

**EQUIPO DE MEDICIÓN Y CONTROL DE LA PRECIPITACIÓN Y
DEPOSITACIÓN DE ASFALTENOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE
DISPERSIÓN DE LA LUZ DEL INFRARROJO CERCANO (NIR).**

**DIANA MILDRETH MORALES CASTAÑO
KELLY JOHANA GONZALEZ ARIAS**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE PETRÓLEOS
NEIVA-HUILA
2011**

**EQUIPO DE MEDICIÓN Y CONTROL DE LA PRECIPITACIÓN Y
DEPOSITACIÓN DE ASFALTENOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE
DISPERSIÓN DE LA LUZ DEL INFRARROJO CERCANO (NIR).**

**Trabajo de grado presentado para optar El Título De:
Ingeniero de Petróleos:**

**DIANA MILDRETH MORALES CASTAÑO
KELLY JOHANA GONZALEZ ARIAS**

**Director de proyecto
JAIRO ANTONIO SEPÚLVEDA GAONA
Magister en Ingeniería de Petróleos**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE PETRÓLEOS
NEIVA-HUILA
2011**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Neiva, 01 de Junio de 2011

DEDICATORIA

*A Dios y a la vida,
A mis padres, José A. Morales, M. Emilce Castaño y a mis hermanos,
Andrés, Mauricio, Felipe y Ximena
A mis mejores amigos, maestros y demás seres maravillosos que me guiaron
por el camino del amor y el conocimiento...*

Diana Mildreth Morales Castaño

*Doy gracias
A Dios, por guiarme en el Camino correcto,
A mis Padres Jose J. Gonzalez, Nohora Arias y hermanos,
Jeisson y Jose por el apoyo incondicional.
A mis familiares en especial a mi tía Elcy y mi tío Leo por los buenos consejos.
A mis profesores y mejores amigos por compartir los mejores momentos de la
vida Universitaria.*

Kelly Johana Gonzalez Arias

AGRADECIMIENTOS

Ingeniero JAIRO ANTONIO SEPULVEDA, por la difusión constante de sus conocimientos, dirección, confianza y apoyo incondicional para el desarrollo de este proyecto.

Química CARMEN PINZÓN, por las asesorías, conocimientos y dedicación a la investigación.

Ing. ALFONSO ORTIZ, por toda la colaboración prestada durante el desarrollo del proyecto.

Auxiliar de Laboratorio JOSE LUIS MOTA, por su colaboración en el laboratorio en el transcurso del proyecto.

Ingenieros electrónicos, OSCAR MAURICIO LOSADA y OSCAR JULIAN PERDOMO, por la amistad, apoyo y asesoría brindada en el proyecto.

Ingenieros electrónicos, JUAN SALDAÑA, DIEGO MARTINEZ, por ayudar a alcanzar los logros de este proyecto.

Ingeniero mecánico, ROGER FABIAN GONZALEZ, Instructor del SENA, por toda la paciencia, empeño y colaboración prestada a lo largo de la realización de este trabajo de grado.

A todos los maestros por formarnos como ingenieros y personas íntegras.

A nuestros padres, familiares y amigos por el apoyo brindado durante toda la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT . MEASUREMENT AND CONTROL EQUIPMENT PRECIPITATION AND DEPOSITION OF ASPHALTENE USING THE TECHNIQUE OF LIGHT SCATTERING NEAR INFRARED (NIR).	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. GENERALIDADES	13
2.1. OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2.3 ALCANCE	14
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
3.1 ASFALTENOS	15
3.2 MODELOS DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS	18
3.2.1 MODELOS DE SOLUBILIDAD	18
3.2.2 MODELOS SÓLIDOS	19
3.2.3 MODELOS COLOIDALES	19
3.2.4 MODELOS DE ECUACIONES DE ESTADO (EOS)	20
3.3 FACTORES QUE PROMUEVEN LA DEPOSITACIÓN DE ASFALTENOS	20
3.3.1 FACTORES TERMODINÁMICOS	21
3.3.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA	21
3.3.3 EFECTO DE LA PRESIÓN	21
3.3.4 FACTORES QUÍMICOS	22
3.3.5 FACTORES EXÓGENOS	23
3.3.6 FACTORES ELECTRICOS	24
3.3.7 FACTORES MECÁNICOS	24
3.3.8 OTROS FACTORES	24

3.4	DAÑOS PRODUCIDOS POR LA PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS	25
3.4.1	TAPONAMIENTO DE LAS GARGANTAS DE PORO	25
3.4.2	CAMBIOS EN LA HUMECTABILIDAD DE LA ROCA	26
3.4.3	CAMBIOS EN LA PERMEABILIDAD DE LA ROCA	26
3.4.4	TAPONAMIENTO DE LAS TUBERÍAS DE PRODUCCIÓN Y EQUIPOS DE SUPERFICIE	27
3.5	MÉTODOS ACTUALES EMPLEADOS EN EL LABORATORIO PARA DETERMINAR LA PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS	27
3.5.1	METODO GRAVIMÉTRICO	27
3.5.2	TÉCNICA DE RESONANCIA ACÚSTICA (ART)	28
3.5.3	TÉCNICA DE FILTRACIÓN	29
3.5.4	TÉCNICA DE LUZ DEL INFRARROJO CERCANO (NIR)	30
3.6	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO (ASFALNIR)	33
3.6.1	COMPONENTES DEL EQUIPO	33
3.6.1.1	MOTOR	33
3.6.1.2	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	34
3.6.1.3	CILINDRO	35
3.6.1.4	PISTONES	36
3.6.1.5	VENTANAS Y ORINGS	37
3.6.1.6	PIEZAS PARA SOPORTE DE LOS SENSORES INFRARROJOS	38
3.6.1.7	TAPAS	38
3.6.2	SENSORES Y TANSDUCTORES	39
3.6.2.1	TRANSDUCTOR DE PRESIÓN MSP 300-10K-P-3-N-1	39
3.6.2.2	SENSOR INFRARROJO TSL262R	39
3.6.2.3	SENSOR DE TEMPERATURA	40
3.6.2.4	EMISOR INFRARROJO LTE-5228A	40
3.6.3	PANEL DE CONTROL	40
3.7	MANUAL DE OPERACIÓN	40

3.7.1	DESCRIPCIÓN GENERAL	40
3.7.2	PARTES DEL EQUIPO	41
3.7.3	DESCRIPCION Y APLICACIÓN DEL EQUIPO	42
3.7.4	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	43
3.7.4.1	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	43
3.7.4.2	PREPARACIÓN DE LA CELDA PVT	43
3.7.4.3	PURGADO DE LA LÍNEA	44
3.7.4.4	DESPLAZAMIENTO DE FLUIDO DE LA CÁMARA 1-2	44
3.7.4.5	PRE-CARGA DE LA CELDA PVT	45
3.7.4.6	LIMPIEZA DEL EQUIPO	46
4.	RESULTADOS OBTENIDOS	47
4.1	COMPORTAMIENTO DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS	48
4.1.1	PRESIÓN VS TEMPERATURA AGUA PURA	48
4.1.2	TRANSMITANCIA VS TIEMPO AGUA PURA	48
4.1.3	TRANSMITANCIA VS PRESIÓN AGUA PURA A TEMPERATURA CONSTANTE	49
4.1.4	PRESIÓN VS. TEMPERATURA EN LA MEZCLA DE AGUA- MAIZENA	50
4.1.5	TRANSMITANCIA VS. PRESIÓN EN LA MUESTRA AGUA- MAIZENA	50
4.1.6	PRESIÓN VS. TEMPERATURA ACEITE MINERAL	52
4.1.7	TRANSMITANCIA VS. PRESIÓN ACEITE MINERAL	53
4.1.8	PRESIÓN VS. TEMPERATURA ACEITE MINERAL- ASFALTENOS	54
4.1.9	TRANSMITANCIA VS PRESIÓN ACEITE MINERAL- ASFALTENOS	54
4.1.10	PRESIÓN VS. TIEMPO MEZCLA CRUDO (5%) – HEPTANO (95%).	55
4.1.11	TRANSMITANCIA VS. TIEMPO MEZCLA CRUDO (5%) –HEPTANO (95%).	56

4.1.12	TRANSMITANCIA VS. PRESIÓN MEZCLA CRUDO(5%) -HEPTANO (95%).	57
4.1.13	PRESIÓN VS. TIEMPO (PRIMER INTERVALO DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS	58
4.1.14	TRANSMITANCIA VS. TIEMPO (PRIMER INTER- VALO DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS	58
4.1.15	PRESIÓN VS. TIEMPO (SEGUNDO INTERVALO DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS	59
4.1.16	TRANSMITANCIA VS. TIEMPO (SEGUNDO INTERVALO DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS	59
4.1.17	PRESIÓN VS. TIEMPO (TERCER Y CUARTO INTERVALO DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS	60
4.1.18	TRANSMITANCIA VS. TIEMPO (TERCER Y CUARTO INTERVALO DE PRECIPITACIÓN)	60
4.1.19	TRANSMITANCIA VS. PRESIÓN (PROMEDIO DE PUNTOS EN LOS QUE HUBO PRECIPITACIÓN) CRUDO(5%)- HEPTANO(95%).	61
	RECOMENDACIONES	62
	CONCLUSIONES	63
	BIBLIOGRAFIA	65

LISTA DE FIGURAS

- Fig.1 Estructura eléctrica de una partícula de asfaltenos.
- Fig.2 Dos Estructuras Típicas de Asfaltenos.
- Fig.3 Envoltorio de precipitación de asfaltenos.
- Fig.4 Taponamiento de las Gargantas de Poro
- Fig.5 Cambio de Humectabilidad de la Roca de un Yacimiento
- Fig.6 Imagen tomada de la revista, Oilfield Review "los asfaltenos problemáticos, pero ricos en potencial", Schlumbereger, Otoño de 2007.
- Fig.7 Imagen tomada de la revista, Oilfield Review, "los asfaltenos problemáticos, pero ricos en potencial", Schlumbereger, Otoño de 2007.
- Fig.8 Imágenes tomadas de revista, Oilfield Review, "los asfaltenos problemáticos, pero ricos en potencial", Schlumbereger, Otoño de 2007.
- Fig.9 Espectro de ondas electromagnéticas.
- Fig.10 Motor.
- Fig.11 Bomba de desplazamiento positivo.
- Fig.12 Celda contenedora de crudo.
- Fig.13 Dimensiones de la celda contenedora.
- Fig.14 Pistones.
- Fig.15 Ventanas, orings y piezas para soporte de los sensores infrarrojos NIR.
- Fig.16 Dimensiones de la pieza para soporte de los sensores infrarrojos NIR
- Fig.17 Tapas
- Fig.18. Transductor de presión MSP300-10K-P-3-N-1
- Fig.19 Sensor infrarrojo TSL262R.
- Fig.20 Emisor infrarrojo (LTE-5228A).
- Fig.21 Esquema general del equipo.
- Fig.22 Caja ASFALNIR.
- Fig.23 software ASFALNIR

- Fig.24 Comportamiento de la presión a temperatura constante de 23°C en agua pura.
- Fig.25 Comportamiento de la transmitancia vs. el tiempo en agua pura a temperatura constante de 23°C.
- Fig.26 Transmitancia del agua vs. presión a temperatura constante de 23°C.
- Fig.27 Comportamiento de la presión a temperatura constante de 23°C en agua-maizena.
- Fig.28 Comportamiento de la transmitancia vs. presión a temperatura constante de 23 °C en agua-maizena.
- Fig.29 Comportamiento de la presión vs. temperatura en aceite mineral.
- Fig.30 Comportamiento de la transmitancia vs. presión en aceite mineral.
- Fig.31 Comportamiento de la presión vs. temperatura en el aceite mineral-asfaltenos.
- Fig.32 Comportamiento de la transmitancia vs. presión en aceite mineral-asfaltenos.
- Fig.33 Comportamiento de la presión vs. tiempo en el crudo (5%)-Heptano (95%).
- Fig.34 Comportamiento de la transmitancia vs. presión en crudo (5%)-Heptano (95%).
- Fig.35 Precipitación de los asfaltenos en la mezcla de crudo (5%)-Heptano (95%).
- Fig.36 Comportamiento de la presión vs tiempo en una mezcla crudo (5%)-Heptano (95%), (primer intervalo de presión).
- Fig.37 Comportamiento de la transmitancia vs tiempo en una mezcla crudo (5%)-Heptano (95%), (primer intervalo de presión).
- Fig.38 Comportamiento de la presión vs tiempo en una mezcla crudo (5%)-Heptano (95%), (segundo intervalo de presión).
- Fig.39 Comportamiento de la transmitancia vs tiempo en una mezcla crudo (5%)-Heptano (95%), (segundo intervalo de presión).
- Fig.40 Comportamiento de la presión vs tiempo en una mezcla crudo (5%)-Heptano (95%), (tercer y cuarto intervalo de presión).
- Fig.41 Comportamiento de la transmitancia vs tiempo en una mezcla crudo (5%)-Heptano (95%), (tercer y cuarto intervalo de presión).

Fig.42 Comportamiento de la transmitancia vs presión en una mezcla crudo (5%)-Heptano (95%).

ANEXOS

ANEXO 1. DATASHEET DEL SENSOR INFRARROJO

ANEXO 2. DATASHEET DEL EMISOR INFRARROJO

ANEXO 3. DATASHEET DEL TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

ANEXO 4. DATASHEET DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA

RESUMEN

TÍTULO

EQUIPO DE MEDICIÓN Y CONTROL DE LA PRECIPITACIÓN Y DEPOSITACIÓN DE ASFALTENOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE DISPERSIÓN DE LA LUZ DEL INFRARROJO CERCANO (NIR).

AUTORES

Diana Mildreth Morales Castaño, Kelly Johana Gonzalez Arias.

PALABRAS CLAVES

Onset; transmitancia; precipitación; asfaltenos; presión de saturación; envolvente.

DESCRIPCIÓN

.....

Tesis de pregrado

Facultad de Ingeniería, Programa de Petróleos.

Director M.sc. Jairo Antonio Sepúlveda Gaona.

