



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**ANÁLISIS DE LA COMPATIBILIDAD DE CRUDOS
UTILIZANDO MEDIDAS REFRACTOMÉTRICAS**

Realizado por:

**Aníbal Armando Gimenez Reyes
Mariel Katherine Cabeza Rodríguez**

**Trabajo Especial De Grado
Presentado como Requisito Parcial para Optar al Título de
INGENIERO DE PETRÓLEO**

MATURÍN, MARZO 2006



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

ANÁLISIS DE LA COMPATIBILIDAD DE CRUDOS
UTILIZANDO MEDIDAS REFRACTOMÉTRICAS

REALIZADO POR:

Aníbal Armando Gimenez Reyes

C.I 15.904.205

Mariel Katherine Cabeza Rodríguez

C.I 14.507.989

REVISADO POR:

Ing. Tomás Marín

Asesor Académico

MATURÍN, MARZO 2006



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

ANÁLISIS DE LA COMPATIBILIDAD DE CRUDOS
UTILIZANDO MEDIDAS REFRACTOMÉTRICAS

Aníbal Armando Gimenez Reyes

C.I 15.904.205

Mariel Katherine Cabeza Rodríguez

C.I 14.507.989

APROBADO POR:

Ing. Pedro Tineo
Jurado

Ing. Hortensia Calzadilla
Jurado

Ing. Tomás Marín
Asesor Académico

MATURÍN, MARZO 2006

RESOLUCIÓN

“DE ACUERDO AL ARTÍCULO N° 44 DEL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO: “LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA **UNIVERSIDAD DE ORIENTE** Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN/ MONAGAS/ VENEZUELA**

**ANÁLISIS DE LA COMPATIBILIDAD DE CRUDOS UTILIZANDO
MEDIDAS REFRACTOMÉTRICAS**

Autores

Aníbal Armando Gimenez Reyes
Mariel Katherine Cabeza Rodríguez
Año 2006

Asesor:

Académico: Ing. Tomás Marín

RESUMEN

La presente investigación se basó en la evaluación de un método alternativo para el análisis de compatibilidad de crudos, definida como la capacidad que tiene la mezcla de mantener los asfáltenos presentes en su composición en suspensión; es decir, la tendencia que tenga la mezcla de crudo de precipitar asfáltenos al mezclarse. Esta precipitación afecta las operaciones de la industria petrolera del país, de allí la importancia de buscar un método de fácil aplicación y con resultados confiables. En este estudio se prepararon mezclas de Xileno con Heptano en diferentes proporciones, que luego se mezclaron con las muestras de crudo A, crudo B y crudo C disponibles en el Laboratorio de Yacimiento de la Universidad de Oriente, así mismo se analizó la estabilidad mediante el método de manchas (Prueba IFP) y el método de la relación de SBN/IN (solubilidad/insolubilidad). Posteriormente se midió el índice de refracción y porcentaje de sólidos para cada una de las muestras antes mencionadas. Una vez obtenidas estas mediciones se generó el comportamiento de acuerdo a la cantidad de Xileno presente, el cual no fue el esperado, debido a que las gráficas desarrolladas a través del Método del Refractómetro demuestran hasta donde se puede observar la existencia de asfáltenos en una muestra de crudo. Sin embargo no fue posible establecer un procedimiento experimental para el análisis de la compatibilidad de crudos mediante el refractómetro.

ÍNDICE

RESOLUCIÓN	iv
RESUMEN	v
ÍNDICE	vi
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE GRAFICOS	ix
INDICE DE TABLAS	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
EL PROBLEMA	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2 BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1 Definición de Compatibilidad de Crudos.....	6
2.2.2 Definición y Caracterización de los Asfáltenos.....	6
2.2.3 Estabilidad Termodinámica de los Asfáltenos.....	7
2.2.4 Comportamiento de los Asfáltenos en el Crudo	8
2.2.5 Refractometría.....	10
2.2.6 Variables que Afectan la Medición del índice de Refracción.....	11
2.2.7 Instrumentos para Medir el índice de Refracción	12
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	14
CAPÍTULO III	16
MARCO METODOLÓGICO	16
3.1 HIPÓTESIS.....	16
3.2 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES	16
3.2.1 Variables Independientes	16
3.2.2 Variables Dependientes.....	17
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN	17
3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	17
3.5 POBLACIÓN.....	18
3.6 MUESTRA.....	18
3.7 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	19
CAPÍTULO IV	24
ANÁLISIS DE RESULTADOS	24

4.1 ESTABILIDAD DE CRUDOS MEDIANTE EL MÉTODO DE MANCHAS (PRUEBA IFP) Y EL MÉTODO DE LA RELACIÓN SBN/IN.....	24
4.1.1 Método de Manchas	24
4.1.2 Método de la Relación SBN/IN	28
4.2. ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE LOS SOLVENTES (PARAFÍNICO/AROMÁTICO) Y DE LAS MEZCLAS PREPARADAS CON LA RELACIÓN SOLVENTE / CRUDO.....	32
4.3. PORCENTAJE DE SÓLIDOS DISUELTOS (%TSD) DE LOS SOLVENTES Y DE LAS MEZCLAS PREPARADAS CON LA RELACIÓN SOLVENTE / CRUDO MEDIANTE EL REFRACTÓMETRO	34
4.4. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN Y EL PORCENTAJE DE SÓLIDOS DISUELTOS (%TSD) RESPECTO A LA CANTIDAD DE AROMÁTICO PRESENTE EN LOS SOLVENTES.....	35
4.5. RANGO DE COMPATIBILIDAD SEGÚN LAS TENDENCIAS DE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN Y PORCENTAJES DE SÓLIDOS COMPARANDO CON LOS OBTENIDOS EN EL MÉTODO CONVENCIONAL	36
4.6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA COMPATIBILIDAD DE CRUDOS A PARTIR DEL MÉTODO DEL REFRACTÓMETRO	38
CAPITULO V.....	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
5.1 CONCLUSIONES	39
5.2 RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
APÉNDICES.....	43

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Representación de una Molécula de Asfalteno estabilizada dentro del crudo por efecto de las Resinas. Fuente: Marín (2000).	7
Figura N° 2.2 Disposición de los Asfaltenos en el Crudo según el Modelo Termodinámico Molecular. Fuente: Hirschberg y colaboradores (1984).	9
Figura N° 2.3. Disposición de los Asfaltenos en el Crudo según el Modelo Termodinámico Coloidal. Fuente: Leontaritis y Mansoori (1987).....	10
Figura N° 4.1 Muestra A (Método de Mmanchas)	26
Figura N° 4.2 Muestra B (Método de Manchas).....	27
Figura N° 4.3 Muestra C (Método de Manchas).....	27
Figura N° 4.4 Muestra B-C (Método de manchas)	28
Figura N° 4.5 Muestra A (Titulación con Heptano)	30
Figura N° 4.6 Muestra A (Titulación con Xileno)	31
Figura N° 4.7 Muestra C (Titulación con Xileno)	32

INDICE DE GRAFICOS

Gráfica 4.1 Índice de Refracción Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra C.....	35
Gráfica 4.2 Porcentaje de Sólidos Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra C.....	36
Gráfica 4.3. Índice de Refracción Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra A.....	37
Gráfica 4.4. Porcentaje de Sólidos Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra A	37

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 4.1. Escala de Estabilidad de acuerdo al IFP	24
Tabla N° 4.2. Grado de estabilidad reportado por cada una de las muestras	25
Tabla N° 4.3. Rango de estabilidad para la Relación SBN/IN.....	29
Tabla N° 4.4. Grado de estabilidad reportado para cada una de las muestras.....	30
Tabla N° 4.5 Índice de refracción del Solvente (Xileno-Heptano)	33
Tabla N° 4.6 Porcentaje de Sólidos (%TSD) de cada una de las muestras en estudio.....	34

INTRODUCCIÓN

Los asfáltenos son partículas sólidas que contienen anillos condensados de hidrocarburos aromáticos, los cuales se encuentran en todos los crudos en mayor o menor proporción, suelen originar precipitados (sólidos) que acarrear taponamientos en las tuberías de transporte y daños en los diferentes equipos de manejo y procesamiento de crudos del país. Estos han sido objeto de numerosas investigaciones y en esta oportunidad se hace necesario estudiar los fenómenos relacionados con la compatibilidad de los crudos.

La compatibilidad de una mezcla de crudos puede ser entendida como la capacidad que tiene la mezcla de mantener los asfáltenos presentes en su composición en suspensión. Inclusive si los crudos son estables separadamente y los mismos forman precipitado al ser mezclados, son incompatibles.

La finalidad de la investigación, es realizar pruebas a nivel de laboratorio que permitan establecer el rango de compatibilidad según las tendencias de los índices de refracción y porcentajes de sólidos comparando con los obtenidos en los métodos convencionales, así como también un procedimiento experimental para la determinación de la compatibilidad de crudos a partir del método del refractómetro.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Venezuela se producen grandes cantidades de crudos que son miscibles pero no necesariamente compatibles. La compatibilidad de un crudo esta expresada de acuerdo a la tendencia que tengan de precipitar asfáltenos al mezclarse, afectando las operaciones de la industria petrolera del país, especialmente en el Norte del Estado Monagas y en el Estado Zulia.

Los asfáltenos son partículas sólidas que contienen anillos condensados de hidrocarburos aromáticos. Éstos poseen gran cantidad de carbón, además de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, metales, entre otros componentes. Los asfáltenos no son una especie química sino una familia de compuestos que presentan sólo un comportamiento global característico. Los componentes de esta mezcla quedan como fracción insoluble luego de ser tratados bajo determinadas condiciones (solventes, cambios de presión y temperatura, etc.). La composición de esta fracción insoluble varía de crudo a crudo y la característica común, que los hace importantes en el estudio de los yacimientos y en la producción de petróleo, es que suelen originar precipitados (sólidos) que dañan el medio poroso.

La deposición de asfáltenos reduce la productividad al dañar bombas, restringir o taponar las líneas de flujo y obstruir los equipos de separación. Esto implica una gran inversión económica para minimizar este problema.

En la industria petrolera existen métodos de tratamiento de asfáltenos que consisten en la inyección de productos químicos como dispersantes, que impiden la floculación de sus moléculas y su posterior deposición cerca de la formación o a lo

largo del sistema de producción. Sin embargo, antes de aplicar estos tratamientos es necesario realizar estudios y pruebas de laboratorio a muestras de crudo que permitan analizar la compatibilidad de los mismos cuando se mezclan entre sí, evitando la precipitación de asfáltenos. Entre los métodos más actuales se encuentra el método de Manchas (Prueba IFP) y el método de la relación SBN/IN.

De acuerdo a lo antes expuesto surge la inquietud de evaluar en el laboratorio de Yacimiento, perteneciente a la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, un método alternativo para analizar la compatibilidad de crudos utilizando medidas refractométricas, el cual está basado en el cambio de velocidad que experimenta la radiación electromagnética al pasar de un medio a otro, como consecuencia de su interacción con los átomos y moléculas del otro medio, debido a que puede ser más exacto y de fácil aplicación, facilitando el estudio de cuan compatible son los crudos.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

- Analizar la compatibilidad de crudos utilizando medidas refractométricas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Obtener la estabilidad de crudos mediante el método de Manchas (Prueba IFP) y el método de la relación SBN/IN.
- Hallar el índice de refracción de los solventes (Parafínico/aromático) y de las mezclas preparadas con la relación solvente / crudo.

- Hallar el porcentaje de sólidos disueltos (%TSD) mediante el refractómetro de los solventes y de las mezclas preparadas con la relación solvente / crudo.
- Generar el comportamiento del índice de refracción y el porcentaje de sólidos disueltos (%TSD) respecto a la cantidad de aromático presente en los solventes.
- Establecer el rango de compatibilidad según las tendencias de los índices de refracción y porcentajes de sólidos comparando con los obtenidos en el método convencional.
- Establecer el procedimiento experimental para la determinación de la compatibilidad de crudos a partir del método del refractómetro.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La incompatibilidad de los crudos es uno de los tantos problemas que se presentan en la industria petrolera, de allí la inquietud de realizar pruebas de laboratorio para evaluar un método alternativo que permitan analizar la compatibilidad de los crudos.

Por esto se buscó evaluar la aplicación de medidas refractométricas que resultan más rápidas y sencillas que los métodos existentes en la actualidad, debido a la menor cantidad de muestras usadas y a la precisión en los resultados, lo que beneficiaría la forma y aplicación del método más apropiado para medir la compatibilidad de los crudos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Russel y Walter (1999), a través de la Asociación Octel Co. Ltd, en Gran Bretaña, investigaron la posibilidad de estudiar la estabilidad del petróleo utilizando un instrumento que consta de un scanner de tipo óptico, para analizar la desestabilización del sistema estudiado se añadió el N-Heptano. Por lo tanto la estabilidad de diferentes crudos podría ser investigada utilizando el estudio cinético. El método resultó ser fácil de usar, rápido y exacto. En particular esta muestra tener un gran potencial cuando se viene detectando diferencias muy pequeñas de estabilidad entre diferentes muestras. Esto es importante para las muestras cuando se desee optimizar los procesos de refinación y además cuando se evalué el efecto de estabilización de varios aditivos.

López, Pereira y Bandeira (2002) emplearon un equipo con detector óptico con el objetivo de hacer la previsión del comportamiento de los petróleos brasileños en relación con su estabilidad y compatibilidad, fue comprado por la gerencia de Evaluación de Petróleos del Cenpes, el equipo Porla GLX Step de la FMS. El analizador Porla permite la determinación de los parámetros IN (número de insolubilidad) y SBN (número de solubilidad de mezcla), usados en el Modelo de Compatibilidad. Este modelo se propone predecir la compatibilidad de cualquier mezcla de cualquier número de aceites, y es aplicado para determinar el orden correcto de mezcla y las proporciones de petróleos a ser mezclado. El uso de los parámetros SBN e IN para la predicción de la estabilidad y compatibilidad de los petróleos se evaluaron resultando muy eficaz.

Wiehe, Kennedy y Dickakian (2003), demostraron que el efecto de mezclado de las superficies de metal por asfaltenos no requiere que estos sean insolubles, por el contrario, los asfaltenos pueden absorber petróleo compatibles, especialmente si los asfaltenos están cerca de la región de incompatibilidad como se midió por la tasa del número de solubilidad de mezclado al número de insolubilidad comprendido entre 1 y 1,4. Los datos obtenidos en estas pruebas pequeñas de laboratorio servirán para promover entonces estudios y pruebas comerciales de mayor envergadura.

