,55
10% RECOBRADO (°C)	158,63	156,47
50% RECOBRADO (°C)	163,52	163,61
90% RECOBRADO (°C)	180,39	179,71
P. DE INFLAMACIÓN (°C)	42,45	39,14
PUNTO SECO (°C)	199,97	202,34
COLOR SAYBOLT	29,77	27,30
KAURI-BUTANOL	39,31	39,87
DENSIDAD A 15°C (kg/m ³)	786,70	789,09
GRAVEDAD API	46,55	48,38
NUMERO DE BROMO (gr de Br ₂ /100gr)	0,27	0,13
ÍNDICE DE REFRACCIÓN	1,39	1,44

Tabla 10. Propiedades Calculadas de Disolvente No.4 Producido con Nafta Carga 1301.

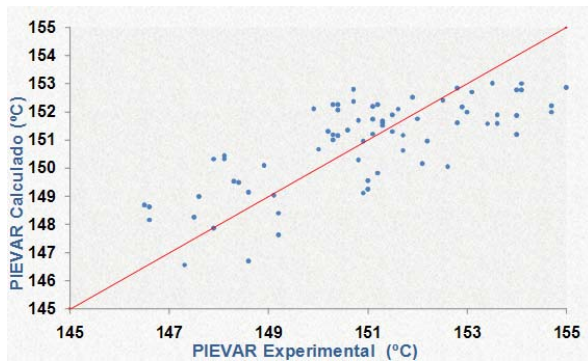
DISOLVENTE No. 4	TANQUE 56	TANQUE 95
P. INICIAL DE EBULLICIÓN (°C)	150,60	151,09
10% RECOBRADO (°C)	154,21	156,54
50% RECOBRADO (°C)	159,37	163,73
90% RECOBRADO (°C)	176,10	177,68
P. DE INFLAMACIÓN (°C)	37,43	38,65
PUNTO SECO (°C)	199,67	199,88
COLOR SAYBOLT	29,27	26,19
KAURI-BUTANOL	40,40	39,43
DENSIDAD A 15°C (kg/m ³)	790,23	788,01
GRAVEDAD API	48,38	48,02
NUMERO DE BROMO (gr de Br ₂ /100gr)	0,25	0,54
ÍNDICE DE REFRACCIÓN	1,44	1,47

Como se puede observar en la tablas, todos los valores de las propiedades de Disolvente No.4, tanto para la nafta carga 1300 como para la nafta carga 1301, caen entre los rangos de especificación propuestos por los clientes de Ecopetrol S.A (ver tabla 1) con excepción de la propiedad número de bromo que como ya se mencionó anteriormente, no tiene una dependencia con la curva de destilación de las naftas de alimento.

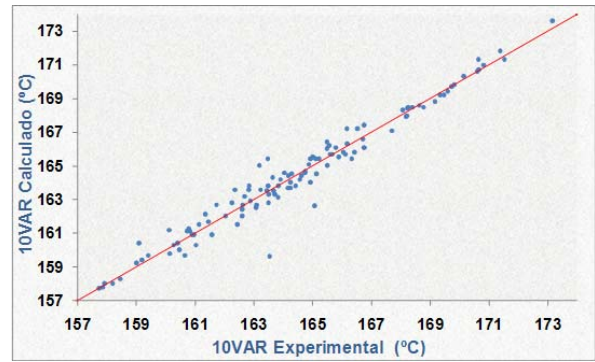
3.4 Evaluación de la Exactitud del Modelo de Predicción de Propiedades del Disolvente No.4.

Una vez realizada la hoja de cálculo, se hicieron pruebas en plantas piloto, donde se registraron las propiedades de la nafta alimentada y las propiedades del Disolvente No.4 producido por éstas. Además conociendo las propiedades de entrada se realizó la predicción de las propiedades de salida.