ABSTRACT

TITLE

MEASUREMENT AND CONTROL EQUIPMENT PRECIPITATION AND DEPOSITION OF ASPHALTENE USING THE TECHNIQUE OF LIGHT SCATTERING NEAR INFRARED (NIR).

AUTHORS

Diana Mildreth Morales Castaño, Kelly Johana Gonzalez Arias.

KEY WORDS

Onset; transmittance; precipitation of asphaltenes; saturation pressure; envelope.

DESCRIPTION

.....

Undergraduate Thesis

Engineering Faculty, Petroleum Program.

Director: M.sc. Jairo Antonio Sepúlveda Gaona.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria petrolera, los asfaltenos son conocidos porque pueden acumularse en muchos lugares a lo largo del sistema de producción, desde el interior de la formación hasta las bombas, la tubería de producción, el cabezal del pozo, las válvulas de seguridad, las líneas de flujo y las instalaciones de superficie. No obstante, los análisis de laboratorio y las operaciones de intervención en campo ayudan a evitar la ocurrencia de este fenómeno.

Los cambios producidos en la presión, temperatura y composición pueden provocar la precipitación y depositación de asfaltenos. Estos cambios pueden ser inducidos por una diversidad de procesos, incluyendo el agotamiento primario, la inyección de gas natural o dióxido de carbono, los tratamientos de acidificación y la producción mezclada de fluidos incompatibles entre sí.

Las variaciones en las condiciones de presión, temperatura y composición, pueden precipitar los asfaltenos e incluso los depósitos de gran espesor pueden producir la interrupción de la producción. El comportamiento de los asfaltenos está influenciado principalmente por los cambios de presión.

El presente trabajo de grado pretende implementar un dispositivo que determine la precipitación de asfaltenos utilizando la técnica de dispersión de la luz (NIR), donde el principio es la utilización de luz cuya longitud de onda se encuentra en el espectro del infrarrojo cercano (luz del infrarrojo cercano, NIR) para examinar los fluidos a medida que precipitan los asfaltenos, ya sea isotérmicamente con la reducción de la presión, o isobáricamente con la reducción de la temperatura. En la configuración de laboratorio para el servicio de muestreo y análisis de fluidos, la celda PVT utilizada para esta técnica es un cilindro compuesto por dos cámaras cónicas, cada una con un pistón cónico, para permitir el desplazamiento del fluido de prueba entre las cámaras,

lográndose la homogenización de la muestra, que será función de las propiedades del fluido analizado.

Una fuente de luz infrarroja, colocada sobre uno de los lados de la celda, genera luz con longitud de onda de 940nm y una energía de transmitancia específica. Cuando los asfaltenos precipitan, dispersan la luz, es decir, ocurre una reducción en la energía de transmitancia detectada por los sensores situados al otro lado de la celda.

La información registrada en los sensores es tabulada y gráfíca mediante la captación de la información, a través de una tarjeta de transferencia de datos, para determinar el comportamiento del hidrocarburo en lo referente a la precipitación de asfaltenos cuando se han especificado para diferentes condiciones de presión y temperatura. Los resultados obtenidos permiten determinar la presión de burbuja, al igual que las presiones superior e inferior de inicio de precipitación de asfaltenos.

2. GENERALIDADES

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar el ONSET de los asfaltenos, utilizando la técnica de dispersión de la luz del infrarrojo cercano (NIR).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el ONSET de los asfaltenos en una mezcla de 95% de heptano y 5% de crudo a una presión y una temperatura específicas.
- Evaluar el comportamiento de las variables presión, temperatura y transmitancia en diferentes tipos de fluidos: agua pura, aceite mineral y asfaltenos en aceite mineral.
- Hacer un manual de procedimientos para la operación, medición, e interpretación de los resultados obtenidos con el equipo ASFALNIR.
- Aportar a la Universidad y específicamente al programa de Ingeniería de Petróleos una herramienta más, que contribuya con el desarrollo de nuevas investigaciones en el área de la termodinámica de los compuestos orgánicos en los hidrocarburos.

2.3. ALCANCE

El proyecto de investigación se llevará a cabo con la finalidad de cumplir a cabalidad con uno de los requisitos para aspirar al título de ingeniero de petróleos, dejando al descubierto todas las capacidades que caracterizan al ingeniero. No obstante, aporta importantes adelantos para el grupo de investigación de comportamiento de fases (COFA) de la Universidad Surcolombiana. Siguiendo este orden de ideas, se propone elaborar el dispositivo para la medición de la precipitación de asfaltenos utilizando la técnica de dispersión de la luz del infrarrojo cercano.

El proyecto se enfoca principalmente a la predicción del comportamiento de los campos con presencia de fracciones pesadas de los hidrocarburos, y en la caracterización de nuevas reservas probadas.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

3.1 ASFALTENOS.

El petróleo en su estado natural se constituye de una mezcla heterogénea de hidrocarburos orgánicos de estructura variada y de pesos moleculares diferentes ; en general, es posible agruparlos en cuatro grupos, que constituyen el conjunto SARA: Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos.

Los asfaltenos son las fracciones pesadas del petróleo, que representan una clase de macromoléculas de alta polidispersidad, gran potencial para la formación de depósitos y que son función de su solubilidad frente a hidrocarburos de bajo peso molecular, cuya apariencia física se caracteriza por ser un sólido amorfo de color variable desde el marrón oscuro a negro, que se precipita por la adición de un exceso de n-heptano o n-pentano y es soluble en tolueno o benceno caliente. Se constituyen principalmente por anillos aromáticos de alto peso molecular y polaridad, ligados con cadenas alquílicas y cicloalcanos, además de compuestos heterocíclicos que poseen nitrógeno (0.5% a 3.3%), azufre (0.3% a 10.3%), oxígeno (0.3% a 4.9 %) y metales como Ni, V, Mn, Fe, Mg (Altgelt, 1994). La relación C/H en los asfaltenos es del orden de 1:1.1, aunque ésta varía dependiendo del tipo de precipitante utilizado.

El contenido de heteroátomos permite establecer ciertas similitudes entre los asfaltenos y el kerógeno (producto de la degradación de la materia orgánica por microorganismos) hasta el punto de que una de las hipótesis que intentan explicar el origen de los asfaltenos los presentan como un estado de maduración intermedio entre el kerógeno y los hidrocarburos livianos [5], en consecuencia Acevedo y colaboradores [10] determinaron que todos los asfaltenos estudiados poseían relaciones C/H y N/C similares sin importar el crudo de donde provienen, lo que sugiere que pueden tener una composición relativamente definida.

Se considera que la estructura de los asfaltenos consiste en un núcleo aromático condensado con cadenas alquílicas laterales y heteroátomos (organizados en grupos funcionales como: carboxilo, cetonas, aldehídos, benzotiofenos, dibenzotiofenos, naftenobenzotiofenos, sulfuros alquílicos, sulfuros alquil-arílicos y sulfuros arílicos incorporados en muchas de las estructuras cíclicas; el sistema aromático condensado puede tener desde 4 hasta 20 anillos bencénicos.

Estudios realizados empleando técnicas de depolarización fluorescente han demostrado que el peso molecular de una molécula de asfalteno se encuentra entre valores de 500 a 1000, y un diámetro que oscila entre 10 y 20 Å, aclarando que este dato corresponde a una sola molécula de asfalteno, pues estas propiedades varían acorde a la composición presente en el crudo, cuyos heteroátomos tenderán a adherirse a los asfaltenos debido a su alta polaridad. Un parámetro de suma importancia, es la evaluación de la estabilidad de los asfaltenos en el petróleo, que yacen suspendidos en la solución en forma de coloides esféricos (micelas) dependiendo de la polaridad del solvente en el cual se encuentren, no obstante, la formación de estos flóculos ocurre cuando el asfalteno que resulta insoluble en el medio, es adsorbido por polímeros en su superficie, tales partículas son las resinas, que impiden que las partículas de asfaltenos se agreguen, contrarrestando las fuerzas de atracción de van der Waals.

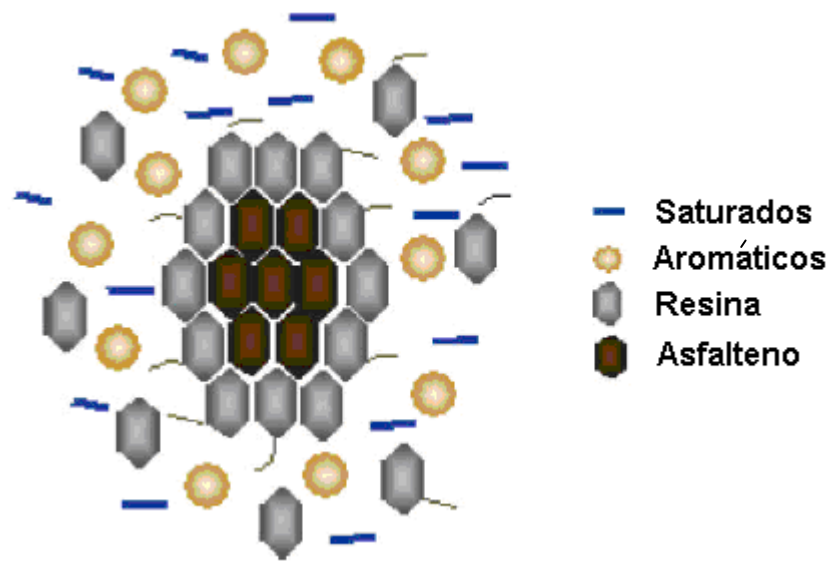


Fig. 1. Estructura eléctrica de una partícula de asfaltenos.
 Ref. Grupo de Investigación de Yacimientos de Hidrocarburos, Facultad de Minas Instituto de Energía, Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín.

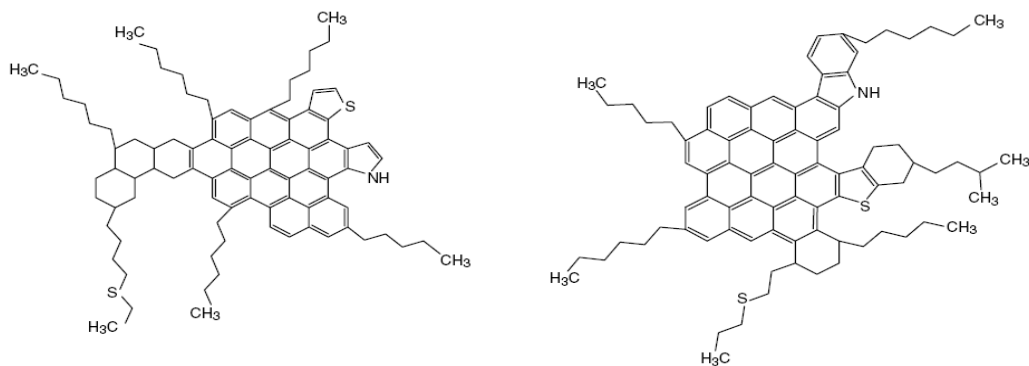


Fig.2. Dos estructuras típicas de asfaltenos
 Fuente: Rogel E. y col. (2001)

Los asfaltenos por ser una masa compleja y poco explorada requieren de numerosas pruebas para la determinación de su peso molecular, tamaño de partícula e inicio de precipitación. Técnicas analíticas como la difracción de rayos X, resonancia magnética nuclear, absorción óptica, espectroscopía molecular de fluorescencia, difracción de neutrones a pequeños ángulos, espectroscopía de masas, ultracentrifugación, microscopía de sonda de

barrido, hidrogenación, oxidación, entre otras, han convergido en la determinación de la estructura molecular para asfaltenos que contienen de 4 a 10 anillos aromáticos. Sin embargo, estas técnicas solo se nombran y no se hará énfasis en ellas, pues el objetivo consiste en analizar las técnicas que previenen la precipitación de los asfaltenos.

3.2. MODELOS DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS.

Los experimentos de laboratorio para determinar la envolvente de precipitación de asfaltenos normalmente se llevan a cabo en condiciones de yacimiento y, además, con variaciones en la presión y la temperatura.

Para comprender mejor el comportamiento de los asfaltenos desde el yacimiento hasta superficie, se han desarrollado modelos que intentan simular el fenómeno de precipitación y depositación de asfaltenos. Estos modelos pueden dividirse en cuatro grupos, los cuales son:

3.2.1 MODELOS DE SOLUBILIDAD.

Estos modelos son los más comúnmente aplicados para predecir la precipitación de asfaltenos. El primero de esos modelos, establecido en 1984, emplea un enfoque termodinámico para describir la estabilidad de los asfaltenos en términos de equilibrio reversible de la solución. Esta versión fue fácil de implementar pero no reprodujo el comportamiento observado en forma experimental. Desde entonces, numerosos investigadores han elaborado mejoras, fundamentalmente en relación con el cálculo de los parámetros de solubilidad de los asfaltenos y la caracterización de las fracciones pesadas presentes en el petróleo crudo. Posteriormente, los investigadores tuvieron en cuenta el efecto de la precipitación de asfaltenos sobre la fase gaseosa e implementaron un cálculo del equilibrio trifásico. El trabajo fue llevado a cabo en el año 1995 y amplió el método para incluir la termodinámica de las soluciones de polímeros. Este modelo más reciente puede conducir a una buena representación del comportamiento de los asfaltenos si se calibra con los resultados experimentales, pero es probable que no estime en forma

precisa la precipitación de asfaltenos en fluidos con composiciones diferentes a las del petróleo crudo de la calibración.

3.2.2 MODELOS SÓLIDOS

Los modelos sólidos tratan el asfalteno en proceso de precipitación como un solo componente en estado sólido, que reside en un fluido cuyas fases se modelan utilizando una EOS cúbica. Los modelos sólidos pueden requerir numerosos parámetros empíricos y afinaciones para ajustarse a los datos experimentales. Un modelo sólido asume que los cortes pesados del petróleo crudo pueden dividirse en componentes precipitantes (asfaltenos) y no precipitantes. Este modelo es fácil de implementar, pero además requiere datos experimentales para determinar los parámetros clave.