Lucca y Fernández (2005), en la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, evaluaron la factibilidad de aplicar el Método de Refractometría para Cuantificar Asfaltenos, empleando el refractómetro ABBE que resultó más rápido y sencillo que los existentes en la actualidad, debido a la menor cantidad de muestras usadas y a la precisión en los resultados.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Definición de Compatibilidad de Crudos

De acuerdo a los estudios realizados por Petrobrás (2002) la compatibilidad de una mezcla de crudos puede ser entendida como la capacidad que tiene la mezcla de mantener los asfáltenos presentes en su composición en suspensión.

2.2.2 Definición y Caracterización de los Asfáltenos

Los asfáltenos son moléculas de naturaleza principalmente aromáticas policondensadas, con constituyentes nafténicos y parafínicos. Los asfáltenos son moléculas complejas definidas por ser solubles en benceno, sulfuro de carbono y cloroformo, e insolubles en líquidos de bajo peso molecular y ligeramente solubles en

éter y acetona. Puede ser derivado del petróleo, carbón o aceites. Estas sustancias son heterocompuestos formados por los fragmentos más polares del crudo. Son no volátiles, muy difíciles de craquear y por el contrario tienden a polimerizar y condensar hasta formar coque. Estas sustancias son los constituyentes más importantes de los asfaltos ordinarios, se pueden definir como aquellas sustancias que precipitan a partir de una suspensión de asfalto en gran exceso. Esta definición no es tan estricta, ya que es preciso indicar que la precipitación de los asfaltenos, puede contener otros compuestos separables todavía por algunos disolventes.

2.2.3 Estabilidad Termodinámica de los Asfaltenos

Los asfaltenos son sólidos, por lo tanto no se pueden disolver en el petróleo, sino que se hallan en suspensión. Para que puedan mantenerse en este estado se hace necesaria la presencia de compuestos peptizantes o sea que sean capaces de formar un puente de unión entre los asfaltenos y los demás componentes del crudo. Los peptizantes naturales del crudo son las resinas, que son compuestos semejantes a estos, pero de menor peso molecular, semisólido y formado mayormente por anillos nafténicos que contiene cadenas de radicales parafínicos. Las características químicas de las resinas hacen que su molécula posea una parte con afinidad por las parafinas. Al ser estas solubles en el crudo, crean una barrera uniéndose por extremo con los asfaltenos y por el otro con las parafinas que pueden provocar su precipitación, evitando así que ambos entren en contacto. Ver figura 2.1.

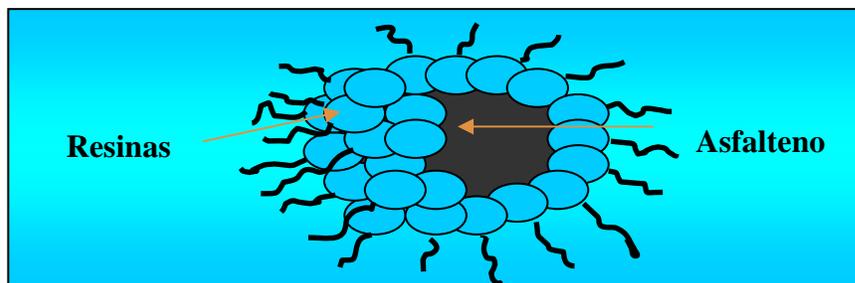


Figura N° 2.1 Representación de una Molécula de Asfalto estabilizada dentro del crudo por efecto de las Resinas. Fuente: Marín (2000).

La estructura básica de las resinas y asfaltenos es semejante, ambas pueden ser formadas por oxidación de policiclos de hidrocarburos aromáticos. Por otro lado, los dos pueden degradarse de los hidrocarburos por hidrogenación que se produce moderadamente en las moléculas de hidrocarburos grandes.

En los crudos de base asfáltica o aromática generalmente no se presentan problemas de precipitación de asfaltenos, debido a que estos son sus componentes principales, y no existen en ellos suficientes agentes que los hagan precipitar. Por el contrario los crudos medianos y livianos, poseen cantidades moderadas de asfaltenos y en ellos están presentes los agentes que hacen que los mismos floculen por insolubilidad, como son las parafinas líquidas de bajo peso molecular y cualquier variación en presión y temperatura hacen que precipiten.

2.2.4 Comportamiento de los Asfaltenos en el Crudo

De acuerdo a estudios realizados acerca de las condiciones bajo las cuales los asfaltenos se encuentran presente en el crudo, se destacan dos teorías.

a. Teoría Molecular

Esta teoría considera que los asfaltenos están disueltos en el crudo al igual que el resto de las moléculas. Hirschberg y colaboradores (1984), describen el fenómeno de la precipitación de asfaltenos mediante el equilibrio termodinámico líquido-líquido de una mezcla de dos seudocomponentes (asfaltenos-crudo), uno de los cuales representa los asfaltenos y el otro, el resto de las fracciones que constituyen el crudo; donde los asfaltenos se consideran moléculas polidispersas en el crudo, tal como se muestra en la figura 2.2.

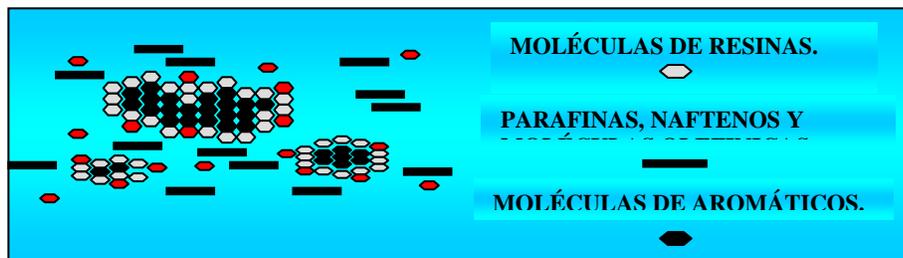


Figura N° 2.2 Disposición de los Asfaltenos en el Crudo según el Modelo Termodinámico Molecular. Fuente: Hirschberg y colaboradores (1984).

Bajo ciertas condiciones de presión y temperatura el crudo se puede separar en dos fases líquidas, una de las cuales está constituida solamente por asfalto, mientras que la otra está formada por ambos componentes, pero principalmente por el solvente. El equilibrio termodinámico entre estas dos fases líquidas se establece en términos de la teoría de Soluciones Regulares de Scatchard y Hildebrand y la teoría de Flory – Huggins para polímeros.

b. Teoría coloidal

Considera que los asfaltenos están presentes en el crudo formando una dispersión coloidal.

Leontaritis y Mansoori (1987), consideraron que los asfaltenos se encuentran suspendidos coloidalmente en el crudo, debido a una capa estabilizante de resinas altamente polares que actúan como agentes peptizantes rodeando su superficie, con lo cual impiden que los asfaltenos se unan entre sí y precipiten; como se muestra en la figura 2.3.

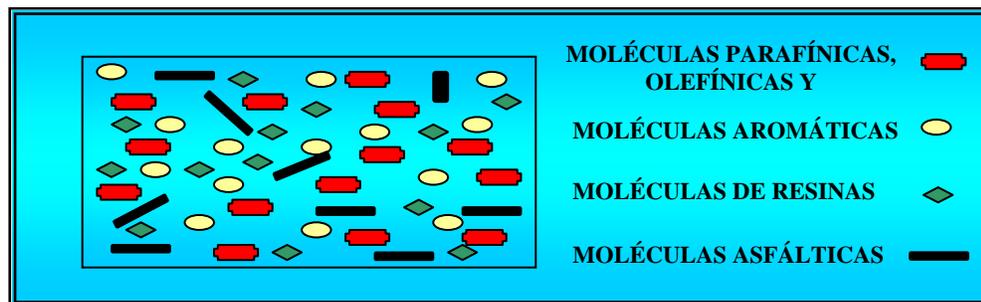


Figura N° 2.3. Disposición de los Asfaltenos en el Crudo según el Modelo Termodinámico Coloidal. Fuente: Leontaritis y Mansoori (1987)

Ellas son adsorbidas por los asfaltenos y actúan como capas protectoras. Estas resinas y asfaltenos son llamadas micelas, las cuales constituyen entidades moleculares separadas del crudo y sujetas a todo cambio termodinámico. Los cambios en las condiciones termodinámicas del sistema, es decir, presión, temperatura y/o composición, son los responsables de que la resina se transfiera a la fase líquida, por lo que los asfaltenos quedan desprotegidos con libertad de agregarse, produciéndose así la floculación y posiblemente, la precipitación de estos agregados.

2.2.5 Refractometría

Cuando la radiación atraviesa un medio transparente, se produce una interacción entre el campo eléctrico de la radiación y los electrones de enlace del medio. Como consecuencia la velocidad de la propagación del haz es menor que en el vacío. El índice de refracción de una sustancia n_i a una longitud de onda i está dado por la relación:

$$n_i = \frac{c}{v_i} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

donde v_i es la velocidad de propagación en el medio y c es la velocidad en el vacío (una constante en todas las condiciones). El índice de refracción de muchos líquidos varía entre 1,3 y 1,8; y de 1,3 a 2,5 o mayor en los sólidos.

2.2.6 Variables que Afectan la Medición del índice de Refracción

La temperatura, la longitud de onda y la presión son las variables más comunes controlables experimentalmente que afectan a la medición de un índice de refracción.

Temperatura. La temperatura influye en el índice de refracción de un medio principalmente por el cambio concomitante en la densidad. Para muchos líquidos el coeficiente de temperatura del índice de refracción varía de -4 a -6×10^{-4} grados⁻¹. el agua es una importante excepción, con un coeficiente de -1×10^{-4} ; las soluciones acuosas se comportan en forma semejante. Los sólidos tienen coeficientes de temperatura aproximadamente de un orden de magnitud menores que el líquido típico.

De lo anterior se deduce que para realizar mediciones precisas del índice de refracción debe controlarse estrechamente de la temperatura. Para un líquido promedio las fluctuaciones de temperatura deben ser menores de $\pm 0,2$ °C si se requiere una precisión de cuatro lugares, y $\pm 0,02$ °C para mediciones con cinco cifras.

Longitud de onda de la radiación. El índice de refracción de un medio transparente disminuye gradualmente al aumentar la longitud de onda; este efecto se conoce con el nombre de dispersión normal.

Pero en la vecindad de las bandas de absorción ocurren cambios rápidos en el índice de refracción; en este caso la dispersión se conoce como anómala.

Los fenómenos de dispersión hacen que sea esencial especificar la longitud de onda empleada cuando se menciona un índice de refracción.

Presión. El índice de refracción de una sustancia aumenta con la presión, debido al concomitante aumento de la densidad. El efecto es más pronunciado en los gases, en los que el cambio en n asciende a 3×10^{-4} por atmósfera; para los líquidos la cifra es menor en un factor de 10 y para los sólidos es aún más pequeño. Así, la variación en la presión atmosférica sólo es importante para el trabajo preciso con gases y para el trabajo más exigente con líquidos y sólidos.

2.2.7 Instrumentos para Medir el índice de Refracción

Se dispone en el comercio de dos tipos de instrumentos para medir el índice de refracción. Los refractómetros se basan en la medición del llamado ángulo crítico o en la determinación del desplazamiento de una imagen. Los interferómetros utilizan el fenómeno de la interferencia para obtener índices de refracción diferenciales con precisiones muy altas.

Refractómetro de ángulo crítico. Los instrumentos más usados para la medición del índice de refracción son de tipo de ángulo crítico. Se define el ángulo crítico como el ángulo de refracción en un medio cuando el ángulo de la radiación incidente es de 90° (ángulo rasante).

Es importante comprender que el ángulo crítico depende de la longitud de onda. Así, si se emplea radiación policromática, no se observa un solo límite nítido, sino que hay una reacción cromática difusa entre las áreas de luz y oscuridad; así, es imposible establecer con precisión el ángulo crítico. Esta dificultad se supera a menudo con el uso de radiación monocromática.

Refractómetro de Abbé. El instrumento de Abbé es indudablemente el refractómetro más cómodo y más generalizado. La muestra está contenida como una

delgada capa ($\approx 0,1$ mm) entre dos prismas. El prisma superior está firmemente montado sobre un punto de apoyo que permite su rotación por medio del brazo lateral mostrado en líneas de trazos. El prisma inferior forma bisagra con el superior, para permitir su separación para la limpieza o colocación de la muestra. La cara del prisma inferior tiene un esmerilado grueso; cuando la luz se refleja en el prisma, esta superficie se convierte en la fuente de un número infinito de rayos que atraviesan la muestra en todos los ángulos. La radiación es refractada en la superficie de separación de la muestra y la cara esmerilada del prisma superior, de la cual pasa al telescopio fijo.

Dos prismas de Amici, que pueden hacerse girar uno respecto al otro, sirven para recoger los rayos angulares críticos divergentes de diferentes colores en un solo haz blanco que corresponde en trayectoria al del rayo D del sodio. El ocular del telescopio posee pelos cruzados; al hacer una medición, se cambia al ángulo del prisma hasta que la superficie de separación de la luz y la oscuridad coincide exactamente con los pelos cruzados. La termostatación se logra mediante la circulación de agua por las camisas que rodean a los prismas.

El refractómetro de Abbé debe su popularidad a su comodidad, su amplia variación ($n_D = 1,3$ a $1,7$), y a la muestra mínima requerida. La exactitud del instrumento es de $\pm 0,0002$; su precisión es la mitad de esta cifra. El error más grave del instrumento de Abbé es causado por el hecho de que los rayos casi rasantes son cortados por la disposición de los dos prismas; el límite es así menos preciso que lo que sería deseable.

Una ventaja peculiar del refractómetro de Abbé es que quitando el prisma auxiliar y colocando la muestra contra el prisma de refracción puede medirse el índice de refracción de muestras opacas, aun que en este caso hay que tener el cuidado

especial de evitar películas superficiales que tengan un índice diferente al de la muestra.

Refractómetro de desplazamiento de la imagen. El método más directo para determinar el índice de refracción consiste en medir los ángulos de incidencia y refracción por medio de un dispositivo de espectrómetro. Muestras líquidas están contenidas en un recipiente en forma de prisma montado en el centro de una gran mesa metálica circular; se cortan muestras sólidas en forma de prisma y se montan similarmente. Se emplean una fuente luminosa, una ranura y un colimador para dirigir un haz paralelo de radiación a la superficie del prisma. La imagen refractada de la ranura se ve entonces con un telescopio montado sobre el círculo. Puesto que la imagen de la ranura puede hacerse muy nítida, la precisión de la medición depende sólo de la precisión de las mediciones angulares y del control de la temperatura; pueden obtenerse errores de 1×10^{-6} o menores. A menudo se utiliza un instrumento de este tipo como detector en los sistemas de cromatografía líquida.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Absorbancia: es la capacidad que tiene una sustancia para absorber radiación.