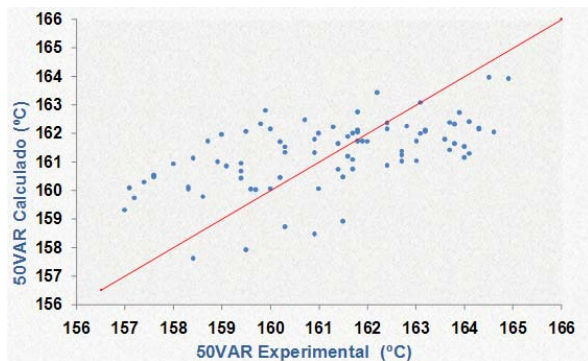
Las propiedades predichas se graficaron versus las propiedades medidas en el laboratorio (ver Gráficas 13 a 23).



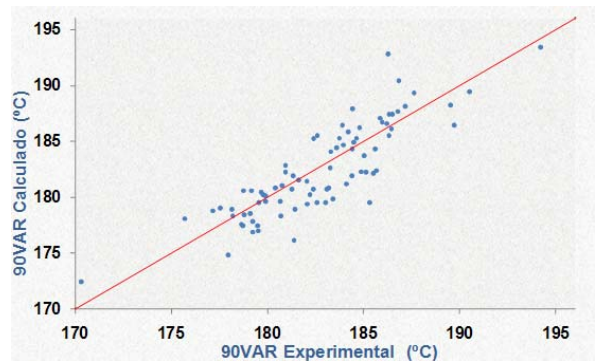
Gráfica 13. PIE Calculado Vs. PIE Experimental.



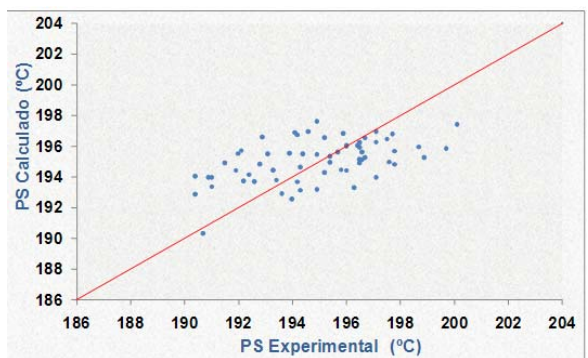
Gráfica 14. 10VAR Calculado Vs. 10VAR Experimental.



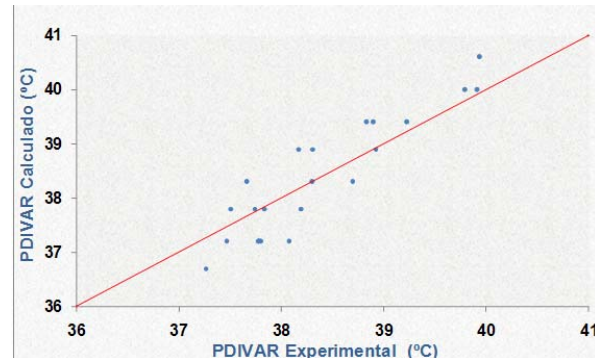
Gráfica 15. 50VAR Calculado Vs. 50VAR Experimental.



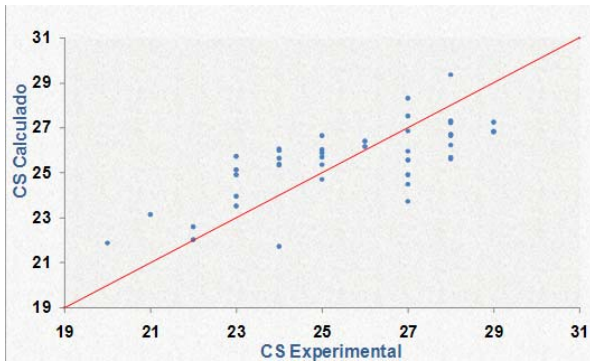
Gráfica 16. 90VAR Calculado Vs. 90VAR Experimental.



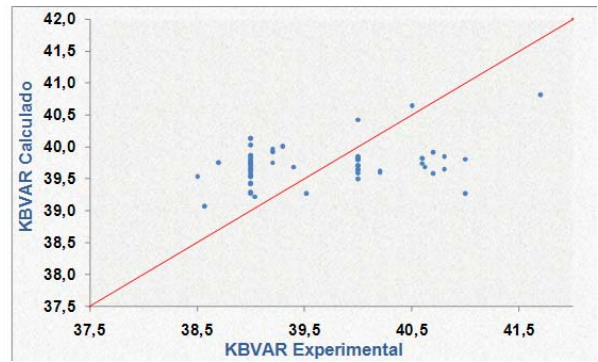
Gráfica 17. PS Calculado Vs. PS Experimental.