En otro modelo sólido, los asfaltenos son tratados como un seudocomponente aglomerado y todos los demás componentes se consideran solventes. El método es simple y permite el cálculo directo de la solubilidad de los asfaltenos, pero no incluye los efectos de la presión, que son particularmente importantes para la estabilidad de los asfaltenos.

3.2.3 MODELOS COLOIDALES.

Los modelos coloidales poseen su base en la termodinámica estadística y en la ciencia coloidal. En el primero de estos modelos, se asumió que los asfaltenos existen en el petróleo como partículas sólidas en suspensión coloidal, estabilizada por las resinas adsorbidas en sus superficies. En este modelo, el equilibrio vapor-líquido calculado con una EOS establece la composición de la fase líquida a partir de la cual puede flocular el asfalteno. Se interpreta que las mediciones de la precipitación de asfaltenos, en una serie de condiciones, proveen un potencial químico crítico para las resinas, que se utiliza subsiguientemente para predecir la precipitación de asfaltenos en otras condiciones.

3.2.4 MODELOS DE ECUACIONES DE ESTADO (EOS).

Estos modelos plantean cuatro supuestos básicos:

- ✓ Las moléculas de asfaltenos existen fundamentalmente como monómeros en el petróleo crudo, y como agregados en un estado asociado en la fase de precipitación.
- ✓ La asociación de asfaltenos conduce a su precipitación.
- ✓ El proceso de precipitación de asfaltenos es termodinámicamente reversible.
- ✓ La fase de precipitación de asfaltenos es una fase pseudo-líquida.

Estos modelos combinan los términos que describen los efectos químicos y físicos de la asociación de las moléculas de asfaltenos. Requieren la composición, el peso molecular, el tamaño molecular y la energía de interacción de cada componente.

Hasta la fecha, la mayoría de los modelos de precipitación de asfaltenos precedentes han sido probados solamente en conjuntos limitados de resultados experimentales. Si bien muchos autores sostienen que su modelo podría arrojar predicciones razonables, ninguno puede ser utilizado para predecir la precipitación de asfaltenos en forma consistente. No obstante, estos modelos fueron desarrollados en su totalidad antes de que existiera consenso acerca del peso y la estructura molecular de los asfaltenos.

3.3. FACTORES QUE PROMUEVEN LA DEPOSITACIÓN DE ASFALTENOS.

La precipitación y depositación de asfaltenos ocurre básicamente por cambios en la presión, la temperatura, la composición del crudo y la tasa de corte, que son los parámetros que controlan el efecto de polidispersidad. Estos cambios pueden ser inducidos por una diversidad de procesos, incluyendo el agotamiento primario, la inyección de gas natural o dióxido de carbono, los

tratamientos de acidificación y la producción mezclada de fluidos incompatibles entre sí.

En consecuencia cualquier acción de naturaleza química, eléctrica o mecánica, en el proceso de producción, que altere dichos parámetros, tiende a comprometer la dispersabilidad, ocasionando la floculación y precipitación de los asfaltenos en el crudo. De esta manera, este fenómeno puede originarse debido a los siguientes factores:

3.3.1 FACTORES TERMODINÁMICOS

La dispersabilidad molecular está particularmente influenciada por cambios graduales en las variables operacionales más importantes dentro del proceso de producción: la presión y la temperatura, los cuales son generalmente causados por la interacción del crudo con obstrucciones, tales como: válvulas de subsuelo, conexiones entre tuberías, que controlan la velocidad del flujo y, en consecuencia, la ocurrencia o no del fenómeno de precipitación.

3.3.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA

Al disminuir la temperatura, desciende la capacidad de solubilización de los componentes del petróleo, ocasionando que algunas micelas resina-asfalteno se desestabilizan y se agregan entre ellas formando grandes cúmulos.

3.3.3 EFECTO DE LA PRESIÓN

Bajo condiciones isotérmicas, la disminución de la presión del crudo se asocia con la disminución en la solubilidad de los componentes del crudo y facilitando con ello, la agregación y precipitación de las partículas amorfas.

La envolvente de precipitación de asfaltenos (EPA) en el espacio presión-temperatura, es un gráfico de suma importancia ya que muestra las zonas delimitadas de estabilidad (curva roja) para los asfaltenos en solución. Para las condiciones de yacimiento dadas (punto rojo), el agotamiento primario hace que la presión se reduzca. Cuando la presión alcanza la envolvente superior de precipitación de asfaltenos, también conocida como presión de inicio de la

precipitación de asfaltenos, los asfaltenos menos solubles precipitarán. Conforme la presión continúe decreciendo, más asfaltenos precipitarán hasta que se alcance la presión de burbujeo, y se libere el gas de la solución. Con la reducción continua de la presión se ha removido suficiente gas del sistema, y el petróleo crudo podrá comenzar a redissolver los asfaltenos en la envoltente inferior de precipitación de asfaltenos (1).

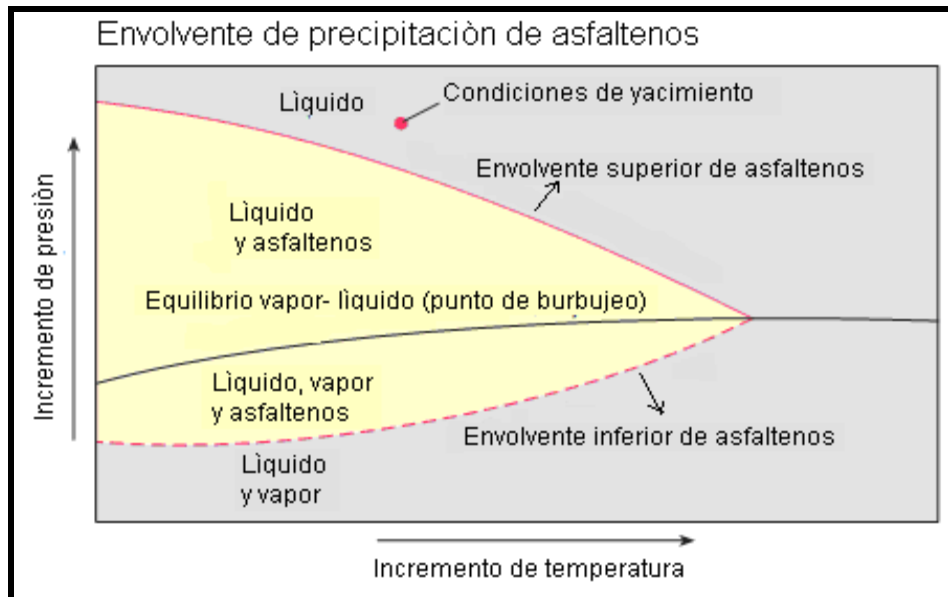


Fig.3. Envoltente de precipitación de asfaltenos.

3.3.4 FACTORES QUÍMICOS

Desde el punto de vista químico, existen diferentes vías a través de las cuales se puede provocar cambios en la composición del crudo, y por consiguiente, la floculación de los asfaltenos. Éstas se encuentran asociadas a los casos de contacto íntimo del crudo con sustancias no involucradas en el proceso natural de producción.

3.3.5 FACTORES EXÓGENOS

Los factores que más influencia tienen en la estabilidad de los asfaltenos son:

- Inyección de gas natural
- CO₂
- Gases ricos en procesos de levantamiento artificial
- Mezcla con diluentes tales como condensados y livianos.

Cuando se inyecta dióxido de carbono a una formación para recuperación secundaria, se puede provocar la formación de residuos minerales y orgánicos. El agua que contiene el CO₂ se vuelve ácida, y disuelve la calcita que se encuentra en la formación y además se produce un cambio de pH que provoca en el crudo la precipitación de los asfaltenos. Así mismo existe una caída de presión que se produce en la formación alrededor de un pozo en producción, que puede provocar que el CO₂ se separe de la solución y precipite residuos; la formación de incrustaciones minerales en el ambiente que rodea al pozo provoca una caída adicional de la presión y aun mas precipitaciones, este proceso de autogeneración puede llegar a sellar totalmente los cañoneos o crear una pared impermeable entre el hoyo y la formación en unos pocos días, deteniendo la producción por completo.

Otro factor que afecta considerablemente al yacimiento en cuanto a precipitación de asfaltenos es el tratamiento de estimulación con ácidos, solventes y surfactantes.

- Mezcla de crudos de diferentes origen.

Cuando se tiene un pozo que produce a partir de dos o más arenas productoras, y se comparte a la vez la tubería, se corre el riesgo de incompatibilidad de los crudos. Ésto debido a la composición de cada uno; cada crudo mirado independientemente es estable, pero si existe un cambio en la composición, ya sea que aumente o disminuya la cantidad de algún componente, éste puede conllevar a la precipitación de los asfaltenos. Las

causas pueden ser varias, entre ellas está la variación del pH, cambios en la concentración de resinas y asfaltenos, o el contenido de volátiles presentes en la mezcla.

3.3.6 FACTORES ELÉCTRICOS

Distintas investigaciones han estudiado el fenómeno de precipitación de asfaltenos a nivel de medio poroso, y determinaron que la causa principal era la desestabilización de los asfaltenos por la presencia de un campo eléctrico que se generaba debido al flujo de los fluidos dentro del medio poroso. Asimismo, demostraron que los asfaltenos poseen una carga eléctrica intrínseca. Esta carga ha sido considerada, parcialmente, como responsable de la estabilidad de la micela asfalteno-resinas, según el modelo coloidal. De esta manera las micelas se mantienen estabilizadas, entre otras cosas, debido a la repulsión entre cargas del mismo signo ubicadas sobre los núcleos de las micelas. La generación de un potencial de corriente producido por el flujo de fluidos a través del medio poroso o la aplicación de un potencial externo suficientemente grande, puede neutralizar las cargas eléctricas y perturbar el balance de fuerzas entre las micelas causando la floculación.

3.3.7 FACTORES MECÁNICOS

Entre estos factores se encuentran los efectos de cizalla por equipos de bombeo de subsuelo, fuerzas de fricción y fuerzas de impacto entre partículas.

3.3.8 OTROS FACTORES

Hay evidencias de que cualquier sólido suspendido en el crudo (finos de arcillas o minerales, limaduras de metales, sedimentos y grava) a menudo favorecen los procesos de precipitación de los asfaltenos. Esas pequeñas partículas, suspendidas en el crudo, pueden servir de núcleos o “sitios de nucleación” que promueven la adhesión de los coloides de asfaltenos, formándose así grandes cadenas de moléculas o partículas que tienden a precipitar más rápidamente de la solución de crudo. Este efecto ocurre, sobre todo, a nivel de las perforaciones y más marcado a nivel de las tuberías donde

las rugosidades internas también representan “sitios de nucleación” para estos compuestos.

3.4 DAÑOS PRODUCIDOS POR LA PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS

3.4.1 TAPONAMIENTO DE LAS GARGANTAS DE PORO

Los depósitos cercanos al pozo presentan partículas de menor tamaño respecto a las incrustaciones que se encuentran en las tuberías, estas bloquean los empaques de grava y las mallas, además de los poros de la matriz. Por lo general, se forman después de largos periodos de cierre del pozo, ya que el flujo transversal hace que se mezclen aguas incompatibles provenientes de distintas capas, ver figura 4.

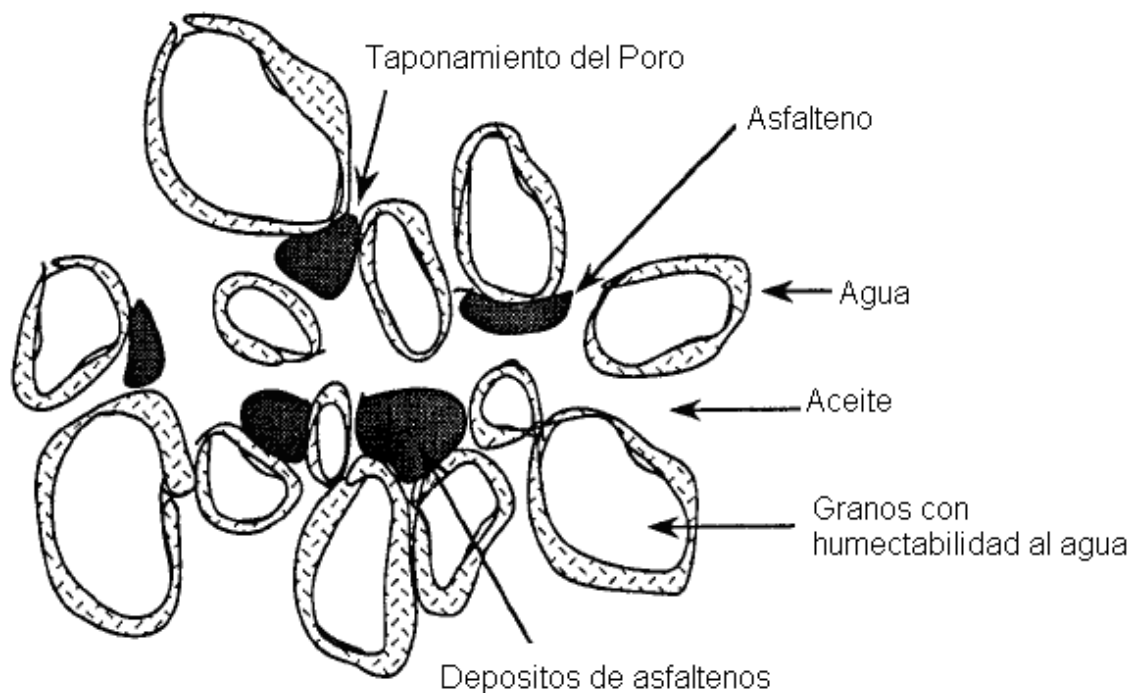


Fig.4. Taponamiento de las gargantas de poro
Fuente: Leontaritis, K.J. (1989)

La precipitación y depositación de los asfaltenos provoca dentro de la roca una reducción de la porosidad, dado que ellos ocuparán parte del volumen poroso de la roca.