Coloide: suspensión de partículas diminutas (comprendido entre 50 y 2000 Å) de una sustancia, llamada fase dispersa, en otra fase, llamada fase continua, o medio de dispersión.

Compuestos parafínicos: estos hidrocarburos pueden subdividirse aún más en cierto número de la serie isómera: parafinas primarias, secundarias y terciarias, que aunque tienen igual porcentaje de composición, difieren en propiedades físicas, debido a las diferencias de arreglos atómicos internos en sus moléculas. Esta serie está presente en prácticamente todos los petróleos, pero es preponderante en los de

“base parafínica”. Los hidrocarburos de esta serie contienen el más alto porcentaje de hidrógeno y son los más estables.

Compuestos aromáticos: son hidrocarburos que están formados por anillos de seis átomos de carbono, en el cual están presentes tres dobles enlaces, los cuales rotan alrededor de la estructura. La serie aromática la componen el benceno y sus derivados (tolueno y xileno).

Floculación: es la transformación reversible de un sistema coloidal bajo la acción de un factor exterior, con formación de pequeños copos.

Índice de refracción: indicación numérica que sirve para expresar la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio de propagación.

Micelas: conglomerado de moléculas que constituye una de las fases de los coloides. Es el mecanismo por el que el jabón solubiliza las moléculas insolubles en agua, como las grasas.

Precipitación: fenómeno que se opera cuando un cuerpo en dilución se separa del diluyente y se deposita en el fondo del recipiente.

Peptización: proceso en el cual las resinas se adhieren a los asfaltenos, rodeando su superficie, evitando que estos se unan entre sí.

Resinas: las resinas conforman la fracción de crudo no soluble en etilacetato, pero soluble en n – heptano, tolueno, y/o benceno a condiciones normales.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 HIPÓTESIS

El método del refractómetro permite medir el índice de refracción de una sustancia o mezcla de sustancias, generalmente transparentes que al someterla a un rayo de luz refleja cierta parte y la otra la absorbe. Sin embargo, al mezclar solvente con una muestra de crudo es posible establecer el rango de compatibilidad según las tendencias de los índices de refracción y porcentajes de sólidos.

3.2 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Según Morles (1985), citado por Herrera (1994). Las variables a estudiar se representan, junto con sus definiciones, funciones que cumplen dentro de la investigación, incluso el nivel de medición o categoría correspondiente a cada una de ellas.

De acuerdo a la función que cumplen dentro de la investigación se han clasificado las siguientes variables:

3.2.1 Variables Independientes

Tipo de compuestos químicos: se refiere a los solventes (Parafínico/aromático).

Muestras: corresponde a los diferentes tipos de crudos utilizados para el estudio.

3.2.2 Variables Dependientes

Índice de refracción: relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de una longitud de onda determinada en una sustancia.

Porcentaje de Sólidos: es la fracción de sólidos disueltos de los solventes (Parafínico/aromático) y de las mezclas de crudo.

Estabilidad: representa el punto en el cual se manifiestan los precipitados, debido a la acción de los químicos utilizados.

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según **Sabino (1993)**, en su libro metodología de la investigación, “La investigación explicativa se centra en determinar los orígenes o las causas de un determinado conjunto de fenómenos, donde el objetivo es conocer por qué suceden ciertos hechos...”

Esta investigación fue explicativa, porque se basó en determinar el índice de refracción de la relación solvente / muestra mediante el método de refractometría, para establecer el rango de compatibilidad según las tendencias de los índices de refracción y porcentajes de sólidos presentes en las mezclas de crudo.

3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es no experimental, debido a que en este estudio no se modifican o manipulan variables, solo se realizaron ensayos de laboratorio para comprobar el rango de compatibilidad, según las tendencias de los índices de

refracción y porcentajes de sólidos en diferentes muestras de crudos determinada por el método de refractometría.

3.5 POBLACIÓN

Se entiende por población al conjunto de elementos de los que se quiere conocer o investigar alguna o algunas de sus características. En esta investigación, la población estuvo constituida por los crudos disponibles en el Laboratorio de Yacimiento de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas.

3.6 MUESTRA

Según Sabino (1992) “Una muestra es una parte representativa de una población, cuyas características deben reproducirse en ella, lo más exactamente posible”. En esta investigación, la muestra estuvo conformada por los crudos A, B y C, con gravedades API 19,8 (Pesado), 25,5 (Mediano) y 14,1 (Pesado) respectivamente, que representan el 30% de la población.

El tipo de muestreo es probabilístico, pues toda la población cumple con el requisito primordial de ser crudos del Laboratorio de Yacimiento y tienen la misma probabilidad de ser escogidos. Al respecto, Pardinás (1970), menciona que: “...la probabilidad de que ese universo posea tales características nos entrega la probabilidad de error en nuestra investigación”, es decir, es posible determinar el grado de error de representatividad de la muestra escogida.

3.7 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

ETAPA I. Recolección del material bibliográfico.

Para el desarrollo y comprensión del tema en estudio se recopiló todo el material relacionado con compatibilidad, estabilidad, asfaltenos, refractometría; además se recopiló material bibliográfico vinculado a los métodos empleados para medir la compatibilidad.

ETAPA II. Procedimiento experimental para la determinación de la estabilidad de crudos mediante el método de Manchas (Prueba IFP) y el método de la relación SBN/IN.

Método de Manchas (Prueba IFP)

Método desarrollado por el Instituto Francés de Petróleo, empleado para estudiar la estabilidad de las distintas muestras de crudo y detectar los asfaltenos floculados por la desaparición de una aureola o anillo en medio de la mancha sobre el papel filtro, la última aureola visible define el grado de estabilidad de los crudos.

1. Se preparó mezclas de 20ml de Xileno + Heptano en tubos de ensayo, para concentraciones de Xileno desde 0% hasta 100% con intervalos de 10%.
2. Se agitó la mezcla hasta que se consideró homogénea.
3. En un cono de zanahoria graduado se agregó 5ml de la mezcla (0% Xileno-100% Heptano) y 1ml de muestra de crudo.
4. Se agitó hasta que se obtuvo una disolución total.
5. Con un gotero se colocó una gota de líquido en el papel de filtro.

6. Se repitió el procedimiento utilizando sucesivamente las proporciones preparadas desde 0% a 100% Xileno para la misma muestra.
7. Se repitió el mismo procedimiento para las diferentes muestras de crudo.
8. Se estableció la condición de estabilidad del crudo. (Ver tabla N° 4.1)

Método de la relación SBN/IN

Es la relación que existe entre el grado de solubilidad e insolubilidad de una sustancia, donde la condición para que haya estabilidad entre crudos es que su índice de solubilidad sea menor que su índice de insolubilidad.

1. Se midió 5ml de la muestra de crudo en un Beaker de 20ml.
2. Con agitación se tituló con Heptano de 1ml en 1ml
3. Por cada ml de Heptano se tomó 1 gota de la muestra o mezcla de crudo y se colocó en el papel de filtro.
4. Se continuó titulando hasta que en la mancha en el papel de filtro se observó un círculo negro bien definido en el centro de la gota, es decir, hasta que se insolubilizaron los asfaltenos.
5. A partir del volumen de Heptano gastado en la titulación se preparó la mezcla con 5ml de muestra o mezcla de crudo.
6. Con agitación se tituló con Xileno de 1ml en 1ml.
7. Por cada ml de Xileno que se agregó se tomó 1 gota de la muestra o mezcla del crudo insolubilizado con Heptano y se colocó en el papel de filtro.
8. Se observó la mancha en el papel de filtro hasta que desapareciera la mancha en el centro de la gota, es decir, hasta que se solubilizaran los asfaltenos.
9. Se estableció la condición de estabilidad del crudo. (Ver Tabla N° 4.3)

ETAPA III. Procedimiento experimental para hallar el índice de refracción de los solventes (Parafínico/aromático) y de las mezclas preparadas con la relación solvente / crudo.

El índice de refracción del solvente y las muestras preparadas se midió al colocarlas en el refractómetro.

1. Se colocó la perilla en la lectura nD.
2. Se ajustó la temperatura (30°C) del baño termostático conectado al refractómetro.
3. Se abrió la cubierta del prisma del equipo quitando el papel protector y lavando con Xileno.
4. Se agregó en el prisma 3 gotas de la muestra, colocando la cubierta y asegurándose que quedara bien cerrada
5. Se ajustó el brazo de iluminación para que la luz incidiera sobre la muestra.
6. Se observó por el ocular, manipulando la rueda de corrección hasta que se obtuvo dos fases, una luminosa y otra de sombra.
7. Se manipuló la rueda de ajuste hasta que la interfase se ubicó en el centro de la marca (X).
8. Se presionó el botón READ y se anotó las lecturas de índice de refracción (n_D) y de la temperatura.
9. Se lavó el vidrio porta muestra con Xileno y se secó con papel absorbente, cuidando de pasar el mismo en una sola dirección.

Se realizó el mismo procedimiento tanto para las muestras de solvente como para las mezclas de solvente-cruído.

ETAPA IV. Procedimiento para hallar el porcentaje de sólidos disueltos (%TSD) mediante el refractómetro de los solventes y de las mezclas preparadas con la relación solvente / crudo.

El porcentaje de sólidos del solvente y las muestras preparadas se midió al colocarlas en el refractómetro.

1. Se realizó el mismo procedimiento anterior colocando la perilla en la lectura % Sólidos.

ETAPA V. Procedimiento para generar el comportamiento del índice de refracción y el porcentaje de sólidos disueltos (%TSD) respecto a la cantidad de aromático presente en los solventes.

1. Se tomaron los valores de índice de refracción (nD) y % de sólidos (%TSD) de los solventes y de las muestras o mezclas de crudo.
2. Se restaron los valores de nD y %TSD de las muestras menos los valores de nD y %TSD del solvente. (Ver Apéndice A)-
3. Se graficó nD y %TSD Vs. %Xileno.

ETAPA VI. Procedimiento para establecer el rango de compatibilidad según las tendencias de los índices de refracción y porcentajes de sólidos comparando con los obtenidos en el método convencional.

1. Se observó en las pruebas IFP en el papel de filtro donde los asfaltenos precipitaron (entre 1 y 5).
2. Se observó las gráficas generadas en la etapa V.

3. Se buscó un punto de inflexión en las gráficas. (Lo que indicó hasta donde fueron apreciables los asfaltenos en el refractómetro)
4. Se comparó el método convencional (Prueba IFP) con las gráficas obtenidas.

ETAPA VII. Procedimiento experimental para la determinación de la compatibilidad de crudos a partir del método del refractómetro.

Este objetivo contempla los pasos a seguir para la determinación de la compatibilidad de crudos a partir del Método del refractómetro.

1. Se realizó los pasos 1 y 2 de la prueba IFP.
2. Se realizó el procedimiento establecido en la Etapa III.
3. Se realizó el procedimiento establecido en la Etapa IV.
4. Se realizó el procedimiento establecido en la Etapa V

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentarán los análisis de los resultados, que arrojaron cada una de las pruebas realizadas durante la realización de este proyecto, y serán presentados en orden cronológico a los objetivos específicos planteados.

4.1 ESTABILIDAD DE CRUDOS MEDIANTE EL MÉTODO DE MANCHAS (PRUEBA IFP) Y EL MÉTODO DE LA RELACIÓN SBN/IN.

4.1.1 Método de Manchas

El método de manchas se utilizó para estudiar la compatibilidad a partir de la estabilidad de las distintas muestras de crudo, preparando una mezcla de Xileno/Heptano, con concentraciones de Xileno de 0% V/V a 100% V/V, para observar los asfaltenos floculados por la desaparición de una aureola o anillo en medio de la mancha sobre el papel filtro, la última aureola visible define el grado de estabilidad de los crudos. Para cada una de las muestras en presencia del solvente aplicado y de acuerdo a la tabla N° 4.1 se determinó que tan estables son los crudos estudiados.

Tabla N° 4.1. Escala de Estabilidad de acuerdo al IFP

ESTABILIDAD	GRADO I.F.P
Estable	1-7
Limite de Estabilidad	8
Inestable	>9

De acuerdo a esto, se pudo constatar que en las muestras de crudo estudiadas, resultaron estables la Muestra B, Muestra C y Muestra B-C (ver tabla N° 4.2) para el n-heptano empleado como agente precipitante.

Tabla N° 4.2. Grado de estabilidad reportado por cada una de las muestras

MUESTRA	GRADO I.F.P	ESTABILIDAD
Muestra A	11	Inestable
Muestra B	4	Estable
Muestra C	5	Estable
Muestra A-B	11	Inestable
Muestra B-C	6	Estable
Muestra A-C	11	Inestable
Muestra A-	11	Inestable

Para la muestra A con una concentración de 0% V/V de Xileno, se observó una gran cantidad de asfalteno precipitado, esto permanece igual hasta una concentración 40-60, es decir, 40% V/V Xileno 60% V/V n-Heptano. Para una concentración 50% v/v 50% V/V la cantidad de asfaltenos precipitado no es tan evidente, debido a que el xileno ha disuelto gran parte de estos, a medida que aumentan las concentraciones de xileno la cantidad de asfalteno se hace menos visible, sin embargo, continua apareciendo la aureola hasta llegar a una concentración 100% V/V Xileno, lo que refleja que esta muestra es inestable. (Ver Figura N° 4.1)

Es importante destacar que a partir de la concentración 30 % V/V Xileno 70 % V/V n-Heptano se siguió observando una aureola en el centro de la mancha sobre el papel de filtro, que no correspondió a los asfaltenos presentes sino a defectos del

papel al colocar la gota. Lo mismo ocurrió en todas las muestras donde se observó esta aureola no definida.

Los números que se encuentran en la figura N° 4.1 desde 1 hasta 11 representan las diferentes concentraciones Xileno / Heptano empleadas, es decir, para el N° 1 se tiene una concentración de 0% V/V de Xileno y 100% V/V de Heptano, el N° 2, 10% V/V Xileno y 90% V/V Heptano, el N° 3, 20% V/V Xileno y 80% V/V Heptano, para el N° 6, 50% V/V Xileno y 50% V/V Heptano, y así sucesivamente hasta llegar al N° 11, en donde se tiene 100% V/V Xileno y 0% V/V Heptano.