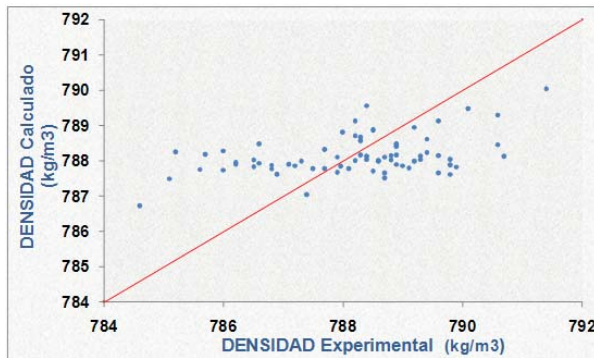
Gráfica 18. PDIVAR Calculado Vs. PDIVAR Experimental.



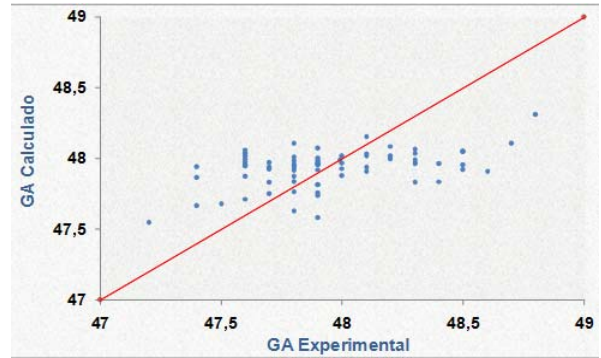
Gráfica 19. CS Calculado Vs. CS Experimental.



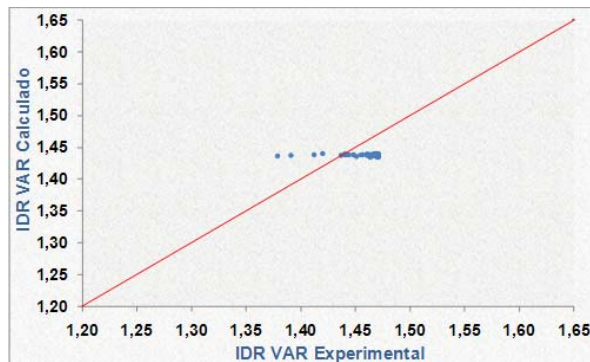
Gráfica 20. KBVAR Calculado Vs. KBVAR Experimental.



Gráfica 21. DENSIDAD Calculado Vs. DENSIDAD Experimental.



Gráfica 22. GA Calculado Vs. GA Experimental.



Gráfica 23. IDRVAR Calculado Vs. IDRVAR Experimental.

En las gráficas anteriores, se observa que los puntos están cercanos a la línea de 45° (línea roja), lo cual indica que la predicción realizada por la hoja de cálculo es de muy buena exactitud.

4. CONCLUSIONES

- ✘ Se demostró que existe una estrecha relación entre la curva de destilación de la nafta de alimento (propiedad que las caracteriza completamente) con las propiedades del Disolvente No.4, y aplicando modelos matemáticos se logró establecer que ésta relación era cuantificable y además muy exacta en sus predicciones.
- ✘ La propiedad número de bromo (solamente medida en los tanques de almacenamiento y distribución), fue la única de las propiedades que no mostró dependencia alguna con respecto a la curva de destilación, debido a que el tiempo de residencia en los tanques de almacenamiento y distribución no siempre es el mismo, con lo cual las especies olefinicas presentes en el Disolvente No.4 empiezan a polimerizarse, esto hace necesario tener en cuenta el tiempo de residencia como variable independiente en la predicción de esta propiedad.
- ✘ Se estableció un intervalo óptimo para la curva destilación de la nafta, que sirve como parámetro de escogencia de ésta, antes de ser alimentada al proceso, garantizando así un producto que esté dentro de los estándares solicitados por los clientes de Ecopetrol S.A.
- ✘ Aunque se obtuvo un rango de operabilidad para la nafta carga 1300, que garantiza las propiedades del Disolvente No.4 dentro de las especificaciones de los clientes de Ecopetrol SA, éste rango es muy pequeño, lo que haría muy rígida la forma de operar las plantas de especialidades y aromáticos ya que la naturaleza de las naftas alimentadas al proceso son oscilantes en el tiempo.