3.4.2 CAMBIOS EN LA HUMECTABILIDAD DE LA ROCA

La mayoría de las rocas de yacimiento están mojadas por agua, sin embargo cuando las partículas asfálticas se depositan y se adhieren a la roca generatriz, los reservorios experimentan una humectabilidad inversa, es decir pasa de ser mojable al agua a ser mojable al aceite, provocando como efecto secundario el aumento del corte de agua. En la siguiente figura se ilustra el cambio de humectabilidad de la roca.

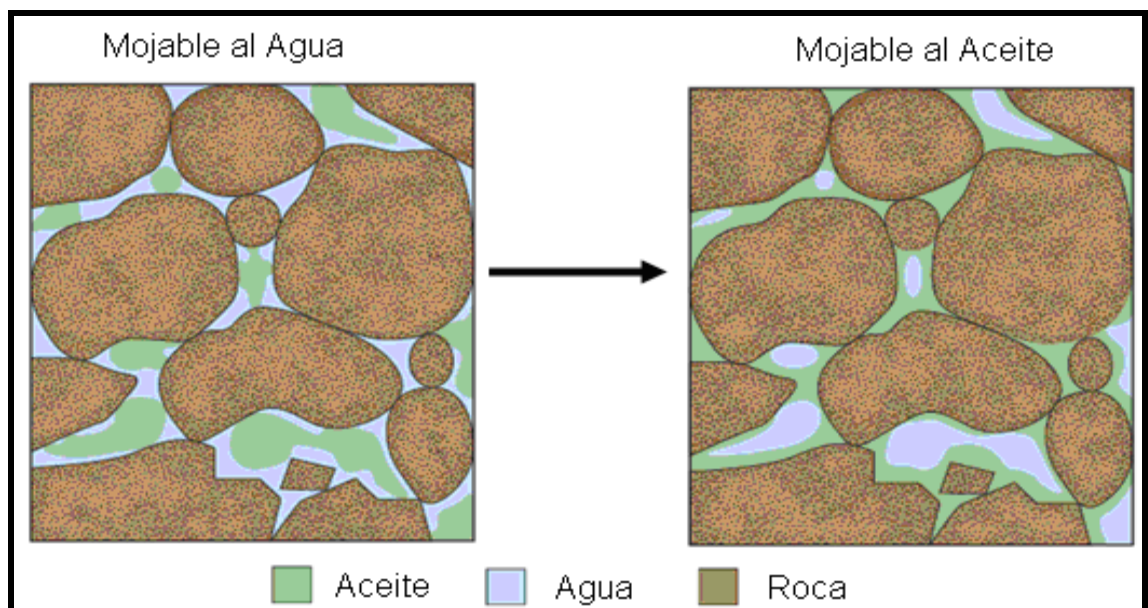


Fig. 5. Cambio de humectabilidad de la roca de un yacimiento

3.4.3 CAMBIOS EN LA PERMEABILIDAD DE LA ROCA.

Los daños provocados en la matriz por los depósitos orgánicos, no solamente producen un aumento en el corte de agua (f_w), también conllevan a una restricción del flujo de los fluidos a través de la formación, lo que provoca una pérdida de permeabilidad, esto debido al espacio ocupado por los depósitos ubicados en las gargantas de los poros; no obstante, según Kocabas I. este problema puede ser peor, sus investigaciones muestran que el daño puede provocar una reducción de la permeabilidad hasta el 50 % de la permeabilidad total.

3.4.4 TAPONAMIENTO DE LAS TUBERÍAS DE PRODUCCIÓN Y EQUIPOS DE SUPERFICIE

La formación de depósitos en las tuberías provoca la reducción de la tasa de producción al aumentar la rugosidad de la superficie del tubo y reducir el área de fluencia. Ésto origina un aumento en la caída de presión y, en consecuencia, la producción disminuye. Si aumenta el crecimiento de depósitos, se hace imposible el acceso a secciones más profundas del pozo, y finalmente las incrustaciones terminan por bloquear el flujo de producción. Este problema viene asociado con la producción de arenas, que por lo general contienen sulfuros de hierro, carbonatos o productos corrosivos.

3.5 METODOS ACTUALES EMPLEADOS EN EL LABORATORIO PARA DETERMINAR LA PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS.

Variadas técnicas han sido implementadas en la determinación del punto de inicio de precipitación de asfaltenos en petróleos vivos, como lo son el método gravimétrico, la resonancia acústica, la filtración, la microscopía a alta presión, el análisis granulométrico, dispersión de la luz del infrarrojo cercano (NIR), entre otras, que se han convertido en estándares industriales para la clasificación de los fluidos de yacimientos en cuanto a estabilidad de los asfaltenos, las ceras y los hidratos.

3.5.1 MÉTODO GRAVIMÉTRICO

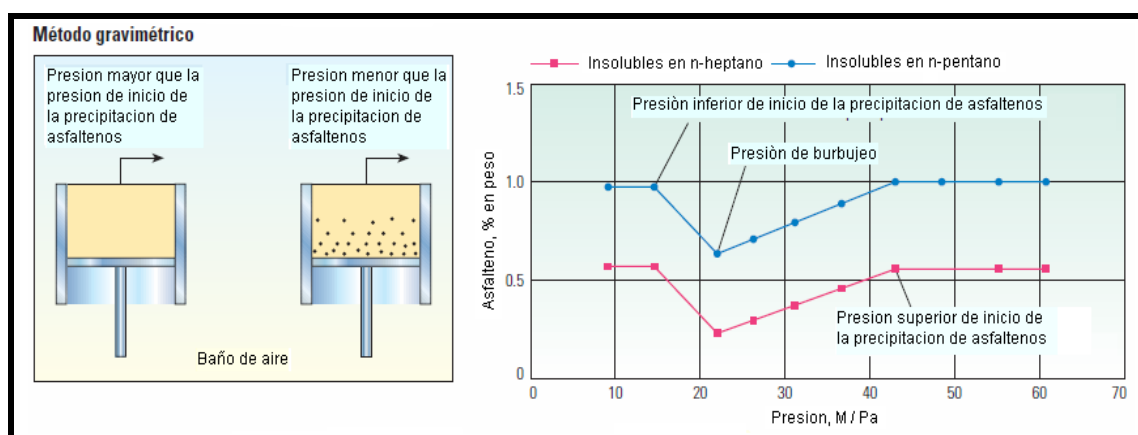


Fig.6. Imagen tomada de la revista, *Oilfield Review* "los asfaltenos problemáticos, pero ricos en potencial", Schlumberger Otoño de 2007.

El método gravimétrico, es un procedimiento que requiere del análisis SARA para la cuantificación del porcentaje de asfaltenos presentes en el crudo a medida que la solución de petróleo sufre despresurizaciones. Los asfaltenos precipitan y caen en el fondo de una celda PVT (presión-volumen-temperatura), y simultáneamente se van obteniendo datos de concentración de asfaltenos en función de la presión con transiciones que corresponden a los límites superior e inferior de la envolvente de precipitación de asfaltenos. Una de las principales desventajas del método es que resulta ser subjetivo al momento de graduar los intervalos de presión, y además al tratar de incrementar la precisión se requieren de intervalos pequeños entre las mediciones de presión, por lo que el experimento puede resultar prolongado y necesitar de volúmenes grandes de fluido de yacimiento, ver figura 6.

3.5.2 TÉCNICA DE RESONANCIA ACUSTICA (ART)

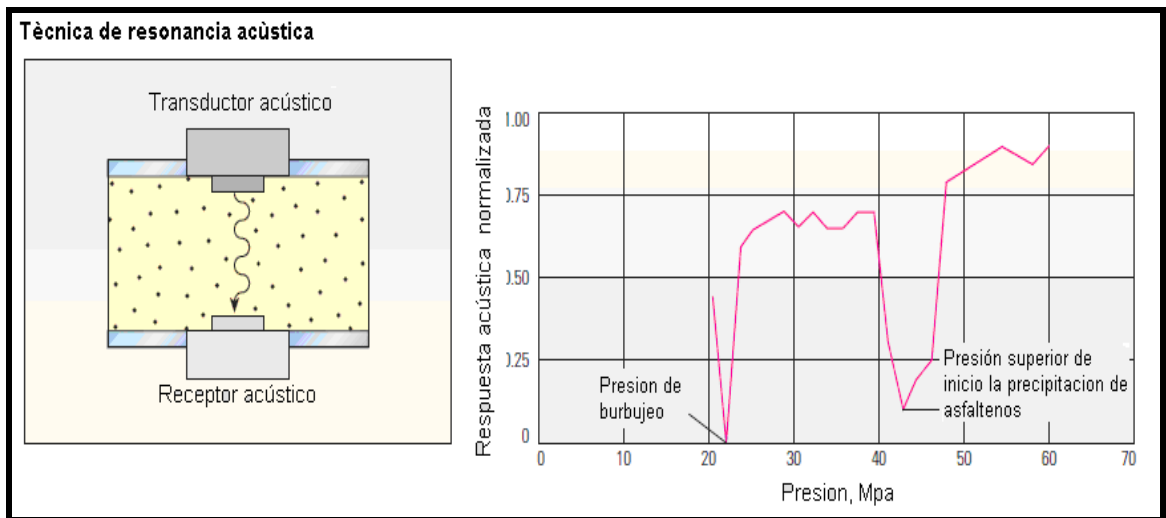


Fig.7. Imagen tomada de la revista, Oilfield Review, "los asfaltenos problemáticos, pero ricos en potencial", Schlumberger, Otoño de 2007.

La técnica de resonancia acústica, tal como lo evidencia la figura 7 consta de dos sensores acústicos, un transductor y un receptor, que registran las perturbaciones acústicas a medida que se precipitan los asfaltenos en la solución oleica, conforme se reduce la presión; un receptor acústico colocado

en un extremo de una celda PVT, detecta la resonancia acústica generada por un transductor acústico colocado en el otro extremo de la celda. El sistema acústico posee una precisión de ± 100 lpc [0.69 MPa] y requiere sólo 10 mL. de fluido monofásico de yacimiento. Comparada con la técnica gravimétrica es menos lenta y una de las desventajas es que los sólidos adicionales presentes en la mezcla incrementan la rigidez del sistema perturbando la detección en los cambios de resonancia, y además la técnica no permite que el fluido se mezcle dando origen a mediciones de presión de inicio de precipitación potencialmente imprecisas, causadas por la distribución heterogénea de los asfaltenos; no obstante, otro de los inconvenientes del procedimiento es que no detecta el límite inferior de la envolvente de precipitación de asfaltenos. Ésto puede deberse al hecho de que la disolución del asfalteno es una transición de fase gradual, ver figura 7.

3.5.3 TECNICA DE FILTRACIÓN.

Emplea una celda PVT cargada con 60 mL. de fluido monofásico de yacimiento. Un mezclador magnético agita el contenido de la celda a medida que se despresuriza a temperatura de yacimiento. A las presiones seleccionadas, una pequeña cantidad de fluido se extrae de la celda y se hace pasar a través de un filtro de $0.45 \mu\text{m}$, a la vez que se mantiene la presión y la temperatura. El análisis SARA de los compuestos atrapados por el filtro rastrea el cambio producido en el contenido de asfaltenos a medida que se reduce la presión.

Una de las ventajas de la técnica de filtración es que cuantifica la cantidad de asfalteno precipitado, además ayuda a definir los límites superior e inferior de la fase de asfaltenos. Otra de sus ventajas es que los asfaltenos se extraen físicamente del petróleo, y por lo tanto pueden ser caracterizados ulteriormente mediante la técnica de espectrometría de masa, efectuando estudios de difusión molecular o a través del análisis SARA. No obstante, a diferencia de otros métodos, los resultados dependen del tamaño del filtro, una de sus

desventajas es que la técnica de filtración, además, requiere más tiempo que la medición de la resonancia acústica o la dispersión de la luz.

3.5.4 TECNICA DE LUZ DEL INFRARROJO CERCANO (NIR)

La región del infrarrojo está comprendida entre las longitudes de onda que van desde 700 a 10^6 nm. Tanto por razones instrumentales como por las características de la interacción de la radiación con la materia, la región del infrarrojo se divide en tres zonas, el infrarrojo cercano (NIR, Near Infrared), infrarrojo medio (MIR, Middle Infrared) e infrarrojo lejano (FIR, Far Infrared).⁽¹⁰⁾

El origen de la absorción de las bandas en el infrarrojo cercano (NIR) es el mismo que para las bandas IR medio (MIR), una molécula absorbe radiación electromagnética en esta región si la energía de la radiación corresponde a la diferencia energética entre dos niveles vibracionales y si además se produce un cambio en el momento bipolar de la molécula. Cuando se dan estas circunstancias, ocurre una transferencia neta de energía que da lugar a un cambio en la amplitud de la vibración molecular y como consecuencia absorbe la radiación.

Las bandas mas frecuentes en la región NIR son debidas a enlaces que contienen átomos con elevadas diferencias en el peso molecular, como los hidrocarburos (C-H, O-H, N-H, etc.). En especies homonucleares como O₂, N₂ o Cl₂, el momento bipolar no se altera durante la vibración o la rotación y, en consecuencia, este tipo de compuestos no absorben radiación en el infrarrojo.

Tabla 1. Longitudes de onda en la región infrarroja.

REGIÓN	LONGITUD DE ONDA(nm)	ORIGEN DE LA ABSORBANCIA
NIR	700-2500	Sobretonos y bandas de combinación de las vibraciones moleculares fundamentales.
MIR	2500-50000	Vibraciones moleculares fundamentales.
FIR	50000-10 ⁶	Rotaciones moleculares.

La técnica de dispersión de la luz del infrarrojo cercano, examina el crudo a medida que precipitan los asfaltenos, ya sea isotérmicamente con la reducción de la presión, o isobáricamente con la reducción de la temperatura.

La celda PVT utiliza para esta técnica un cilindro hermético metálico, al cual se le han acoplado dos sensores ópticos (un transmisor y un receptor); el emisor genera una longitud de onda de 940 nm y una energía de transmitancia específica. Cuando los asfaltenos precipitan, dispersan la luz, reduciendo la energía de transmitancia de la luz detectada por los sensores situados en los extremos de la celda.