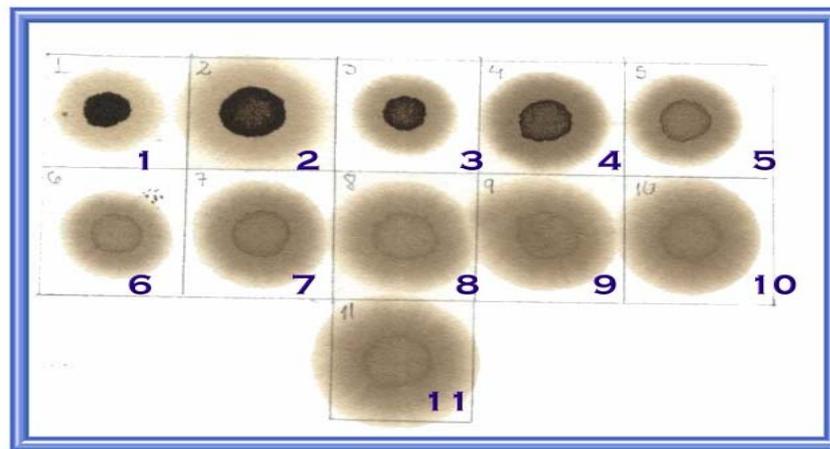


Figura N° 4.1 Muestra A (Método de Mmanchas)

En la muestra B se observó una gran cantidad de asfalteno precipitado a una concentración 10% V/V Xileno 90% V/V Heptano y para una concentración 30% V/V Xileno 70% V/V Heptano se evidenció la desaparición de un anillo definido (Ver Figura N° 4.2). A diferencia de la muestra A, el anillo que presentó fue menos intenso, es decir, no es tan definido como en la otra muestra a una concentración 100% V/V Xileno.

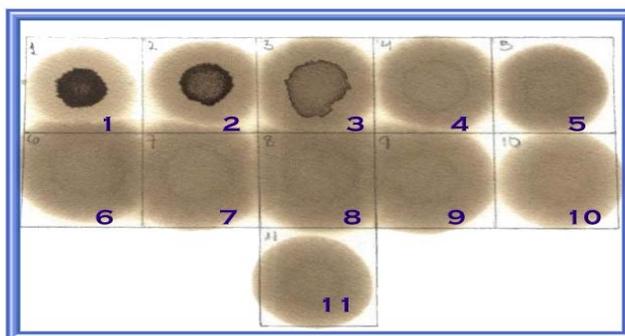


Figura N° 4.2 Muestra B (Método de Manchas)

En el caso de la muestra C para una concentración 20% V/V Xileno 80% V/V Heptano se mantuvo bien definido la presencia de los asfaltenos precipitados, hasta que se llegó a la concentración de 40% V/V Xileno y 60% V/V Heptano, donde se evidenció la desaparición de un anillo definido. (Ver Figura N° 4.3)

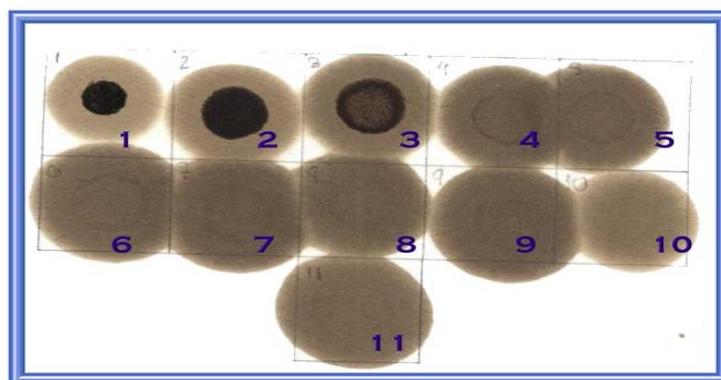


Figura N° 4.3 Muestra C (Método de Manchas)

Para las muestras de crudos A-B, A-C y A-B-C con una concentración de 0% V/V de Xileno, se observó una gran cantidad de asfalteno precipitado, esto permaneció igual hasta una concentración 40% V/V Xileno 60% V/V n-Heptano. Para una concentración 50-50 % V/V (Ver Apéndice C, Figuras C.1.1, C.1.2 y C.1.3) la cantidad de asfaltenos precipitado no fue tan evidente, debido a que el xileno ha disuelto gran parte de estos, a medida que aumentan las concentraciones de xileno la

cantidad de asfalteno se hace menos visible pero continuó apareciendo la aureola hasta llegar a una concentración 100% V/V Xileno, lo que refleja que estas mezclas son inestables.

En el caso de la muestra B-C para una concentración 20% V/V Xileno 80% V/V Heptano se mantuvo bien definida la presencia de los asfaltenos precipitados, hasta llegar a la concentración de 50% V/V Xileno y 50% V/V Heptano, donde se evidenció la desaparición de un anillo definido. De acuerdo a esto, se puede establecer la estabilidad entre la muestra B y la muestra C. (Ver Figura N° 4.4)

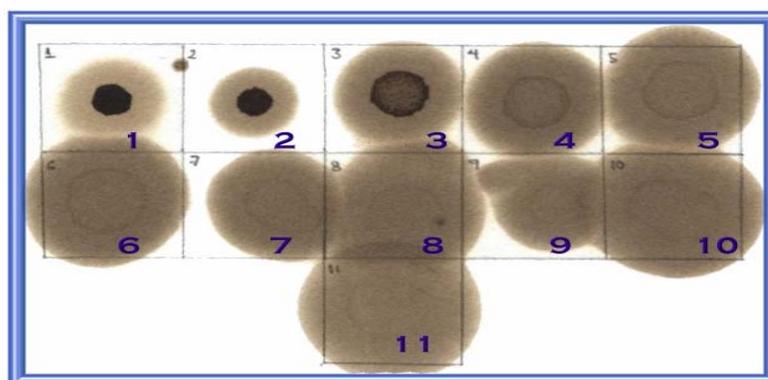


Figura N° 4.4 Muestra B-C (Método de manchas)

4.1.2 Método de la Relación SBN/IN

El método de la relación SBN/IN se utilizó para estudiar la estabilidad de los crudos; se preparó una mezcla de crudo para determinar mediante la titulación con heptano, el grado de insolubilidad (IN) de los asfaltenos, es decir, el volumen de heptano gastado hasta que los asfaltenos precipitaron por la acción del mismo, la cual se observó como una aureola o anillo visible en medio de la mancha sobre el papel de filtro. La primera aureola visible definió el grado de insolubilidad de la muestra.

A partir del valor obtenido de IN de la muestra de crudo se determinó el grado de solubilidad (SBN), mediante la titulación con xileno hasta que los asfaltenos fueron disueltos o solubilizados, cuando desapareció el anillo visible en medio de la mancha sobre el papel de filtro. Una vez obtenidos estos valores de solubilidad e insolubilidad para cada muestra, se determinó el porcentaje correspondiente para cada uno. En el Apéndice A se muestra en detalle los cálculos y resultados obtenidos en estas pruebas. De acuerdo a estos resultados se observó que a medida que se incrementó la cantidad de Xileno necesaria para solubilizar los asfaltenos, los valores de SBN fueron mayores por lo tanto la relación SBN/IN resultó mayor que 1 lo que indicó la inestabilidad en las muestras; por otro lado, cuando la cantidad de Xileno para solubilizar los asfaltenos fue menor que la requerida para insolubilizarlo los valores de la relación SBN/IN variaron entre 0 – 1 lo que indicó la estabilidad de las muestras. Para cada una de las muestras se estableció la estabilidad e inestabilidad, basado en el rango de la relación SBN/IN. (Ver Tabla N° 4.3)

Tabla N° 4.3. Rango de estabilidad para la Relación SBN/IN.

Rango (SBN/IN)	Estabilidad
0 – 1	Estable
> 1	Inestable

Al comparar la relación SBN/IN con lo obtenido en la prueba IFP de la muestra A, se observó que la mancha en el papel de filtro se evidenció hasta la aureola 11 (100% Xileno) lo que indicó la inestabilidad de la muestra y para el método de la relación SBN/IN el valor arrojado fue mayor que 1 indicando la inestabilidad de la muestra A por ambos métodos. (Ver tabla N° 4.2 y 4.4).

Tabla N° 4.4. Grado de estabilidad reportado para cada una de las muestras.

Muestras	% IN	% SBN	SBN/IN	Estabilidad
A	44,4	62,5	1,41	Inestable
B	61,5	27,8	0,45	Estable
C	64,3	17,6	0,27	Estable
A-C	28,6	78,1	2,73	Inestable
B-C	58,3	14,3	0,24	Estable
A-B	54,5	76,1	1,39	Inestable
A-B-C	50,0	77,8	1,56	Inestable

Para la muestra A se partió de 4 ml de Heptano, cantidad que fue agregada hasta que los asfaltenos fueron insolubles (Ver Figura N° 4.5)

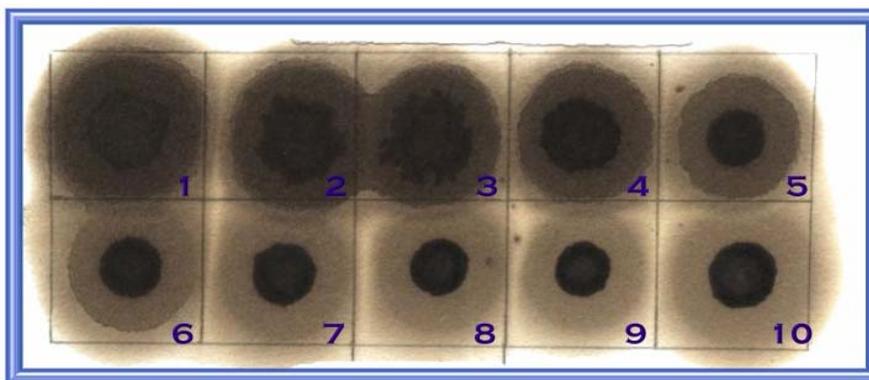


Figura N° 4.5 Muestra A (Titulación con Heptano)

A partir de allí se comenzó la titulación con xileno hasta que los asfaltenos se solubilizaron como se observa en el cuadro número 15 de la Figura N° 4.6, es decir, se aplicaron 15 ml de Xileno para lograr solubilizar la muestra de crudo arrojando un valor de SBN/IN igual 1,41 dando como resultado que la muestra es inestable.

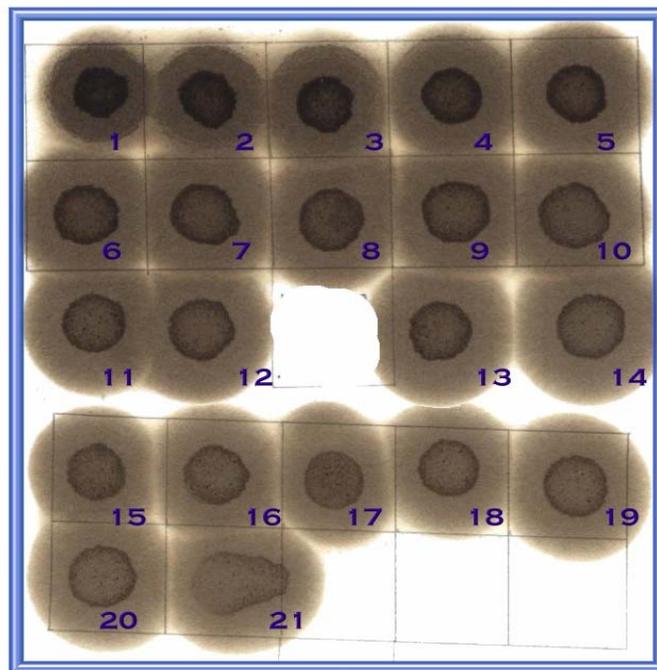


Figura N° 4.6 Muestra A (Titulación con Xileno)

Para la muestra B se partió de un volumen de 8 ml de Heptano que fue donde se observó el grado de insolubilidad de los asfaltenos, para luego titular con xileno hasta que se solubilizaron, este punto de solubilización se observó en el cuadro N° 5 (Ver Apéndice C. Figura C.2.2) para un volumen aplicado de 5 ml de xileno. Estos volúmenes de xileno y heptano corresponden al 27,8 % y 61,5% respectivamente de acuerdo a los cálculos realizados en el Apéndice A, la relación SBN/IN de 0,45 corresponde a un crudo estable (Ver Tabla 4.4)

En la muestra C se partió de 9 ml de Heptano y se tituló hasta un volumen de 5 ml de xileno. Se pudo observar que la muestra es bastante estable, debido a que el volumen de xileno gastado fue poco, lo que indica una cantidad pequeña de asfalteno que solubilizar arrojando así valores de porcentaje de IN y SBN que da como resultado una relación SBN/IN pequeña (0,27) siendo la muestra estable. (Ver Figura N° 4.7).

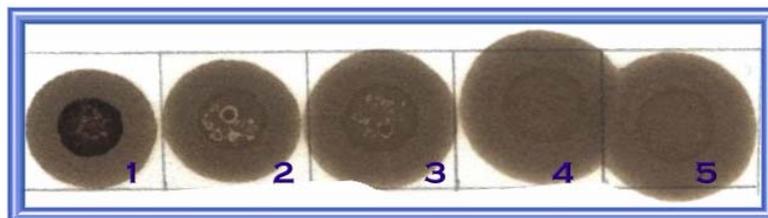


Figura N° 4.7 Muestra C (Titulación con Xileno)

En las muestras A-B, A-C, A-B-C el volumen de xileno gastado fue de 25 ml, 35 ml y 35 ml respectivamente y arrojaron valores de porcentaje SBN elevados y por lo tanto relación SBN/IN mayores que uno (1) lo que mostró que las muestras son inestables, sin embargo, en la muestra B-C con la presencia de 7 ml de Heptano solo al aplicarse 2 ml de Xileno los asfaltenos se insolubilizaron y la relación SBN/IN fue entre 0 y 1 lo que indica que la muestra es estable.

4.2. ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE LOS SOLVENTES (PARAFÍNICO/AROMÁTICO) Y DE LAS MEZCLAS PREPARADAS CON LA RELACIÓN SOLVENTE / CRUDO

Las mediciones del índice de refracción para las diferentes muestras de crudo y solventes se realizaron a 30 °C, debido a que las ecuaciones desarrolladas en estudios anteriores resultaron ser más precisas a esta temperatura, observándose claramente la interfase en dichas soluciones.