5. RECOMENDACIONES

- ✕ Realizar un estudio acerca de sistemas de purificación del Disolvente No.4, para lograr que en aquellas propiedades que no fue posible encontrar una correlación estadísticamente aceptable, se logre adecuar a los rangos establecidos.

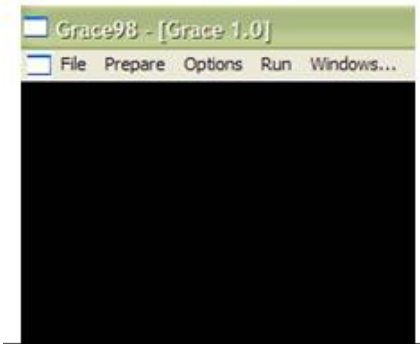
- ✕ Aunque la correlación que se logró establecer para el color Saybolt es buena, esta contiene errores superiores a 4% en las salida de las unidades de aromáticos y especialidades, lo que hace necesario la ubicación de un filtro y su constante mantenimiento para cumplir con los estándares de calidad en ésta propiedad, ya que esta es muy importante en el proceso de elaboración de resinas.

- ✕ A pesar de que existe un intervalo óptimo de operación para la nafta carga 1300, este es muy estrecho, por lo que es recomendable alimentar siempre, la nafta carga 1301, debido a que su intervalo óptimo es mucho más amplio.

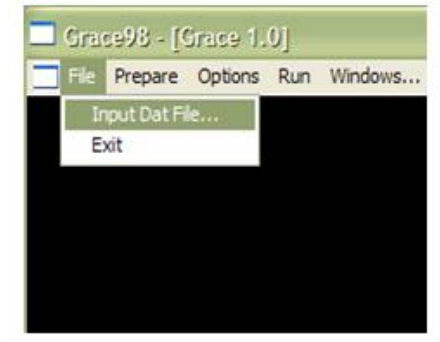
6. BIBLIOGRAFÍA

1. BREIMAN, L. and FRIEDMAN, J. H., Estimating Optimal Transformations for Multiple Regression and Correlation, *Journal of the American Statistical Association* (September, 1985). Pág. 570-587.
2. HERRERA VARELA, Jesús Eduardo. Ecopetrol S.A, GBC Planta de Aromáticos Presentación Power Point. *Apoyo Técnico A La Producción de GCB*. Herrera. Colombia. 2005.
3. GOMEZ, María T. MARROQUIN, Gustavo. ANHYTA, Jorge. Inestabilidad De Muestras Obtenidas Durante La Hidrodesintegración De Residuos Del Petróleo. *Journal Of The Mexican Chemical Society*. Sociedad Química De Mexico. OCT-dici año/ vol 47 número 004 Pág. 307-312.
4. GONZALEZ, José Rafael. BLANCO, Reigoberto. Elaboración De Normas Técnicas Sobre Calidad De Combustibles Vendidos En Costa Rica. *Centro De Electro Química Y Energía Química (CELEQ.) Universidad De Costa Rica*. San José De Costa Rica. 2002. Pág. 1-32.
5. MONTEAGUDO, José María. DURAN, Antonio. Guías De Prácticas De Laboratorio. *Tecnología Química Universidad Complutense*. Segovia, España. 2004. Pág. 19.
6. TROELLER, W. J. BALDESCHWIELER, E, L. MORGAN, M,D. The Kauri Butanol Text For Solvent Power. *Esso Laboratories, Standard Oil Development Company*, 2000. Pág. 10-18.
7. YUCOBOVICH, Alexander. Plan De Emergencia Exterior De Junta Galicia Doncellería De Rustica, *Dirección Feral De Interior E Protección Civil*. Yugoslavia. 2001. Capítulo 1. Pág. 39-42.