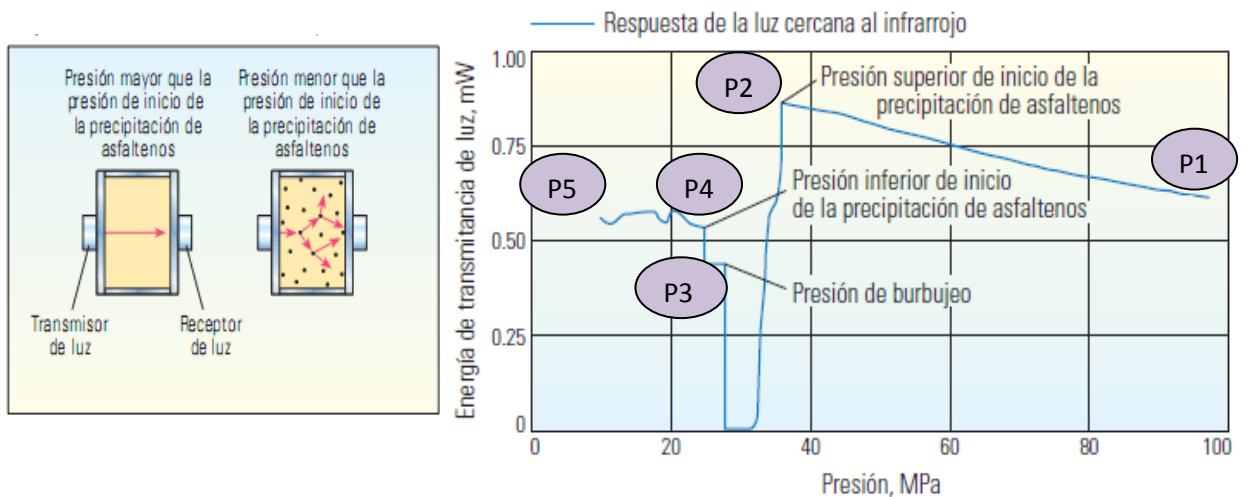


Fig.8. Imágenes tomadas de revista, Oilfield Review, "los asfaltenos problemáticos, pero ricos en potencial", Schlumberger, Otoño de 2007.

La técnica de dispersión de la luz del infrarrojo cercano (NIR) funciona mediante el concepto de que a medida que la presión se reduce desde un máximo P1, la energía de transmitancia de la luz se incrementa porque el fluido

menos denso permite una mayor transmitancia de esta. A una presión P2 (menor que P1), la señal de transmitancia de luz se disminuye, lo que indica el inicio de la precipitación de asfaltenos y el límite superior de la envolvente APE (Asphaltene Precipitation Envelope). Cuando la presión cae hasta alcanzar P3 (menor que P2), la transmitancia cae aún más, ya que los grupos grandes y los flóculos de los asfaltenos dispersan toda la luz. A una presión P4 (menor que P3), la transmitancia de la luz se incrementa al formarse burbujas de gas en el punto de burbujeo. Esta respuesta se opone a la de ciertos petróleos que exhiben una reducción de la transmitancia con la aparición de burbujas. A medida que continúa la despresurización, la transmitancia de la luz varía bruscamente a una presión P5 (menor que P4), valor en el que los asfaltenos comienzan a re-disolverse, alcanzándose el límite inferior de la envolvente APE, ver figura 8.

La herramienta se basa principalmente en una fuente de luz IR que emite una radiación, cuya intensidad (expresada en transmitancia (T)) disminuye al atravesar la muestra. La disminución depende de la frecuencia y corresponde a las vibraciones moleculares producidas por la excitación. La radiación residual se mide en un detector y se transforma electrónicamente en un espectro.

La longitud de onda de los rayos infrarrojos es menor que la de las ondas de radio y mayor que la de la luz visible, es decir que oscila entre 10^{-6} y 10^{-3} metros aproximadamente, ver figura 9.

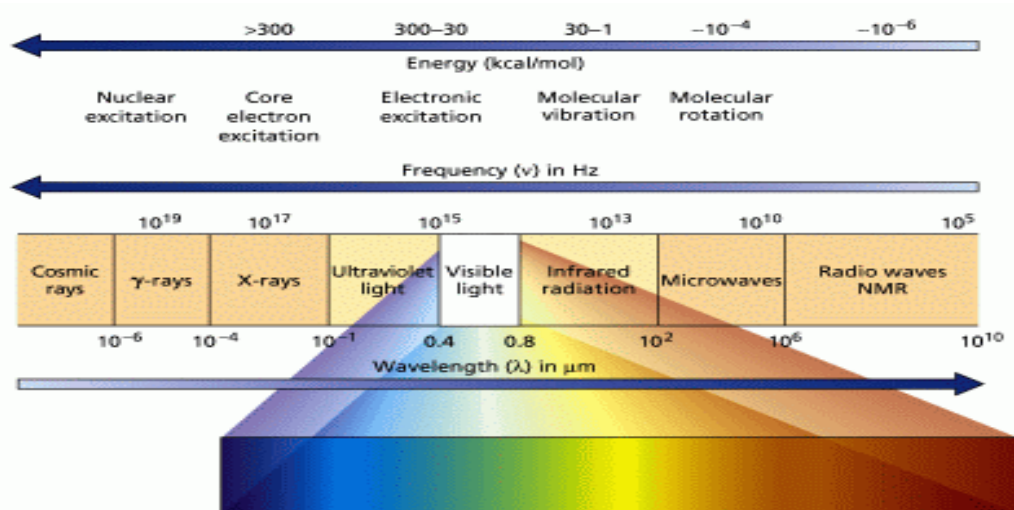


Fig.9. Espectro de ondas electromagnéticas.
Fuente: www.uhu.es/quimiorg/uv1.html

Una vez generada la luz del infrarrojo cercano, el potencial del rayo infrarrojo que choca con el receptor (ubicado opuestamente al emisor) es cuantificado y tabulado según las condiciones de presión y temperatura específicas para ese estado a través de una tarjeta de transmisión de datos para determinar el comportamiento del hidrocarburo en lo referente a la precipitación de asfaltenos.

Al igual que con la técnica de resonancia acústica, las ventajas del método de dispersión de la luz son la velocidad de las pruebas y el bajo volumen de fluido monofásico de yacimiento requerido.

3.6 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO (ASFALNIR)

El equipo se encuentra ubicado en el laboratorio de Pruebas Especiales del programa de Ingeniería de Petróleos de la universidad Surcolombiana.

3.6.1 COMPONENTES DEL EQUIPO

3.6.1.1. MOTOR

Es el encargado de realizar la rotación de 180 grados del cilindro, garantizando la homogenización de la muestra, su velocidad de giro es controlada en el panel de control y se mantiene lubricado mediante la utilización del aceite de referencia *Spirax Multigrado SAE 80W90*, ver figura 10.



Fig.10. Motor.

3.6.1.2. BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

Es de marca Enerpac de referencia P-142 y es la encargada de dar la presión al cilindro, el aceite hidráulico es suministrado por medio de una perilla roscada como se ve en la figura 11. Este tipo de bomba tiene una presión de bombeo de 0 a 10000 PSIA, la cual se muestra en un manómetro análogo, ver figura 11.



Fig.11. Bomba de desplazamiento positivo.

3.6.1.3. CILINDRO

La celda fue diseñada con ayuda del programa **Solid Edge ST** (*Siemens PLM Software*, cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$), con la colaboración de profesionales del SENA, quienes cuentan con la tecnología y soporte técnico para el desarrollo de este tipo de proyectos.

La construcción de la caja principal, que es la que soporta la tarjeta de acondicionamiento y adquisición de datos, las piezas en donde se insertan los sensores infrarrojos y la asesoría en la parte electrónica se llevó a cabo en las instalaciones del SENA (Tecnoparque), con el acompañamiento continuo de los especialistas en Ingeniería mecánica y electrónica.

La maquilada y diseño final del cilindro tardó 15 días y se realizó en Metalúrgica Ltda. Preminller, en donde se cuenta con la maquinaria y personal calificado para la construcción de las piezas en acero inoxidable 316.

Como se observa en la figura 12, el cilindro se encuentra dividido en tres piezas diferentes (la celda contenedora de crudo, las piezas para soporte de los sensores infrarrojos NIR y las tapas).

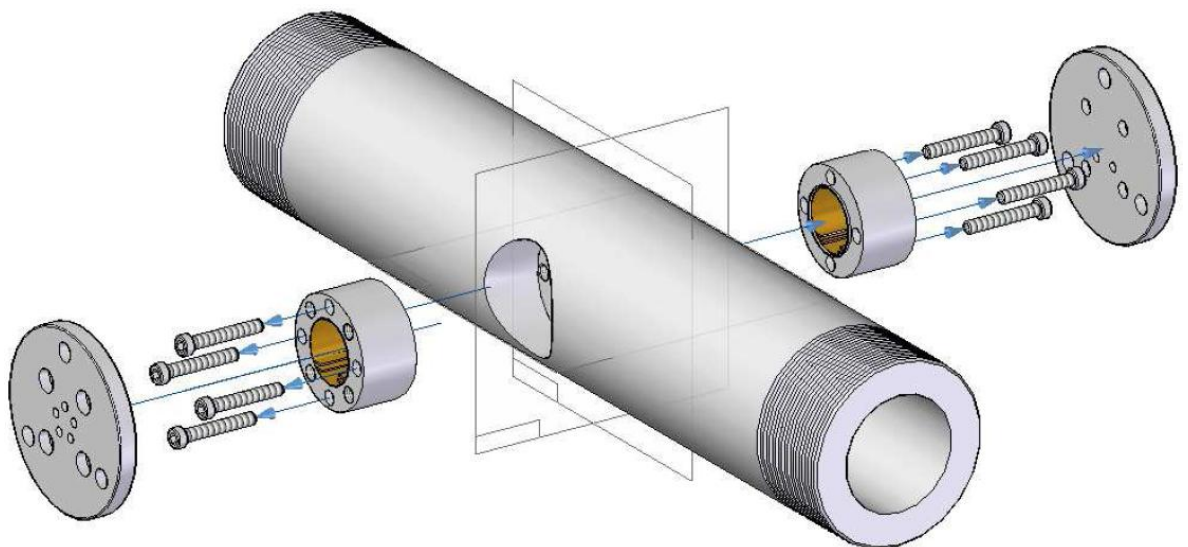




Fig.12. Celda contenedora de crudo.

El diseño de la celda es particular de un reloj de arena, es decir que internamente presenta dos cámaras cónicas, separadas por una garganta de 2,4 cm en el centro, lo cual garantiza la eficiencia en la recepción del haz de luz entre el emisor y el receptor infrarrojos NIR, ver figura 13.

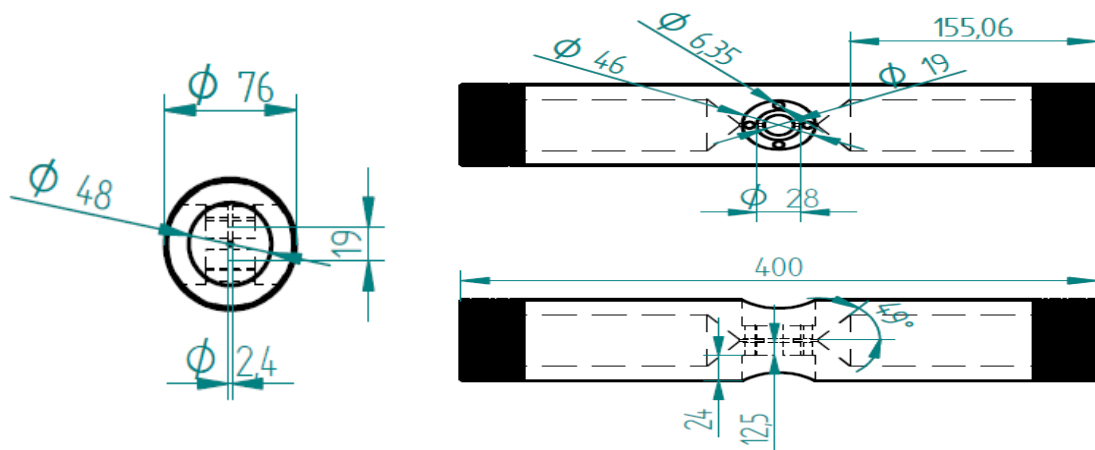


Fig.13. Dimensiones de la celda contenedora

3.6.1.4. PISTONES

Se diseñaron en forma cónica con la finalidad de asegurar el paso total de la muestra y prever la acumulación de asfaltenos en las paredes internas de las

cámaras. De igual manera se adaptaron dos “orings” para garantizar el sello en ambas cámaras.



Fig.14. Pistones

3.6.1.5. VENTANAS Y ORINGS

Las ventanas fueron fabricadas con acrílico, material resistente a altas temperaturas y presiones garantizando el aislamiento de los sensores.

En el espacio de 24 mm. encajan las ventanas y la pieza que mantiene los sensores infrarrojos NIR fijos.



Fig.15. Ventanas, orings y piezas para soporte de los sensores infrarrojos NIR

3.6.1.6. PIEZAS PARA SOPORTE DE LOS SENSORES INFRARROJOS NIR

Esta pieza se diseñó con 4 agujeros pasantes, con la finalidad de sujetar ésta a la celda contenedora de crudo y de este modo realizar una presión al conjunto de ventana y oring de viton.

En el interior de ambas piezas se introdujeron las váquelas con el emisor y receptor respectivamente, por lo cual cada una de estas secciones se aislaron térmicamente con un material denominado lana de vidrio.