En los índices de refracción medidos para las diferentes proporciones de los solventes (Heptano/Xileno) que van de 0 % a 100% se observó un aumento, esto debido a que el índice de refracción del Xileno es mayor que el del Heptano, es decir, al aumentar el porcentaje de xileno el índice de refracción tiene que aumentar. (Ver tabla N° 4.5)

Tabla N° 4.5 Índice de refracción del Solvente (Xileno-Heptano)

Solvente (Xileno-Heptano)		
Proporciones	T °C	nD
Tubo 1 (100% Heptano)	30	1,3833
Tubo 2 (90% Heptano 10% Xileno)	30	1,3933
Tubo 3 (80% Heptano 20% Xileno)	30	1,4043
Tubo 4 (70% Heptano 30% Xileno)	30	1,4163
Tubo 5 (60% Heptano 40% Xileno)	30	1,4265
Tubo 6 (50% Heptano 50% Xileno)	30	1,4378
Tubo 7 (40% Heptano 60% Xileno)	30	1,4481
Tubo 8 (30% Heptano 70% Xileno)	30	1,4577
Tubo 9 (20% Heptano 80% Xileno)	30	1,4700
Tubo 10 (10% Heptano 90% Xileno)	30	1,4796
Tubo 11 (100% Xileno)	30	1,4916

En la determinación del índice de refracción en las muestras de crudo realizadas a 30 °C de temperatura se observó un aumento en el índice de refracción (nD) a medida que la proporción de xileno aumentó, debido a que los asfaltenos se disolvieron en el xileno y la mezcla se hace más opaca lo que ocasiona la disminución de la velocidad de la luz aumentando el nD (Ver Apéndice B Tabla B.1)

4.3. PORCENTAJE DE SÓLIDOS DISUELTOS (%TSD) DE LOS SOLVENTES Y DE LAS MEZCLAS PREPARADAS CON LA RELACIÓN SOLVENTE / CRUDO MEDIANTE EL REFRACTÓMETRO

Tabla N° 4.6 Porcentaje de Sólidos (%TSD) de cada una de las muestras en estudio.

Proporciones	T °C	MUESTRAS						
		A	B	C	A-B	A-C	B-C	A-B-C
		%TSD	%TSD	%TSD	%TSD	%TSD	%TSD	%TSD
Tubo 1	30	31,8	31,8	32,6	32,2	32,0	32,0	31,8
Tubo 2	30	37,5	37,4	37,7	37,4	38,1	37,6	37,5
Tubo 3	30	42,5	42,7	42,9	42,6	42,6	43,1	43,0
Tubo 4	30	47,8	48,3	48,7	47,8	48,4	48,0	48,2
Tubo 5	30	52,5	53,2	53,1	53,1	53,5	53,2	53,4
Tubo 6	30	57,3	58,0	58,7	58,3	58,8	58,2	58,4
Tubo 7	30	62,7	62,8	63,2	63,3	62,8	62,7	62,9
Tubo 8	30	67,1	66,9	68,1	67,5	67,9	67,5	67,5
Tubo 9	30	71,9	71,6	71,7	72,0	72,0	71,9	71,9
Tubo 10	30	75,9	76,2	76,2	76,2	76,2	76,3	75,8
Tubo 11	30	80,4	80,1	80,5	80,3	80,5	80,4	80,4

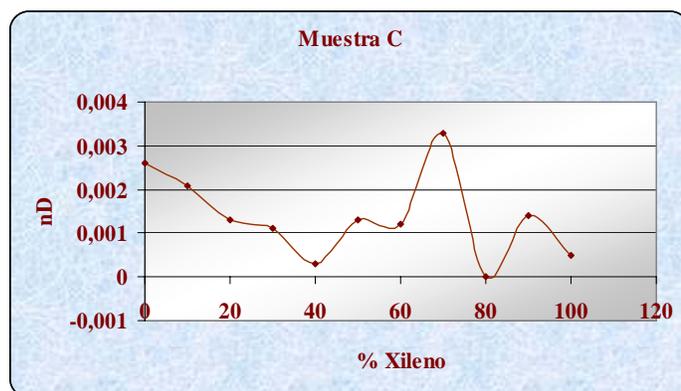
Las mediciones del porcentaje de sólido para las diferentes muestras de crudo y solventes se realizaron a 30 °C, observándose claramente la interfase en dichas soluciones. Estos porcentajes fueron medidos para las diferentes muestras de crudos y solventes, observándose un aumento progresivo del %TSD, debido a la cantidad de sólidos que se disuelven al incrementar la proporción de Xileno, adicionalmente se observó que para la muestra A en el Tubo 1 (100% Heptano) se obtuvo un %TSD

igual a 31,8 y en el tubo 11 (100 % Xileno) el %TSD igual a 80,4 que representan la cantidad de sólidos que fue solubilizada por el Xileno.(Ver Tabla N° 4.6)

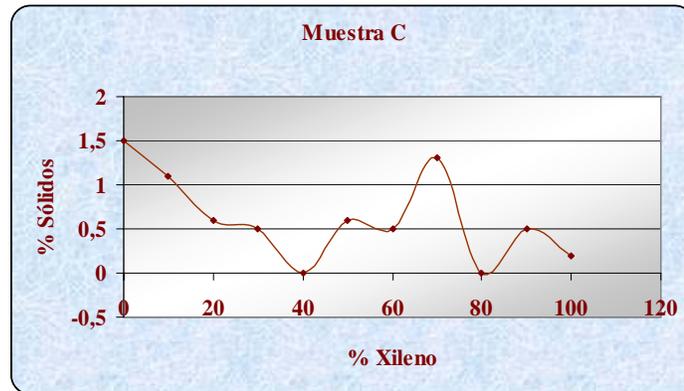
En el Tubo 11 (100% Xileno) se observó que muestra tiene mayor cantidad de sólidos, es decir, donde fue capaz el Xileno de solubilizar la mayor cantidad de sólidos precipitados por el Heptano.

4.4. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN Y EL PORCENTAJE DE SÓLIDOS DISUELTOS (%TSD) RESPECTO A LA CANTIDAD DE AROMÁTICO PRESENTE EN LOS SOLVENTES

Para generar el comportamiento del índice de refracción y porcentaje de sólidos respecto a la cantidad de aromático presente en los solventes, se utilizaron los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con el refractómetro a la temperatura de 30 °C estos valores se introdujeron en una hoja de calculo de Excel (Ver Apéndice A) y se graficaron los parámetros de %TSD vs % Xileno y nD vs % Xileno obteniendo como resultado un comportamiento mostrado en las gráficas 4.1 y 4.2.



Gráfica 4.1 Índice de Refracción Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra C



Gráfica 4.2 Porcentaje de Sólidos Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra C

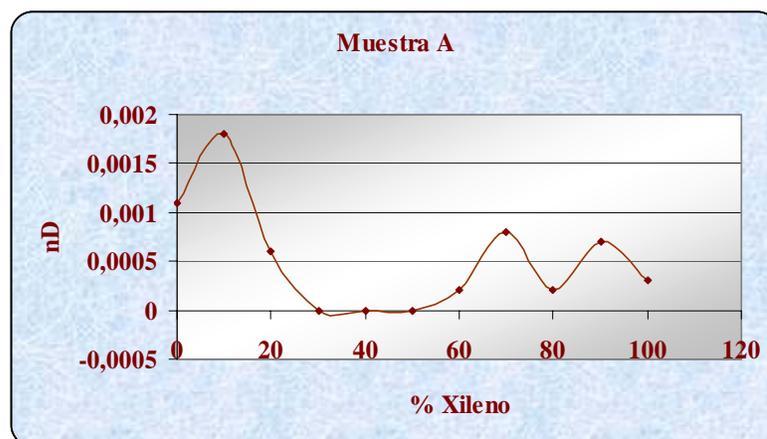
Al comparar la Prueba IFP con las gráficas obtenidas para cada una de las muestras y mezclas en estudio (Ver Apéndice B), se observó que coincide el punto donde se ve más apreciablemente la presencia de asfaltenos en el papel de filtro (Entre 1 y 5) y los valores de nD y %TSD donde cae la curva. Luego su comportamiento se vuelve errático, atribuyéndole este comportamiento a que las medidas del refractómetro que están indicando hasta cuando son apreciables los asfaltenos precipitados en mayor cantidad, pero no son indicativo de la estabilidad.

4.5. RANGO DE COMPATIBILIDAD SEGÚN LAS TENDENCIAS DE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN Y PORCENTAJES DE SÓLIDOS COMPARANDO CON LOS OBTENIDOS EN EL MÉTODO CONVENCIONAL

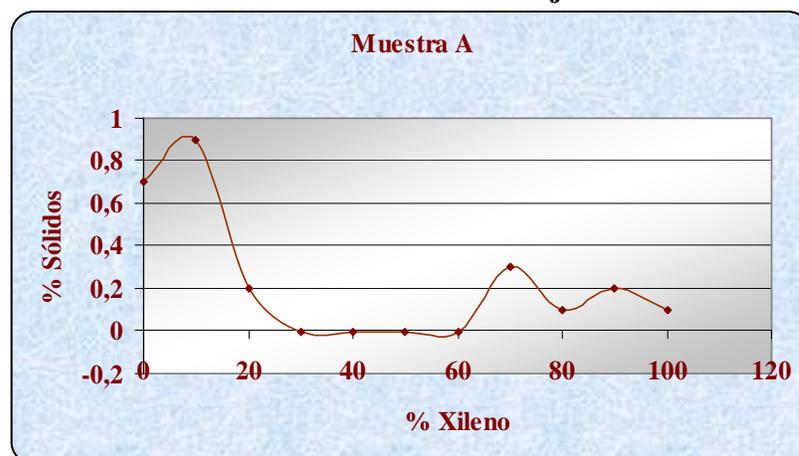
Basado en los resultados obtenidos de las gráficas generadas a partir de los índices de refracción y porcentaje de sólidos no fue posible establecer un rango de compatibilidad de acuerdo al comportamiento de los mismos, debido a que no se observó un punto o segmento de la gráfica, donde de acuerdo con las proporciones de solventes se observara un punto de inflexión que indicara la compatibilidad de la

muestra, tomando en cuenta el aumento del porcentaje de sólidos o índice de refracción presente en la misma.

En las muestras se observó que después del primer punto de inflexión de la gráfica presenta fluctuaciones no favorables para su estudio debido a que no corresponden al nD y %TSD de la muestra sino del solvente, por otra parte, la escala de medición del refractómetro esta en unidades muy pequeñas que pueden ser despreciables para el análisis, aunque al compararlas con el método convencional se logró establecer si el crudo es estable o no. (Ver gráficas 4.3 y 4.4)



Gráfica 4.3. Índice de Refracción Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra A



Gráfica 4.4. Porcentaje de Sólidos Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra A

4.6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA COMPATIBILIDAD DE CRUDOS A PARTIR DEL MÉTODO DEL REFRACTÓMETRO

No fue posible establecer un procedimiento experimental para la determinación de la compatibilidad de crudos a partir del método del refractómetro esto debido a que las curvas generadas a partir del nD y %TSD de las muestras de crudos no arrojaron un comportamiento idóneo para establecer la compatibilidad, así mismo la escala de medición del refractómetro no permitió la apreciación de la fluctuación entre cada punto de la gráfica debido a que son muy pequeños considerándolos despreciables. Sin embargo, podría ser factible realizar las mediciones en el refractómetro a partir del Método de la Relación SBN/IN y no del Método IFP para ver si se puede establecer la compatibilidad.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los valores de SBN, IN y la relación SBN/IN indicaron que las muestras de crudos analizadas (A, A-C, B-C, A-B-C) fueron inestables y las muestras (B, C, B-C) resultaron estables.
- Los valores de SBN de las muestras varían entre 14,3 y 78,1 y los valores de IN entre 28,6 y 64,3
- La relación SBN/IN permitió la clasificación de las muestras como estables o inestables.
- Los resultados de la relación SBN/IN fueron validados a través de la prueba IFP.
- Los análisis realizados indican que a mayor cantidad de Xileno agregado a la muestra mayor es el índice de refracción.
- La prueba IFP demostró que en las gráficas obtenidas por el método del refractómetro se puede observar hasta donde existe asfalteno en una muestra de crudo.
- El aumento del %TSD de las mezclas de crudo/solvente fue ocasionado por la cantidad de asfalteno solubilizado por el solvente.
- El comportamiento de las gráficas no permitió establecer un rango de compatibilidad para las muestras analizadas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Preparar las soluciones solvente /muestra de acuerdo a la proporción indicada en la Prueba IFP y la Relación SBN/IN.
- Al realizar la prueba de manchas agitar muy bien las muestras y evitar que el gotero toque el papel al momento de agregar la gota.
- Tomar en cuenta la calibración del refractómetro al momento de realizar las mediciones.
- Aplicar el método del refractómetro bajo el principio de la relación SBN/IN y no de la prueba IFP para ver si se puede establecer la compatibilidad como parte de la continuación de los estudios en esta línea de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Enciclopedia Microsoft Encarta . 2005. 1993-2001, Microsoft Corporation.

HERNÁNDEZ S. & BAPTISTA P. 1991. Metodología de la Investigación. Serie McGraw-Hill. Edición.

HERRERA E., BLANCO D. & GARCÍA E. 1994. Metodología de la Investigación. Inforhun. S.A., Maturín, Venezuela.

LÓPEZ E, PEREIRA M Y BANDEIRA C. (2002) Petrobrás. Estudio del Modelo de Compatibilidad en Petróleos Brasileños.pdf.

LUCCAS J, FERNANDEZ T. 2004. Evaluación de la factibilidad de la aplicación del método de refractometría para cuantificar asfaltenos. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente Núcleo de Monagas.

PARDINAS F. 1970. Metodología y Técnicas de Investigación en Ciencias Sociales.

PDVSA. 1999. ALI J., BETANCOURT J. & AVILA C. Una Metodología para el Control de Asfaltenos en las Facilidades en el norte de Monagas, Venezuela. Informe del departamento de Explotación y Producción. PDVSA.

ROJAS M, VERA J. 2005. Evaluación de Pentano, Hexano, Heptano como agentes precipitantes de asfaltenos y su influencia sobre la eficiencia de productos químicos, dispersantes en condiciones de laboratorio. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente Núcleo de Monagas.

RUSSEL T, WALTER S. (1999), Asociación Octel Co. Ltd, en Gran Bretaña, Evaluación de un Método nuevo de Estudio de la Estabilidad del Petroleo.doc

SABINO C. 1993 Como hacer una Tesis. Panapo. Caracas, Venezuela.

SKOOG D. & WEST D. 1989. Análisis instrumental. McGraw Hill. Segunda edición. México.

WIEHE I, KENNEDY R, Y DICKAKIAN G. (2003), Mezclado por petróleos incompatibles.

APÉNDICES

APÉNDICE A

MUESTRA DE CÁLCULO

A.1 Cálculo de la relación SBN/IN

El cálculo de la relación SBN/IN se determinó a partir del valor arrojado del grado de insolubilizada para cada una de las muestras analizadas.

Ejemplo: Cálculo de la relación SBN/IN para la Muestra A

Cálculo de IN

$$5\text{ml de crudo} + 4\text{ml de heptano} = 9\text{ml}$$

$$4\text{ml heptano}/9\text{ml} = 0,444 \times 100 = 44,4\%$$

$$\text{IN} = 44,4\%$$

Cálculo de SBN

$$9\text{ml} + 15\text{ml de Xileno} = 24\text{ml}$$

$$15/24\text{ml} \times 100 = 62,5\%$$

$$\text{SBN} = 62,5\%$$

$$\text{SBN/IN} = 1,41$$

A.2 Gravedad API de las muestras estudiadas.