ANEXO A. SUB-RUTINA DE UTILIZACIÓN DE GRACE98 Y PERSONAL 97.xls



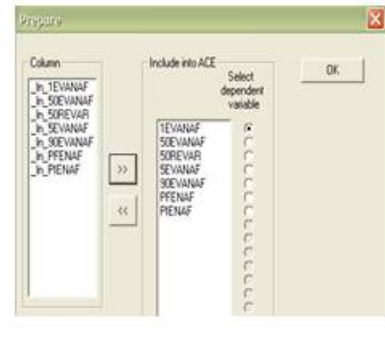
PASO 1: Abrir Grace98



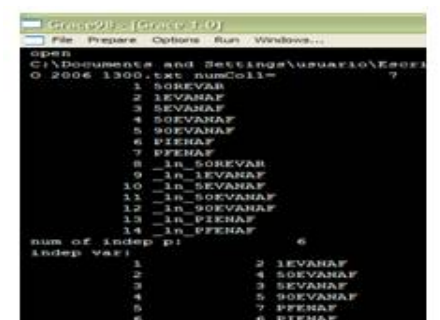
PASO 2: Entrar a File y luego Input.dat file



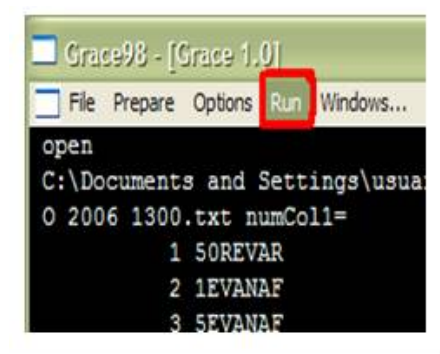
PASO 3: Llamar archivos planos .txt teniendo en cuenta que estos no estén en modo de texto en propiedades.



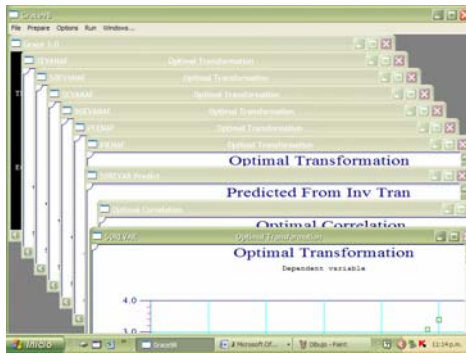
PASO 4: Se señalan las variables a relacionar y se especifica cual de ellas es la variable dependiente, es decir la variable de salida.



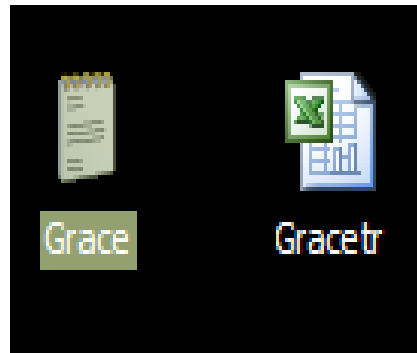
PASO 5: Los archivos son cargados y organizados.



PASO 6: Una vez se especifican las variables dependientes y las independientes se procede a correr el programa por medio del icono Run.

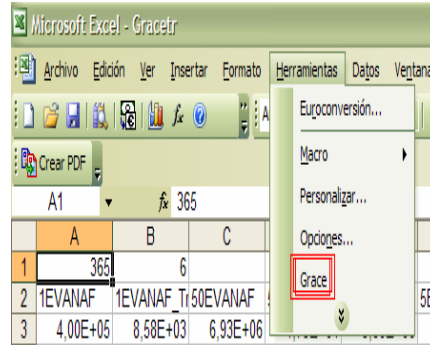


PASO 7: Grace genera unas gráficas de los valores reales versus sus transformadas además de una gráfica de la variable dependiente versus la sumatoria de las transformadas.