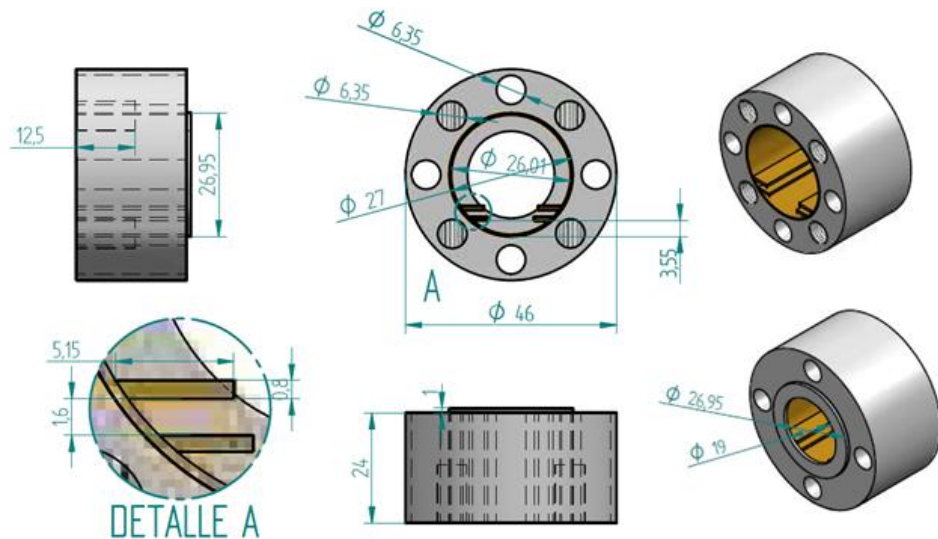


Fig. 16. Dimensiones de la pieza para soporte de los sensores infrarrojos NIR

3.6.1.7. TAPAS

Son las encargadas de aislar el sistema y eliminar las interferencias de luz, protegiendo los elementos en su interior.



Fig.17. Tapas

3.6.2. SENSORES Y TRANSDUCTORES

Para la determinación del ONSET de los asfaltenos, los datos de presión, temperatura y transmitancia, son obtenidos mediante la utilización de una serie de sensores que entregan señales proporcionales a las magnitudes de interés.

3.6.2.1 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN MSP 300-10K-P-3-N-1

A través de este elemento se mide la presión absoluta a la que se encuentra sometido el crudo dentro del cilindro. Este transductor trabaja con presiones de 0 a 10000 PSIA, con señales de salida de voltaje entre 0.5 y 4.5 voltios.



Fig.18. Transductor de presión MSP300-10K-P-3-N-1

3.6.2.2 SENSOR INFRARROJO TSL262R.

Este sensor convierte intensidad luminosa en voltaje, alimentado en un rango de voltajes entre 2.7 V a 5.5 V y en operación del equipo se trabaja con 5 V CC, longitud de onda de 940 nm, sensibilidad de 220 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ y rangos de temperatura de 0°C a 70°C.

Realizando pruebas se obtuvo una recepción máxima de 3.9 V con aire entre el emisor y el receptor.



Fig.19. Sensor infrarrojo TSL262R.

3.6.2.3 SENSOR DE TEMPERATURA (TERMOCUPLA TIPO J).

Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente.

3.6.2.4 EMISOR INFRARROJO (LTE-5228A)

Es el encargado de transmitir un haz de luz infrarrojo que atraviesa la muestra de crudo y es captada por el sensor TSL262R. Se alimenta con un voltaje de 5 V CC, soporta una corriente de 100 mA, opera en rangos de temperatura de -40°C a 85°C y al igual que el sensor TSL262R trabaja a una longitud de onda de 940 nm.



Fig.20. Emisor infrarrojo (LTE-5228A).

3.6.3 PANEL DE CONTROL

En el panel se encuentran los controles de suministro de energía al equipo, interruptores principales, controlador de temperatura, de giro y perillas del control de velocidad.

3.7 MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO ASFALNIR.

3.7.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El equipo está constituido por una celda contenedora de la muestra confinada a una presión que puede oscilar entre 0-10000 PSIA, condición suministrada mediante una bomba de desplazamiento positivo (referencia P-142) que desplaza el fluido de una cámara a la otra, utilizando dos pistones cónicos de teflón (uno en cada cámara) que garantiza el sello en el interior de la celda, evitando la acumulación de asfaltenos en las paredes del cilindro y ensamblado en un módulo que permite la rotación a velocidades variables, con la finalidad de mantener la homogenización de la mezcla.

EL cilindro está diseñado con un estrangulamiento de 2.4mm en el centro, en donde se ubican un emisor (940nm) y un receptor infrarrojo con su respectivo soporte, aislados térmicamente mediante lana de fibra de vidrio y lentes de acrílico (espesor de 9.6 mm, diámetro de 28 mm, que resiste condiciones de presión y temperatura de 10000PSIA y 80 °C respectivamente).

En la parte inferior del conjunto se ubica el motor, encargado de realizar la rotación de 180 grados del cilindro, y su velocidad de giro es controlada en el panel de control, (se mantiene lubricado por medio de aceite de referencia *Spirax Multigrado SAE 80W90*).

Durante la prueba, la presión, la temperatura y la transmitancia son medidos por el transductor de presión MSP 300-10K-P-3-N-1, sensor de temperatura (termocupla tipo j), y sensor infrarrojo TSL262R. Esta señal es tomada por la tarjeta de adquisición de datos y posteriormente mostrada en la interfaz gráfica en LABVIEW.

3.7.2 PARTES DEL EQUIPO

El equipo lo integran las siguientes partes, ver figura 21.

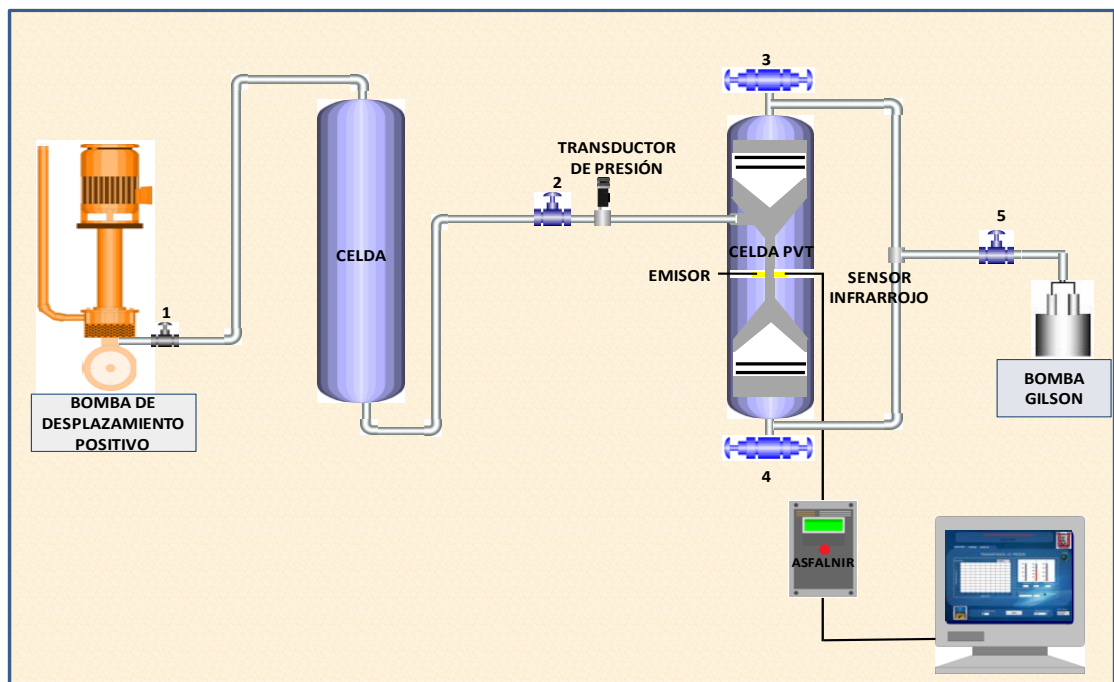


Fig.21. Esquema general del equipo.

- Celda
- Celda contenedora o celda PVT
 - Pistones de teflón
 - Orings
 - Ventanas de acrílico
 - Piezas para soporte de sensores
 - Tapas
 - Sensores
 - Emisor (940nm).
 - Receptor
 - Termocupla tipo j.
 - Transductor de presión MSP 300-10K-P-3-N-1.
- Chaquetas de calentamiento
- Válvulas
- Bomba de desplazamiento
- Bomba Gilson
- Motor
- Panel de control

3.7.3 APLICACIÓN DEL EQUIPO

Determinación del ONSET de asfaltenos. El equipo de medición de precipitación de asfaltenos, simula condiciones de presión y temperatura de yacimiento, lo cual ayuda a la determinación del ONSET superior e inferior de estas partículas suspendidas en el petróleo.

Determinación cualitativa de la presión de saturación de la mezcla, en el proceso de redisolución de los asfaltenos en el crudo, luego de venir con un comportamiento decreciente, la transmitancia se incrementa nuevamente hasta alcanzar estabilidad.

3.7.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.7.4.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Determinar la concentración necesaria de heptano/hexano y de crudo.
2. En un vaso de precipitados, depositar el crudo y el heptano/hexano.
3. Agitar bien y tener cuidado con los precipitados.
4. Depositar la muestra en la celda.

3.7.4.2 PREPARACIÓN DE LA CELDA PVT.

1. Verificar que la celda esté en perfectas condiciones de limpieza previo inicio de la prueba.
2. Verificar que los sensores estén posicionados en el estrangulamiento del cilindro.
3. Verificar que el sistema de calentamiento esté ubicado en la posición correcta.
4. Bañar los pistones con aceite para facilitar el deslizamiento de los mismos por las cámaras.
5. Verificar que cada pistón cuente con los 2 orings.
6. Introducir los pistones hasta la base cónica de las cámaras.
7. Tapar la celda PVT.
8. Realizar 3.7.4.3 Purgado de la Línea.
9. Conectar la línea previamente purgada a la celda PVT
10. Abrir la válvula 2.
11. Verificar que la válvula 1 de la bomba de desplazamiento esté cerrada.
12. Abrir la válvula 3.
13. Verificar que la válvula 4 esté cerrada.
14. Iniciar el desplazamiento de crudo con la bomba a la cámara 1.
15. Se procede a realizar el ítem 3.7.4.4 Desplazamiento del fluido de la cámara 1 a 2 (siempre y cuando sea necesario).
16. Realizar la 3.7.4.5 precarga de la celda.

3.7.4.3 PURGADO DE LA LÍNEA.

1. Introducir la muestra previamente preparada a la celda.
2. Tapar y verificar que no se presenten fugas de aceite.
3. Verificar el nivel de aceite en la bomba.
4. Conectar la bomba a la celda
5. Abrir la válvula 2 (ver figura 20).
6. Cerrar la válvula 1 y comenzar a desplazar el fluido por la línea.
7. Observar que el fluido emerja en el extremo a conectar con la celda PVT.
8. Cerrar la válvula 2.

3.7.4.4 DESPLAZAMIENTO DEL FLUIDO DE LA CÁMARA 1 A 2

1. Cerrar la válvula 2
2. Conectar la línea proveniente de la bomba Gilson a la válvula 3.
3. Presurizar hasta alcanzar una presión ligeramente superior a la celda PVT.
4. Abrir la válvula 4.
Nota: si es necesario se abre la válvula para regular la presión de los sistemas (celda PVT y Bomba Gilson).
5. Abrir la válvula 3 y comenzar a desplazar el crudo de la cámara 1 a la cámara 2.
6. Observar periódicamente la presión registrada en el manómetro de la Bomba Gilson.
7. Apagar la bomba, al observar presiones mayores a la de operación(puede haber sobrepresurización en los pistones).
8. Desplazado el fluido de la cámara 1 a la 2, cerrar las válvulas 3 y 4.
Nota: si la prueba requiere que la muestra se encuentre en las dos cámaras y la garganta, se procede a realizar el mismo procedimiento, pero desplazando el aceite de la bomba Gilson, en la cámara 2; siendo necesario tener abierta la válvula 4.
9. Cerrar las válvulas 3, 4 y 5 y proceder a desconectar la bomba Gilson.

3.7.4.5 PRE-CARGA DE LA CELDA PVT.

1. Energizar el equipo posicionando en el panel de control el selector en 1.
2. Posicionar en ON el interruptor principal y los controladores de temperatura y de giro.
3. Prender la caja principal ASFALNIR presionando el botón rojo.



Fig.22. Caja ASFALNIR.

4. Verificar que la interfaz del software ASFALNIR esté abierta.

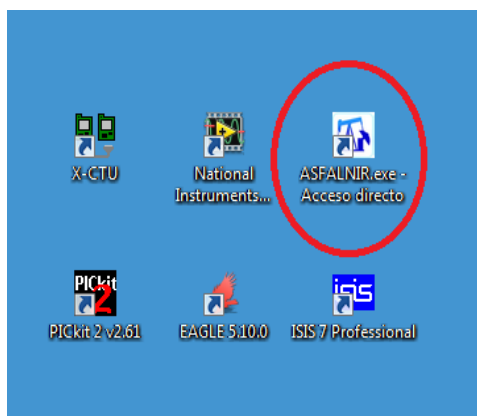


Fig.23. software ASFALNIR

5. Determinar los segundos para que el software exporte los datos registrados a la hoja de Excel.
6. Tomar las mediciones a Presión y Temperatura de Laboratorio.

7. Setear el temporizador al tiempo estimado de roqueo (necesario para realizar la prueba).
8. Con la perilla del control de velocidades graduar de acuerdo a la velocidad deseada.
9. Seleccionar la temperatura en que se van a realizar las corridas a la muestra.
10. Verificar que los datos sean registrados en la gráfica Transmitancia Vs Presión.
11. Elevar la temperatura cada $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar la temperatura Máxima (aproximadamente 70°C).
12. Alcanzada la temperatura máxima, comenzar a despresurizar cada 15 min con $\Delta P = 50$ PSIA hasta alcanzar la presión de laboratorio.
13. Abrir la data exportada en Excel y realizar las respectivas gráficas de P Vs Temperatura y Transmitancia y presión.
14. Realizar el respectivo análisis.

3.7.4.6 LIMPIEZA DEL EQUIPO

Nota: Para garantizar la durabilidad y el buen funcionamiento de las partes asociadas al sistema; es necesario que finalizada la prueba, lavar la cámara con gasolina y seguir el siguiente paso a paso:

1. Verificar que la celda PVT se encuentre despresurizada.
2. Proceder a destapar la cámara 1 y 2 para determinar, cual pistones se puede desplazar primero.
3. Tapar la cámara 1 o 2 de acuerdo al suministro de aire suministrada a una solo cámara en específico.