La gravedad API es muy importante para la caracterización de los crudos, ya que el Instituto Americano de Petróleo establece la clasificación de los crudos a través de los grados API como se muestra a continuación.

Tabla A.2.1: Clasificación de los crudos, según sus °API

Tipos de Crudos	°API
Extrapesado	< 9,9
Pesado	entre 10 y 21,9
Mediano	entre 22 y 29,9
Liviano	entre 30 y 39,9
Condensado	> 40

Para determinar la gravedad API de las muestras crudo, se halló la gravedad específica a través del método del hidrómetro a temperatura ambiente (25 °C), y se calculó la gravedad API usando la ecuación 1.

$$\text{Gravedad API} = ((141.5 / GE)) - 131.5 \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

GE: gravedad específica observada en el hidrómetro

Como la gravedad API debe medirse a 60°F (grados Fahrenheit), se realizó una corrección a las gravedades API calculadas de la siguiente manera:

Correlación para llevar la gravedad API de la temperatura ambiente a 60°F.

$$\text{API (60°F)} = \sum \sum a_i j V_j (\text{API}) U_i (T) \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

T= Temperatura del ensayo, °F.

API_L= Gravedad API sin corregir, calculada con la ecuación 1.

$$\begin{array}{cccc}
 a_{11}=10,5 & a_{21}=10,0 & a_{31}=9,0 & a_{41}=8,1 \\
 a_{12}=29,7 & a_{22}=29,0 & a_{32}=27,7 & a_{42}=26,5 \\
 a_{13}=39,8 & a_{23}=39,0 & a_{33}=37,5 & a_{43}=36,0 \\
 a_{14}=50,0 & a_{24}=49,0 & a_{34}=47,2 & a_{44}=45,4
 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l}
 U_1(T) = ((T-60)(T-80)(T-100))/-15000 \\
 U_2(T) = ((T-50)(T-80)(T-100))/8000 \\
 U_3(T) = ((T-50)(T-60)(T-100))/-12000 \\
 U_4(T) = ((T-50)(T-60)(T-80))/40000
 \end{array} \right\} \text{Ecuación 2.1}$$

$$\left. \begin{array}{l}
 V_1(^{\circ}\text{API}_L) = ((^{\circ}\text{API}_L - 29)(^{\circ}\text{API}_L - 39)(^{\circ}\text{API}_L - 49))/-21489 \\
 V_2(^{\circ}\text{API}_L) = ((^{\circ}\text{API}_L - 10)(^{\circ}\text{API}_L - 39)(^{\circ}\text{API}_L - 49))/3800 \\
 V_3(^{\circ}\text{API}_L) = ((^{\circ}\text{API}_L - 10)(^{\circ}\text{API}_L - 29)(^{\circ}\text{API}_L - 49))/-2900 \\
 V_4(^{\circ}\text{API}_L) = ((^{\circ}\text{API}_L - 10)(^{\circ}\text{API}_L - 29)(^{\circ}\text{API}_L - 39))/7800
 \end{array} \right\} \text{Ecuación 2.2}$$

Nota: La correlación es aplicable sólo en un rango de Temperaturas entre 50°F y 200°F y °API_L entre 10° y 49°, con un error relativo de ±0,1%.

Ejemplo: Cálculo de la gravedad API de la Muestra C.

La gravedad específica medida en la muestra A con el hidrómetro fue:

$$GE = 0,966 \quad @ 77 \text{ } ^{\circ}\text{F}$$

Se calculó la gravedad API, utilizando la ecuación 1

$$\text{Gravedad API} = ((141.5 / 0,966)) - 131.5 = \mathbf{14,98}$$

Luego se corrigió la gravedad API (con las ecuaciones 2, 2.1 y 2.2).

Para una temperatura de 77 °F y 14,98 °API_L:

$$U_1(77) = ((77 - 60)(77 - 80)(77 - 100)) / -15000 = -0.0782$$

$$U_2(77) = ((77 - 50)(77 - 80)(77 - 100)) / 8000 = 0,2328$$

$$U_3(77) = ((77 - 50)(77 - 60)(77 - 100)) / -12000 = 0,8797$$

$$U_4(77) = ((77 - 50)(77 - 60)(77 - 80)) / 40000 = -0,0344$$

$$V_1(14,98) = ((14,98 - 29)(14,98 - 39)(14,98 - 49)) / -21489 = 0,5331$$

$$V_2(14,98) = ((14,98 - 10)(14,98 - 39)(14,98 - 49)) / 3800 = 1,0709$$

$$V_3(14,98) = ((14,98 - 10)(14,98 - 29)(14,98 - 49)) / -2900 = -0,8190$$

$$V_4(14,98) = ((14,98 - 10)(14,98 - 29)(14,98 - 39)) / 7800 = 0,2150$$

$$\begin{aligned} \mathbf{API}_{(60^{\circ}\text{F})} = & 10,5(0,5331)(-0,0782) + 29,7(1,0709)(-0,0782) + 39,8(-0,8190)(-0,0782) \\ & + 50,0(0,2150)(-0,0782) + 10,0(0,5331)(0,2328) + 29,0(1,0709)(0,2328) + 39,0(- \\ & 0,8190)(0,2328) + 49,0(0,2150)(0,2328) + 9,0(0,5331)(0,8797) + 27,7(1,0709) \\ & (0,8797) + 37,5(-0,8190)(0,8797) + 47,2(0,2150)(0,8797) + 8,1(0,5331)(-0,0344) + \\ & 26,5(1,0709)(-0,0344) + 36,0(-0,8190)(-0,0344) + 45,4(0,2150)(-0,0344) = \mathbf{14,1} \end{aligned}$$

$$\mathbf{API}_{(60^{\circ}\text{F})} = \mathbf{14,1}$$

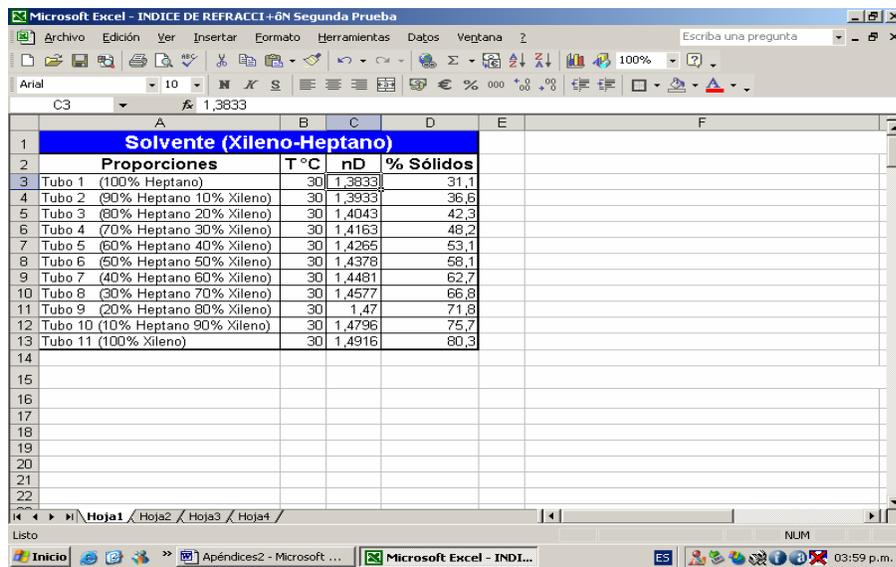
Tabla N° A.2.2 de Gravedades API Corregidas

MUESTRAS	° API	TIPOS DE CRUDO
A	19,8	Pesado
B	25,5	Mediano
C	14,1	Pesado

A.3 Cálculo para generar las gráficas del Índice de Refracción y Porcentaje de Sólidos Vs % Xileno.

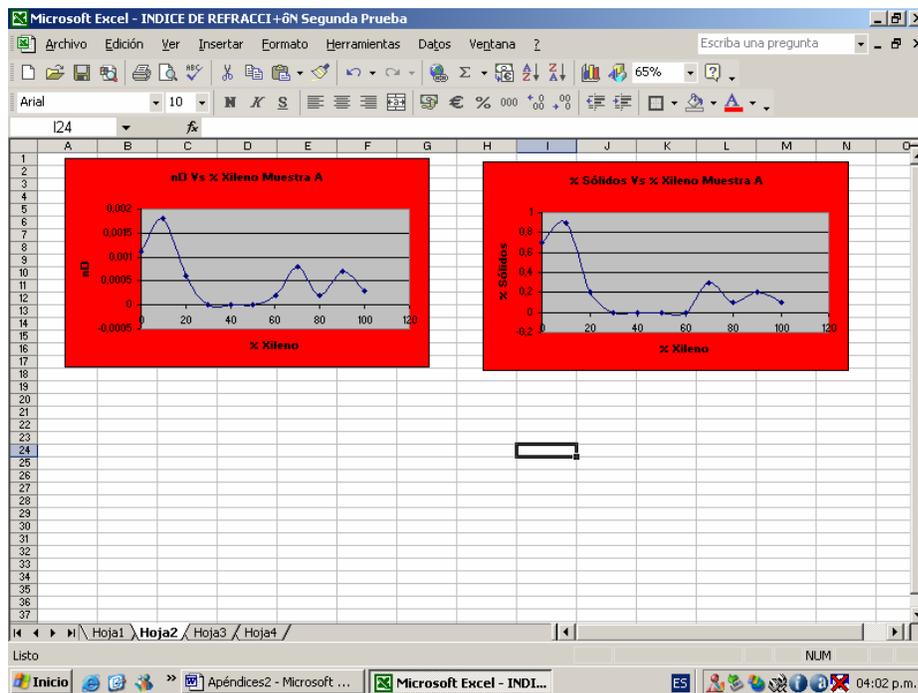
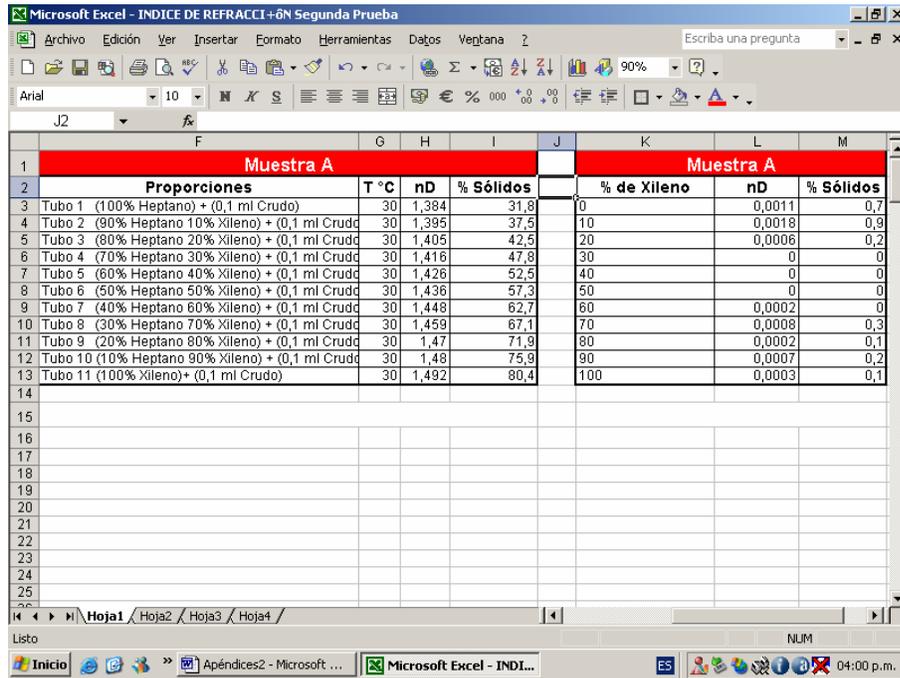
Los valores del índice de refracción y porcentaje de sólidos se obtuvieron a partir del valor arrojado por el refractómetro para cada una de las muestras analizadas y las gráficas se generaron a través del programa Microsoft Excel.

Ejemplo:



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "INDICE DE REFRACCI+6N Segunda Prueba". The spreadsheet contains a table with the following data:

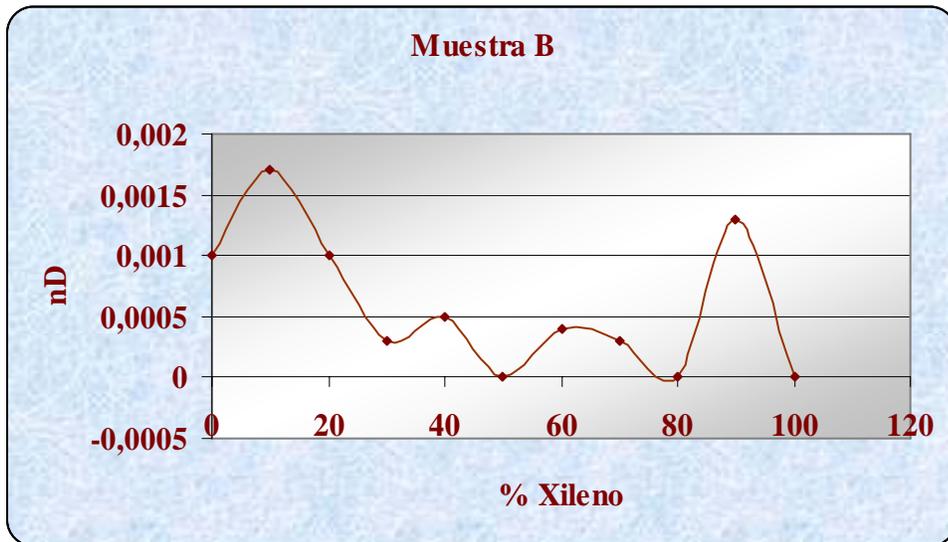
Solvente (Xileno-Heptano)			
Proporciones	T °C	nD	% Sólidos
Tubo 1 (100% Heptano)	30	1,3833	31,1
Tubo 2 (90% Heptano 10% Xileno)	30	1,3935	36,6
Tubo 3 (80% Heptano 20% Xileno)	30	1,4043	42,3
Tubo 4 (70% Heptano 30% Xileno)	30	1,4163	48,2
Tubo 5 (60% Heptano 40% Xileno)	30	1,4265	53,1
Tubo 6 (50% Heptano 50% Xileno)	30	1,4378	58,1
Tubo 7 (40% Heptano 60% Xileno)	30	1,4481	62,7
Tubo 8 (30% Heptano 70% Xileno)	30	1,4577	66,8
Tubo 9 (20% Heptano 80% Xileno)	30	1,47	71,8
Tubo 10 (10% Heptano 90% Xileno)	30	1,4796	75,7
Tubo 11 (100% Xileno)	30	1,4916	80,3