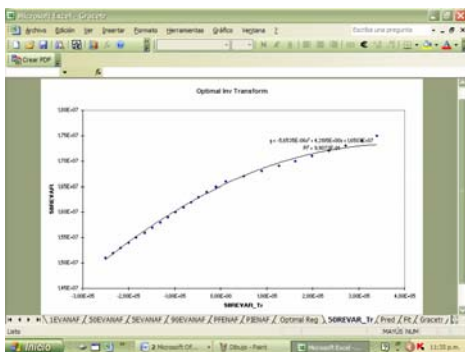


PASO 8: Grace98 genera un archivo en Excel con los valores tabulados de todas las variables y de sus transformadas.

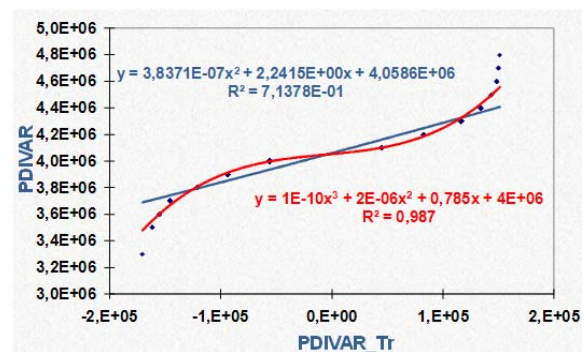
PASO 9: Abrir el archivo en Excel (versión 2003) y luego activar la macro Personal 97



PASO 10: Ir a la de herramientas y hacer click en el icono Grace o entrar en macro de la barra de herramientas y ejecutarla manualmente.

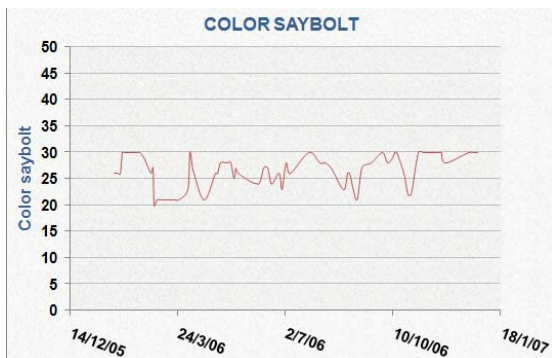


PASO 11: Se generan las correlaciones en el archiva de Grace que debe en este momento ser renombrado.

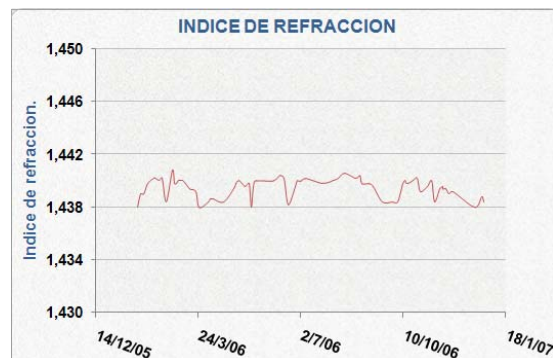


PASO 12: Una vez estén listas las correlaciones y estimado su error se deben ajustar las líneas de tendencia con ayuda de Excel.

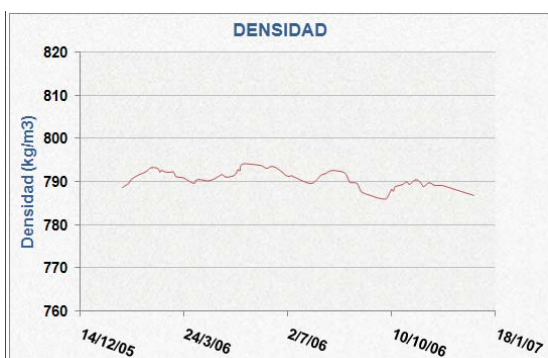
**ANEXO B. VARIACIÓN EN EL TIEMPO DE LAS PROPIEDADES DEL
DISOLVENTE No.4 PRODUCIDO EN EL GBC A PARTIR DE LA NAFTA
CARGA 1300**