Nota: Observando la viabilidad de suministrar aire con el compresor, se puede suministrar por la válvula 2

4. Proceder a quitar la tapa de la cámara 1
5. Girar la celda; garantizando que la cámara 1 quede en posición abajo.
6. Abrir la válvula 2.

7. Colocar un recipiente, ubicando dentro una tela acolchada que ayude amortiguar, al momento de salir el pistón.
8. Suministrar las libras mínimas, asegurando la vida del ser humano.
9. Monitorear la salida del pistón.
10. Sacado el pistón de la cámara 1, proceder a sacar el de la cámara 2.
11. Cerrar la celda 1 con la tapa.
12. Girar el cilindro asegurando que la cámara 2 quede hacia abajo.
13. Colocar un recipiente, ubicando dentro una tela acolchada
14. Suministrar mínima libras de aire a la cámara 1.
15. Estar pendiente que el pistón salga de la cámara 2.
16. Desplazar gasolina por las líneas, la celda.
17. Secar las partes con aire.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Para el desarrollo de las pruebas, se realizaron las siguientes pruebas:

- Agua pura.
- Mezcla (agua – Maizena).
- Aceite mineral.
- Mezcla (Aceite mineral – asfaltenos)
- Mezcla (Crudo (5%) – Heptano (95%)).

4.1 COMPORTAMIENTO DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS.

4.1.1 PRESIÓN VS. TEMPERATURA AGUA PURA.

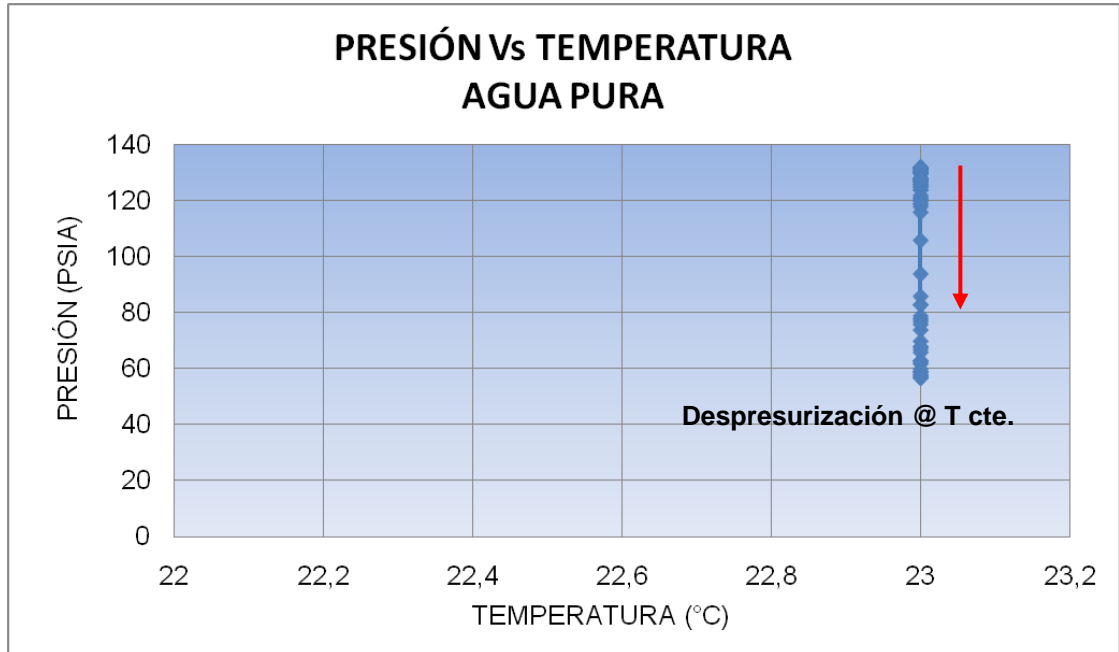


Fig.24. Comportamiento de la presión @ temperatura constante de 23 °C en agua pura.

4.1.2 TRANSMITANCIA VS. TIEMPO AGUA PURA.

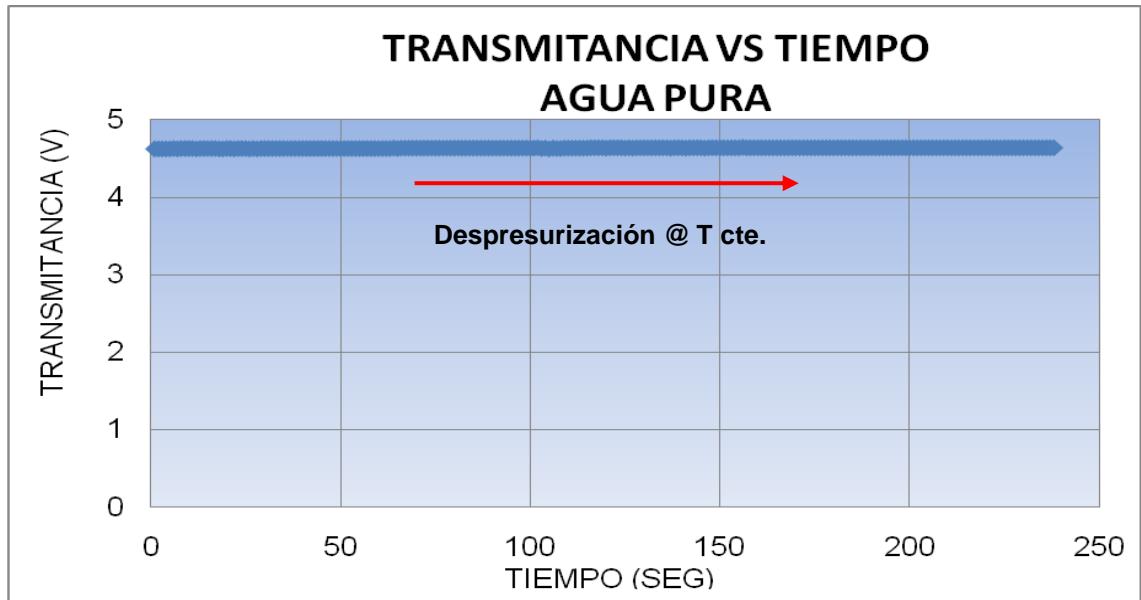


Fig 25. Comportamiento de la transmitancia vs el tiempo en agua pura @ 23°C

4.1.3 TRANSMITANCIA VS PRESIÓN AGUA PURA A TEMPERATURA CONSTANTE

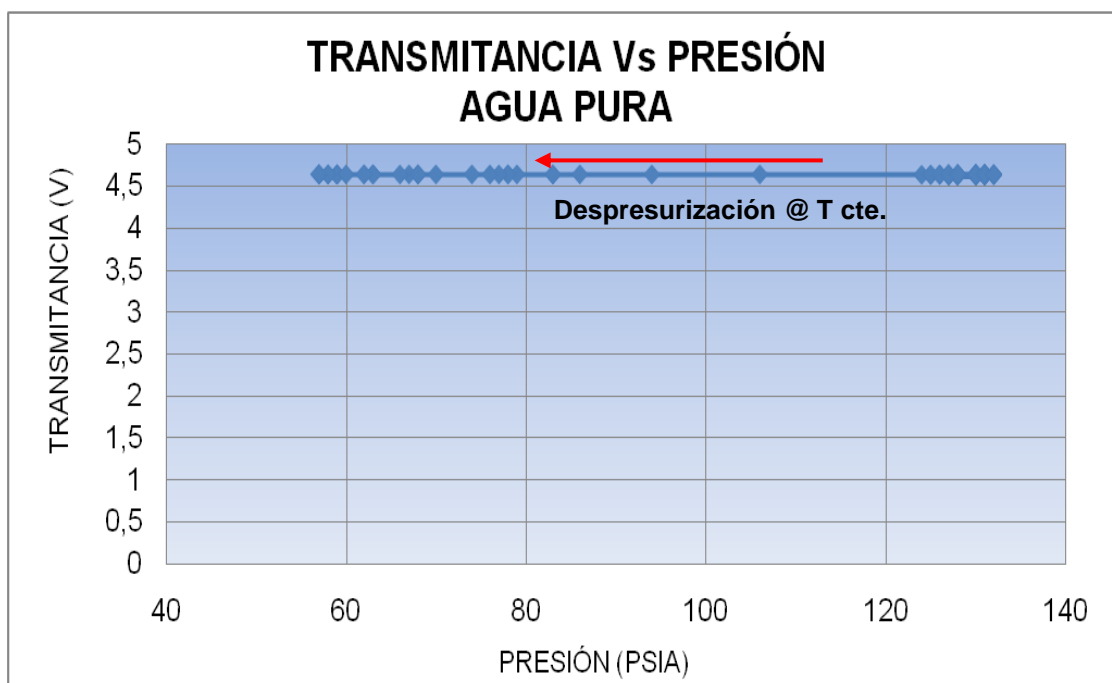


Fig.26. Transmitancia del agua vs presión a temperatura cte de 23°C.

En la gráfica se puede evidenciar que la transmitancia del agua es constante (4,628322687 V) y además máxima. Se observa que no hay precipitación, lo cual indica que la fracción de luz incidente, a una longitud de onda específica (940nm), pasa a través del contenido de la celda, sin que haya partículas en suspensión que refracten la luz.

4.1.4 PRESIÓN VS. TEMPERATURA EN LA MEZCLA AGUA - MAIZENA.

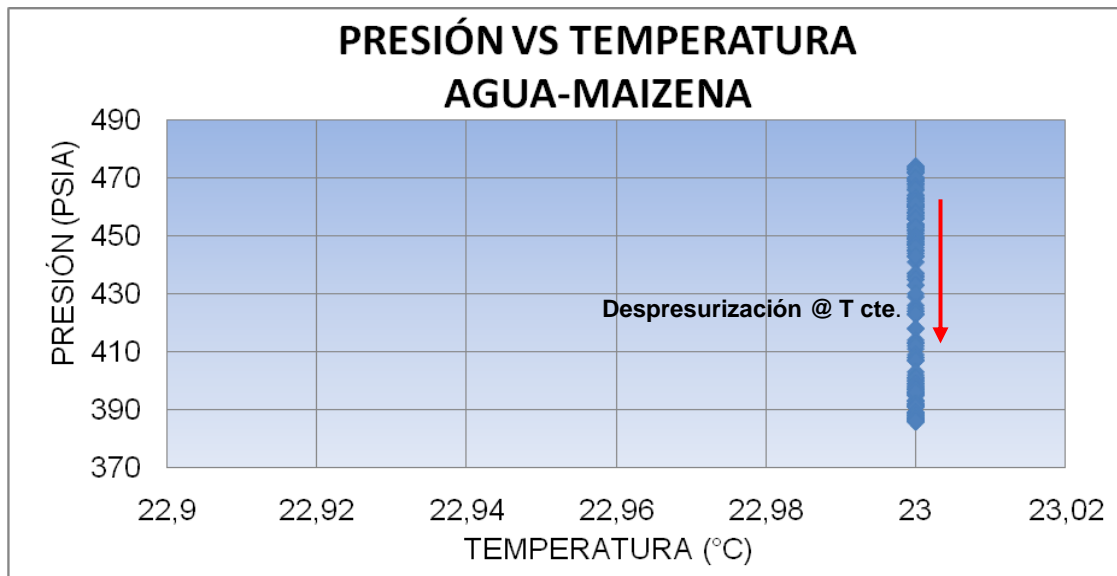


Fig.27. Comportamiento de la presión @ temperatura constante de 23 °C en agua-maizena.

4.1.5 TRANSMITANCIA VS PRESIÓN EN LA MUESTRA AGUA-MAIZENA

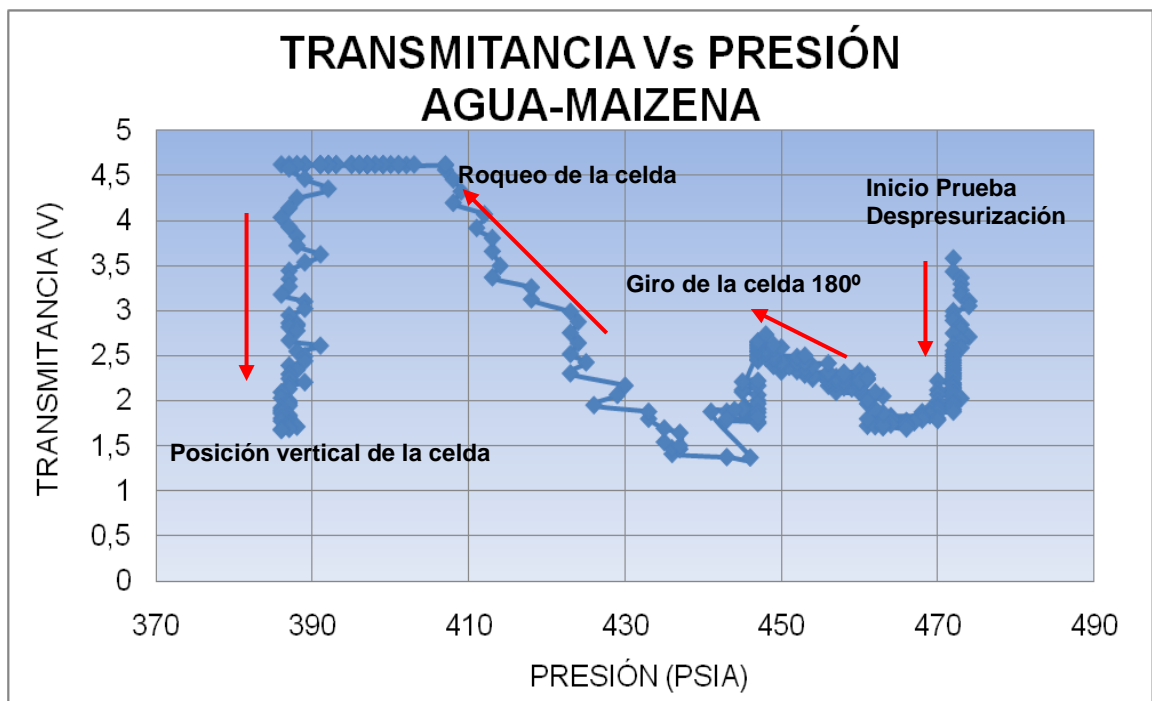


Fig.28. Comportamiento de la transmitancia vs. presión @ temperatura constante de 23 °C en agua-maizena.