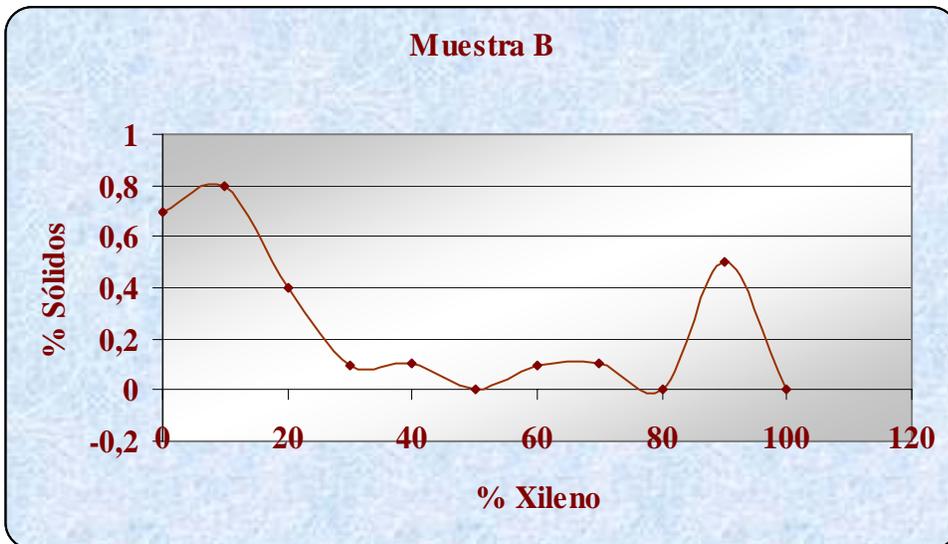
APÉNDICE B
TABLAS Y GRAFICAS

Tabla N° B.1 Índice de refracción de las muestras bajo la acción del solvente

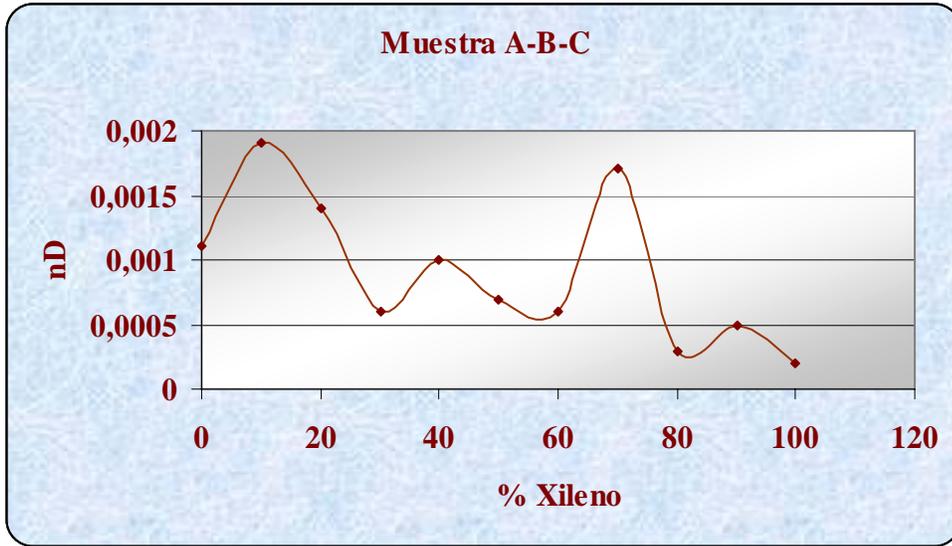
PROPORCIONES	T °C	MUESTRAS						
		A	B	C	A-B	A-C	B-C	A-B-C
		nD	nD	nD	nD	nD	nD	nD
Tubo 1	30	1,3844	1,3843	1,3859	1,3851	1,3847	1,3848	1,3844
Tubo 2	30	1,3951	1,395	1,3954	1,3948	1,3963	1,3952	1,3952
Tubo 3	30	1,4049	1,4053	1,4056	1,4051	1,4051	1,4058	1,4057
Tubo 4	30	1,4155	1,4166	1,4174	1,4159	1,4169	1,4159	1,4169
Tubo 5	30	1,4256	1,427	1,4268	1,4268	1,4276	1,4269	1,4275
Tubo 6	30	1,4359	1,4374	1,4391	1,4381	1,4392	1,4379	1,4385
Tubo 7	30	1,4483	1,4485	1,4493	1,4497	1,4486	1,4483	1,4487
Tubo 8	30	1,4585	1,458	1,461	1,4595	1,4604	1,4595	1,4594
Tubo 9	30	1,4702	1,4695	1,47	1,4704	1,4705	1,4702	1,4703
Tubo 10	30	1,4803	1,4809	1,481	1,481	1,4811	1,4811	1,4801
Tubo 11	30	1,4919	1,491	1,4921	1,4917	1,4919	1,4916	1,4918



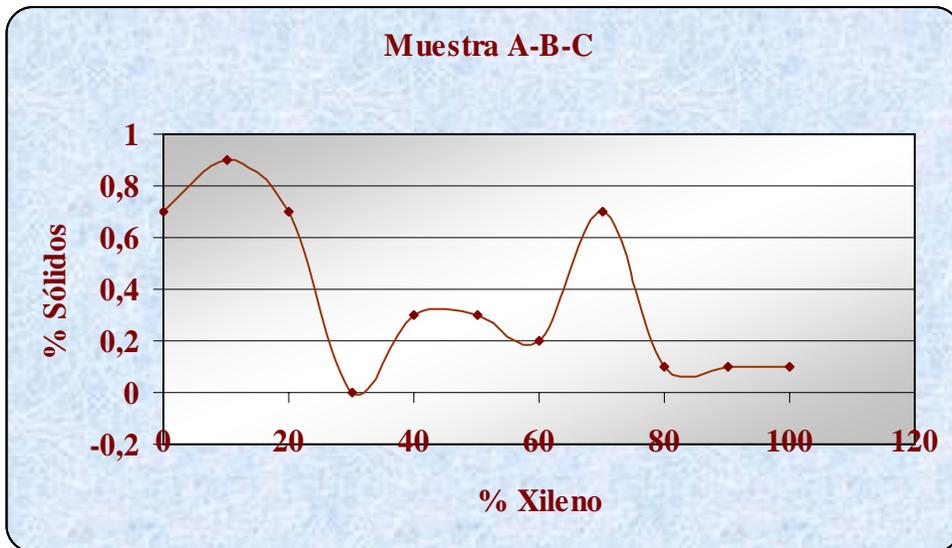
Gráfica B.1. Índice de Refracción Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra B



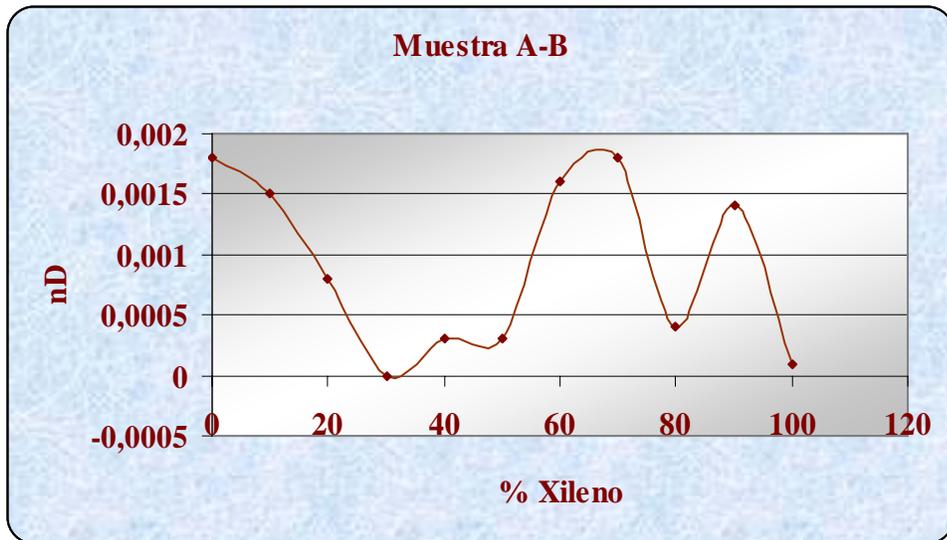
Gráfica B.2. Porcentaje de Sólidos Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra B



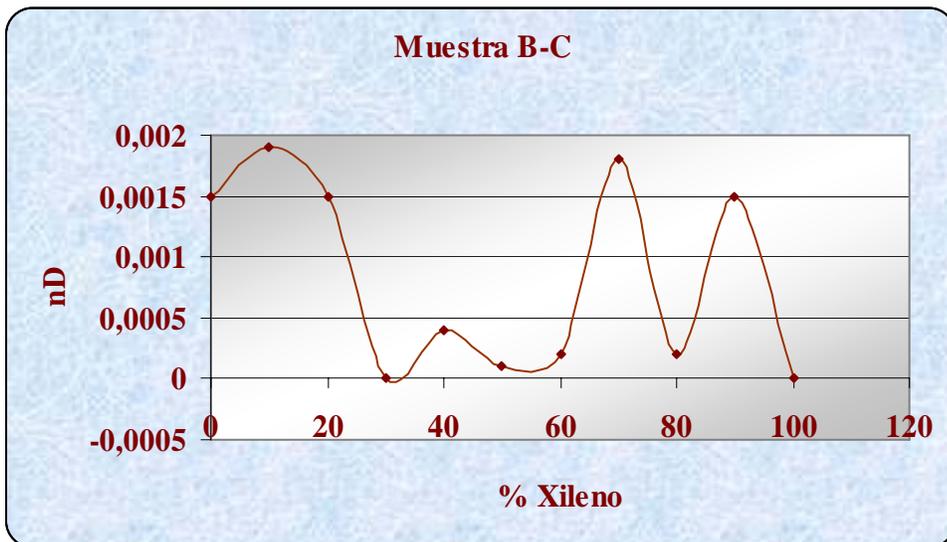
Gráfica B.3 Índice de Refracción Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra A-B-C



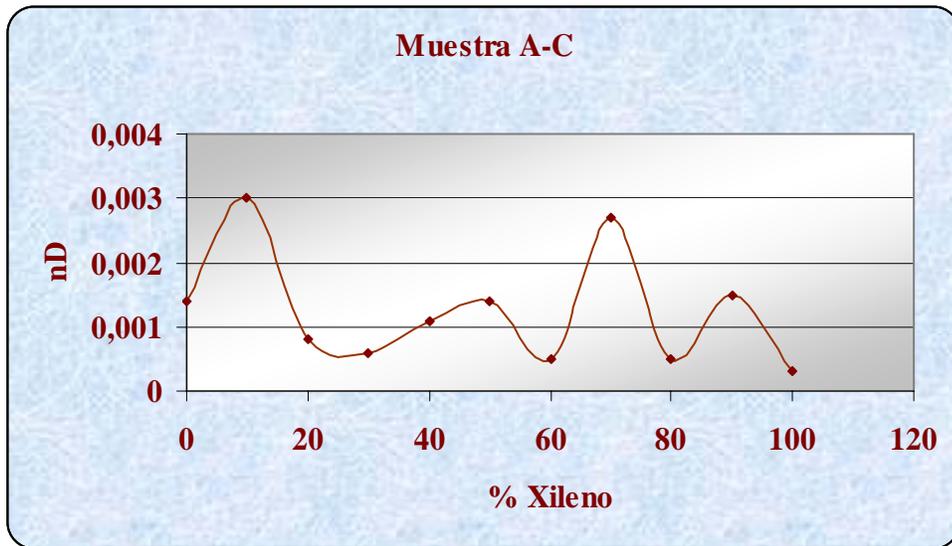
Gráfica B.4 Porcentaje de Sólidos Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra A-B-C



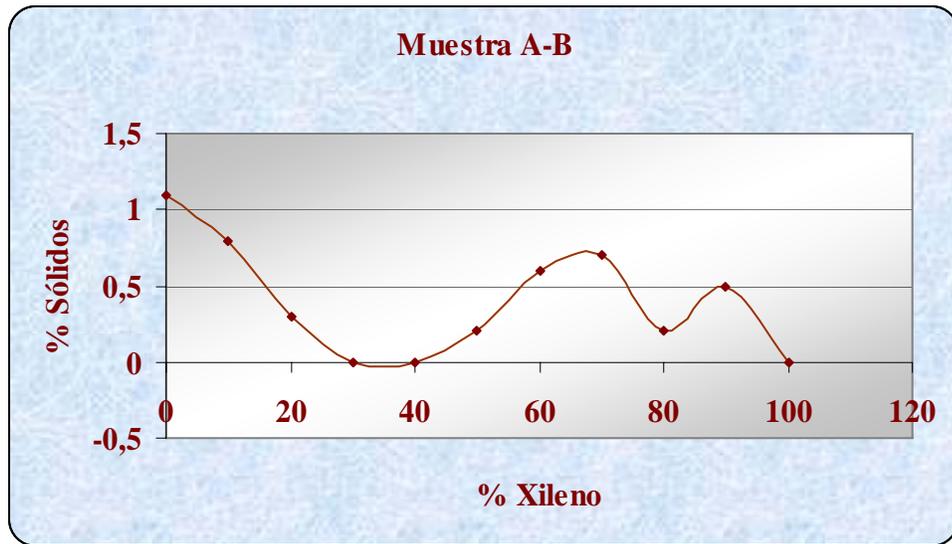
Gráfica B.5. Índice de Refracción Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra A-B



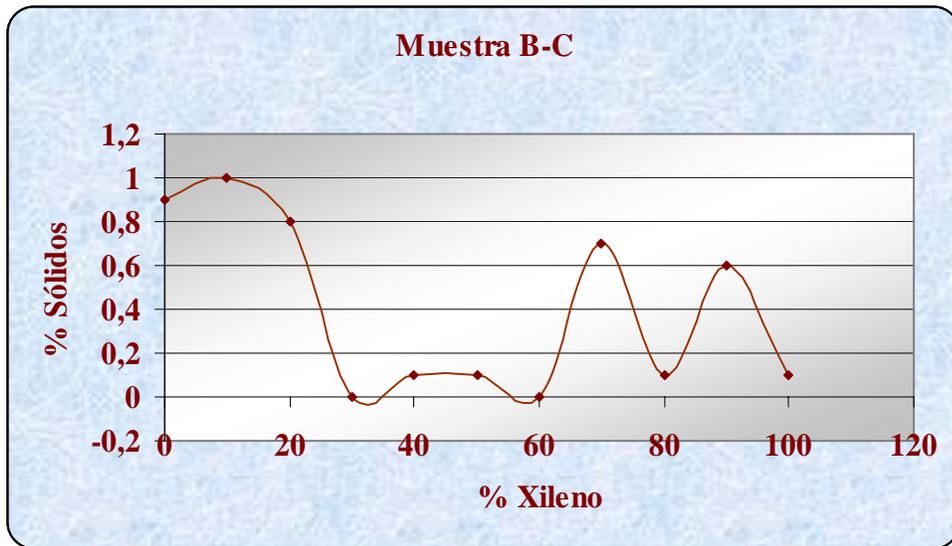
Gráfica B.6. Índice de Refracción Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra B-C