Gráfica B.1. Color saybolt



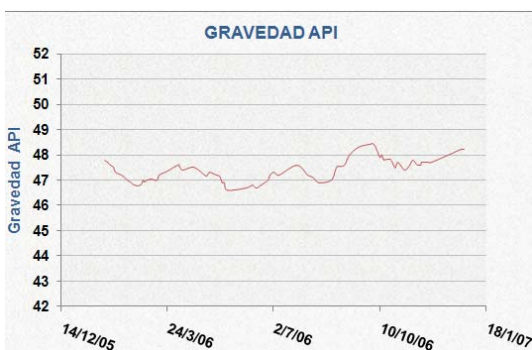
Gráfica B.2. Índice De Refracción



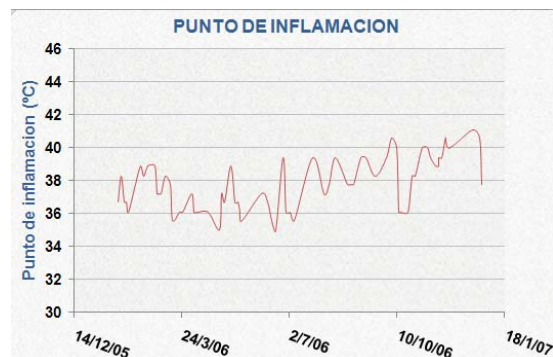
Gráfica B.3. Densidad



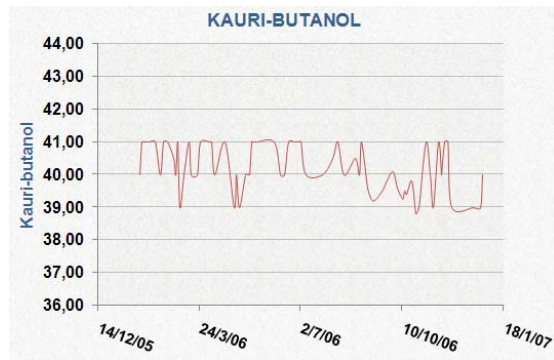
Gráfica B.4. Numero De Bromo



Gráfica B.5. Gravedad API



Gráfica B.6. Punto De Inflamación



Gráfica B.7. Kauri-Butanol

ANEXO C. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE AROMÁTICOS Y LA UNIDAD DE PREFRACCIONAMIENTO.

Figura C.1 Planta de Aromáticos.

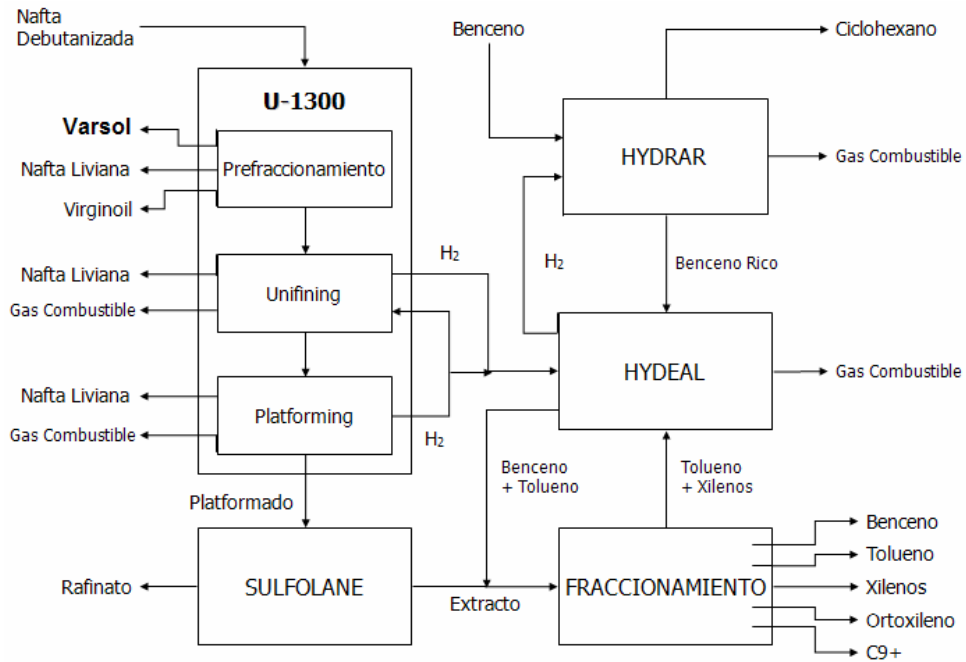


Figura C.2 Unidad de Prefraccionamiento.