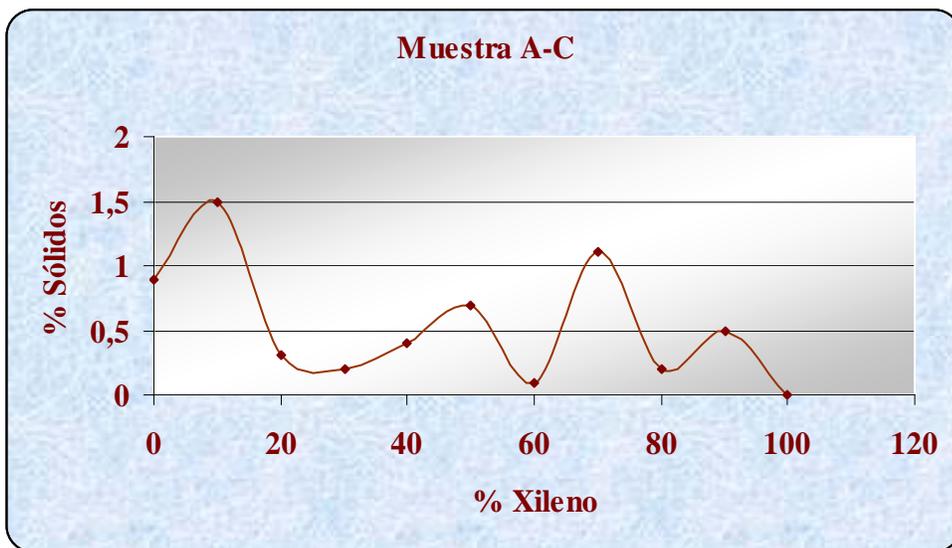
Gráfica B.7. Índice de Refracción Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra A-C



Gráfica B.8. Porcentaje de Sólidos Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra A-B



Gráfica B.9. Porcentaje de Sólidos Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra B-C



Gráfica B.10. Porcentaje de Sólidos Vs. Porcentaje de Xileno de la Muestra A-C

APÉNDICE C

FIGURAS

C.1. Estabilidad de crudos aplicando la Prueba IFP (Método de Manchas)

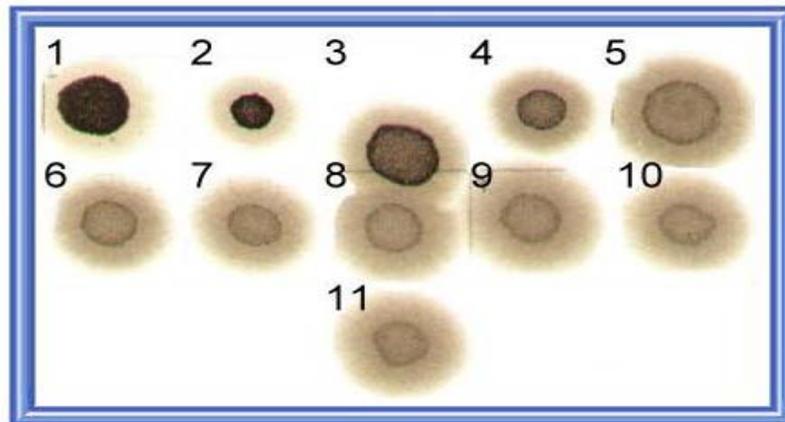


Figura N° C.1.1 Muestra A-B

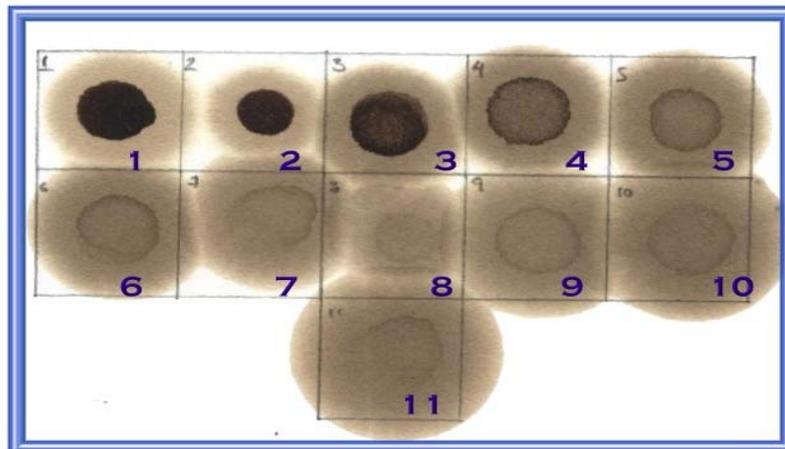


Figura N° C.1.2 Muestra A-C

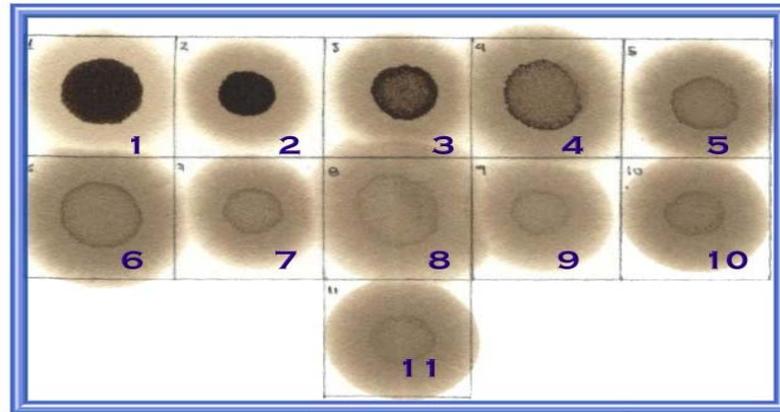


Figura N° C.1.3 Muestra A-B-C

C.2. Estabilidad de los crudos aplicando el Método de la Relación SBN/IN.

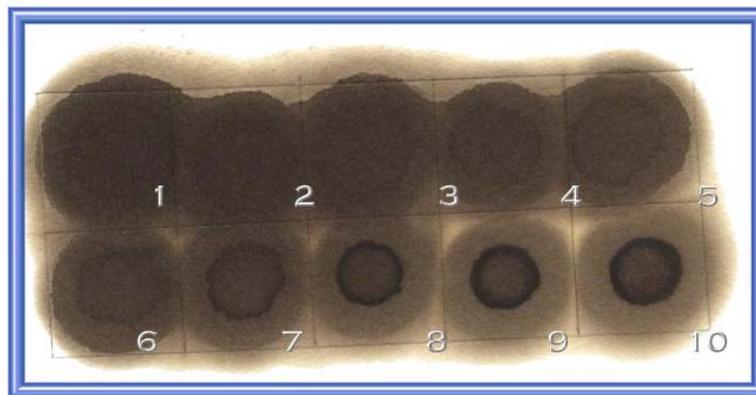


Figura N° C.2.1 Muestra B (Titulación con Heptano)

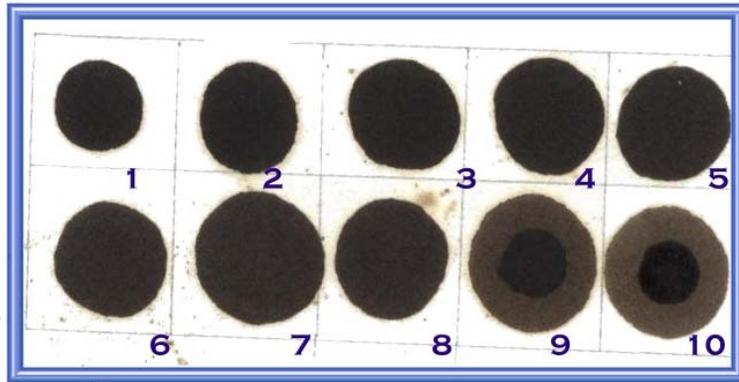


Figura N° C.2.3 Muestra C (Titulación con Heptano)

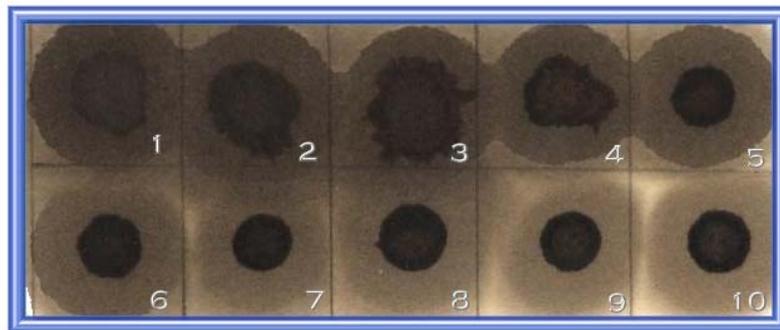


Figura N° C.2.5 Muestra A-B (Titulación con Heptano)

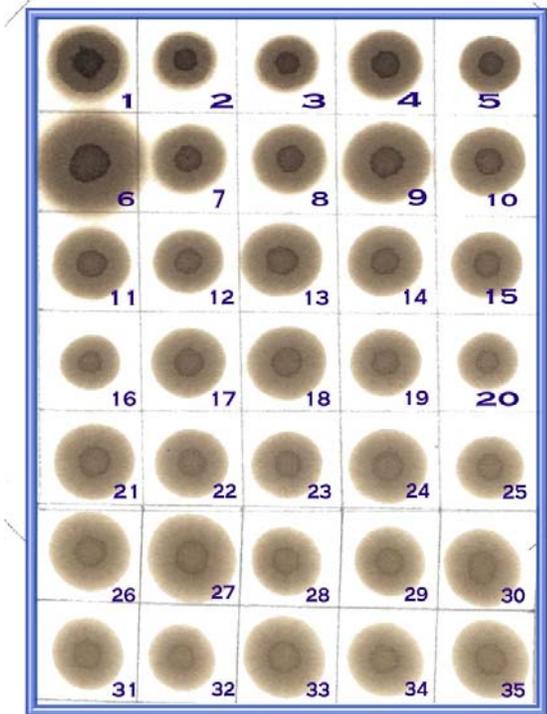


Figura N° C.2.6 Muestra A-B (Titulación con Xileno)

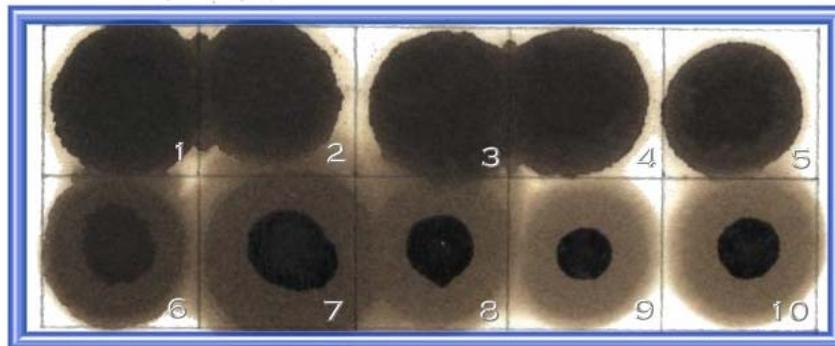


Figura N° C.2.7 Muestra A-C (Titulación con Heptano)

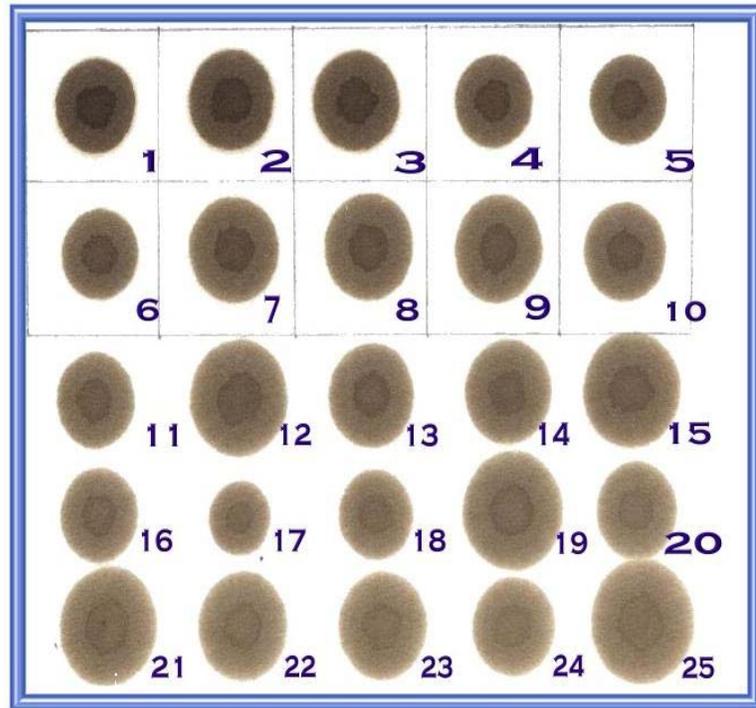


Figura N° C.2.8 Muestra A-C (Titulación con Xileno)

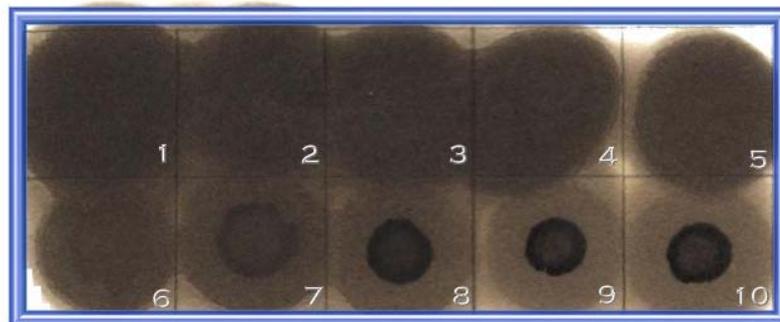


Figura N° C.2.9 Muestra B-C (Titulación con Heptano)