La gráfica anterior muestra el comportamiento isotérmico ($T=23^{\circ}\text{C}$) de la transmitancia vs la presión en una mezcla de agua con maizena, iniciando la prueba a una presión 472 PSIA y una transmitancia de 3,577713 Voltios (cilindro en posición vertical), seguida de una despresurización que alcanzó un mínimo de 464 PSIA y una transmitancia de 1,808407 V, debido a que los grumos de maizena contenidos en el agua se alojaron en la garganta de 2mm de diámetro de la celda, para lo cual se hizo una rotación del cilindro de 180° , evidenciándose nuevamente un aumento de transmitancia, pues tuvo que pasar un periodo de tiempo mínimo para que las partículas de maizena ahora asentadas en la parte inferior del cilindro, se acumularan nuevamente en la garganta de la celda; esta restauración de transmitancia ocurrió en el intervalo de presión, 464 PSIA @ T de 1,808407 Voltios hasta 468 PSIA @ T de 2,526882 Voltios. Seguidamente se dio inicio la caída de las partículas hacia el centro del cilindro, siendo nuevamente sensadas (la detección de partículas no ocurrió porque la capacidad de absorbanza de la maizena fuera mayor a la del agua pura, sino por la solidificación de los grumos que finalmente obstruyeron el paso de la luz. Esto se evidencia en los intervalos de la gráfica donde se observa el roqueo del cilindro, pues se obtiene 4,560117 voltios de transmitancia), lo cual se vé con el decremento de la transmitancia de 2,526882 Voltios hasta 1,407625 Voltios @ 436 PSIA.

A continuación se hizo el roqueo del cilindro, lo cual generó la redisolución de las partículas y por ende un aumento de transmitancia hasta alcanzar 4,560117 @ 407 PSIA, condición a partir de la cual se homogenizó la muestra hasta una presión de 386 PSIA, posteriormente se dejó estático el cilindro y en posición vertical, registrándose nuevamente el paso de las partículas precipitadas por la garganta de la celda PVT.

4.1.6 PRESIÓN VS TEMPERATURA ACEITE MINERAL

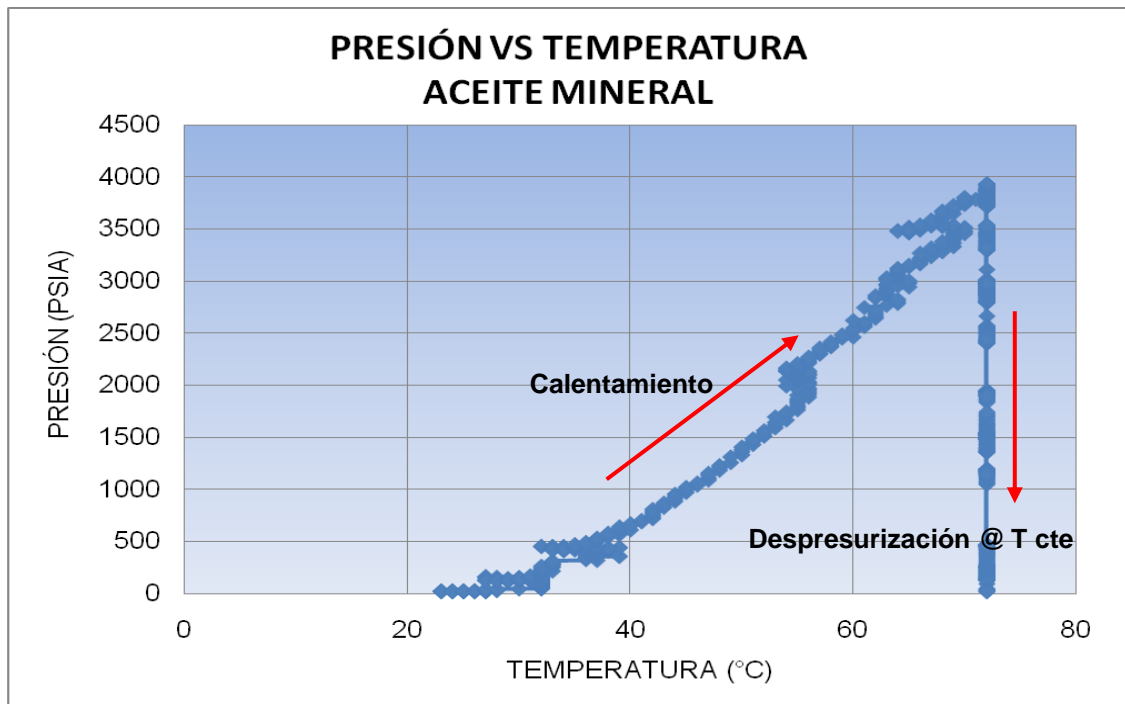


Fig.29. Comportamiento de la presión vs. temperatura en aceite mineral.

La gráfica anterior registra el comportamiento de la presión Vs la temperatura en un aceite mineral. La prueba se da inicio a una temperatura de 23,21 °C y una presión de 19 PSIA, seguida de un enfriamiento hasta alcanzar un punto máximo de temperatura de 72 °C @ 3830 PSIA.

4.1.7 TRANSMITANCIA VS. PRESIÓN ACEITE MINERAL

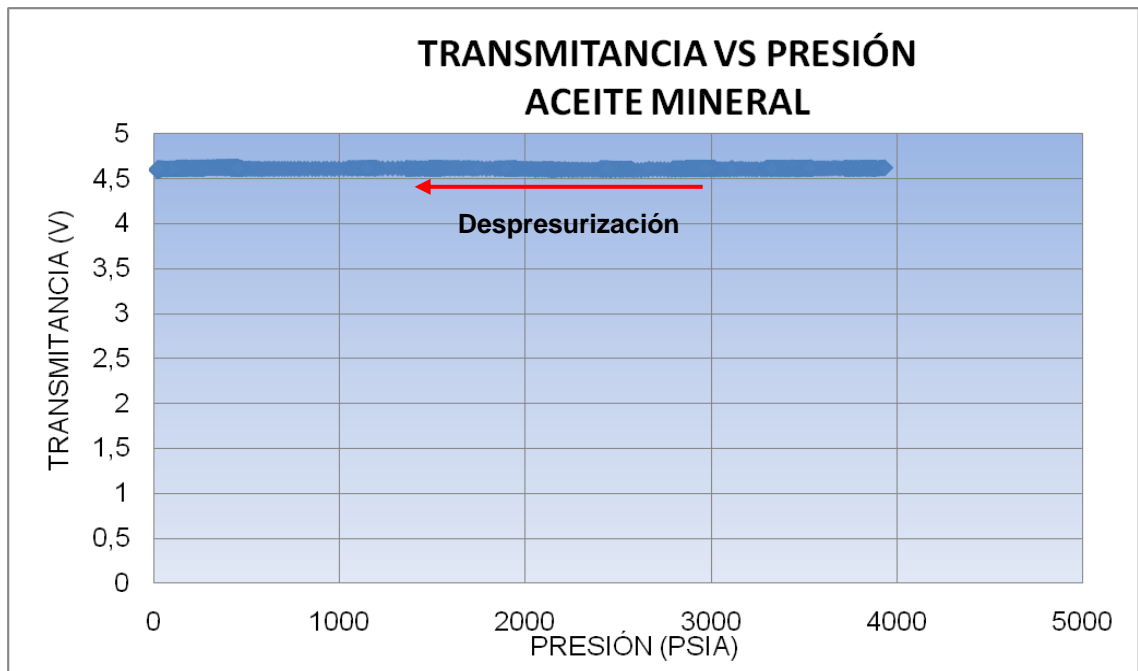


Fig.30. Comportamiento de la transmitancia vs. presión en el aceite mineral

Debido a que la muestra de aceite mineral no tenía partículas en suspensión, la propiedad transmitancia registró un valor de 4,61305319 V, un dato menor al obtenido con el agua pura (4,628322687 V), pese a que la viscosidad y capacidad de absorbancia del mismo es mayor que en el agua.

4.1.8 PRESIÓN VS. TEMPERATURA ACEITE MINERAL-ASFALTENOS

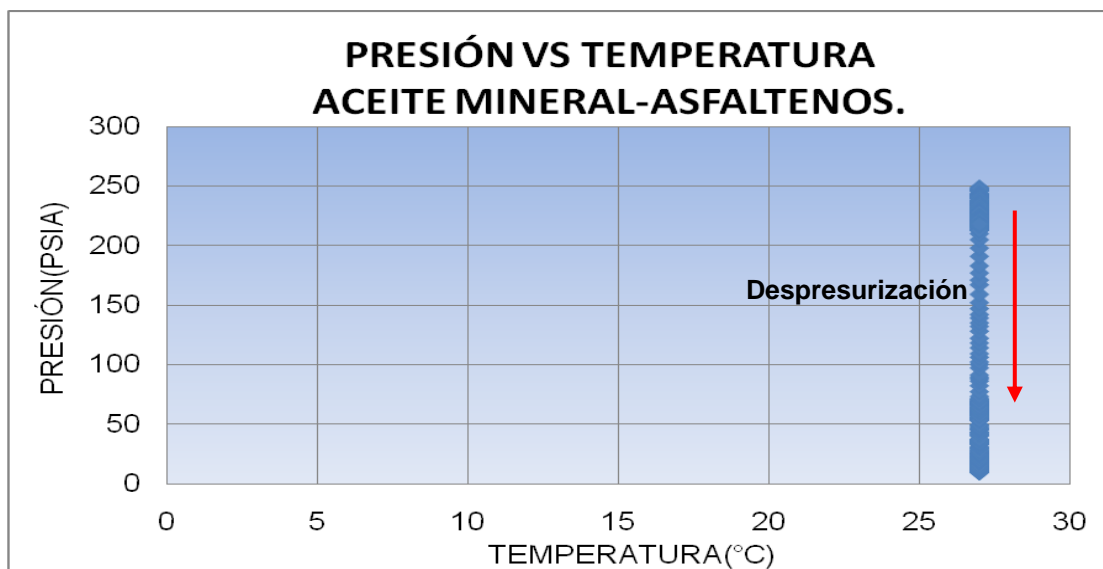


Fig.31. Comportamiento de la presión vs. temperatura en el aceite mineral-asfaltenos.

Se observa el comportamiento isotérmico del aceite mineral con 5% de contenido asfáltico. El punto fuera de tendencia en la gráfica, obedece a la sensibilidad del equipo.

4.1.9 TRANSMITANCIA VS. PRESIÓN ACEITE MINERAL ASFALTENOS

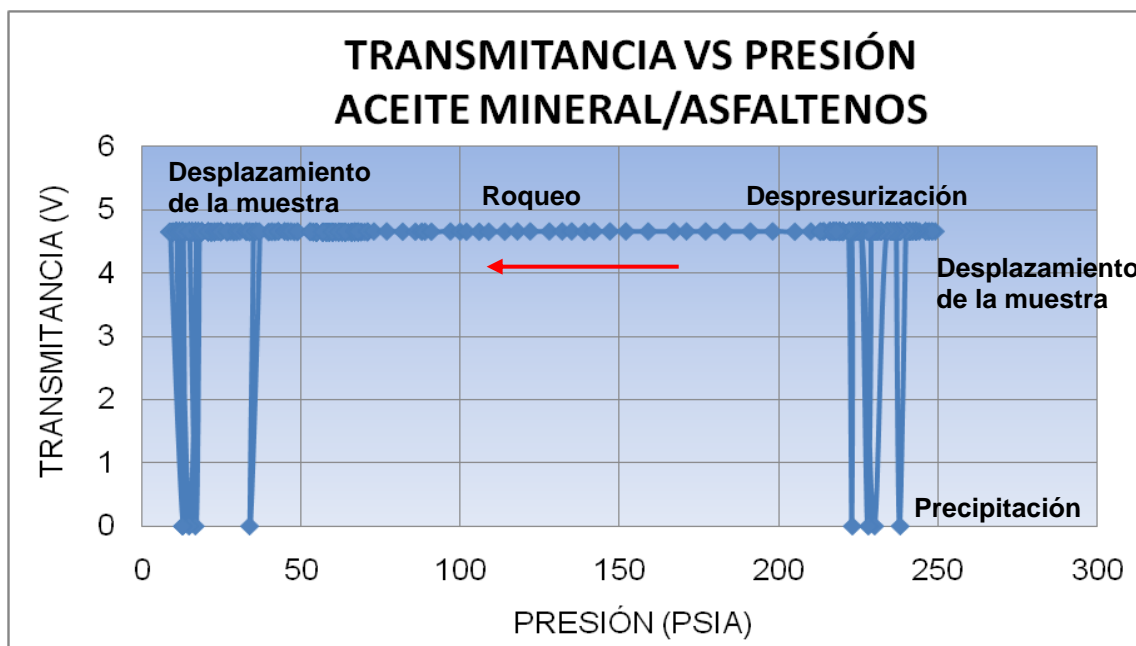


Fig.32. Comportamiento de la transmitancia vs. presión en el aceite mineral-asfaltenos.

La gráfica anterior muestra el comportamiento isotérmico (27°C) de la transmitancia vs la presión, en una mezcla de aceite mineral con 5% de contenido asfaltenico. Mediante la utilización de la bomba Gilson se hizo desplazamiento de la muestra de una cámara a otra para lograr la homogenización de la misma, posteriormente el cilindro se posicionó verticalmente y se dio inicio a la despresurización, la cual generó que las partículas de aceite descendieran rápidamente, situación evidenciada en un registro de transmitancia de 0 V.

4.1.10 PRESIÓN VS. TIEMPO MEZCLA DE CRUDO (5%) HEPTANO (95%).

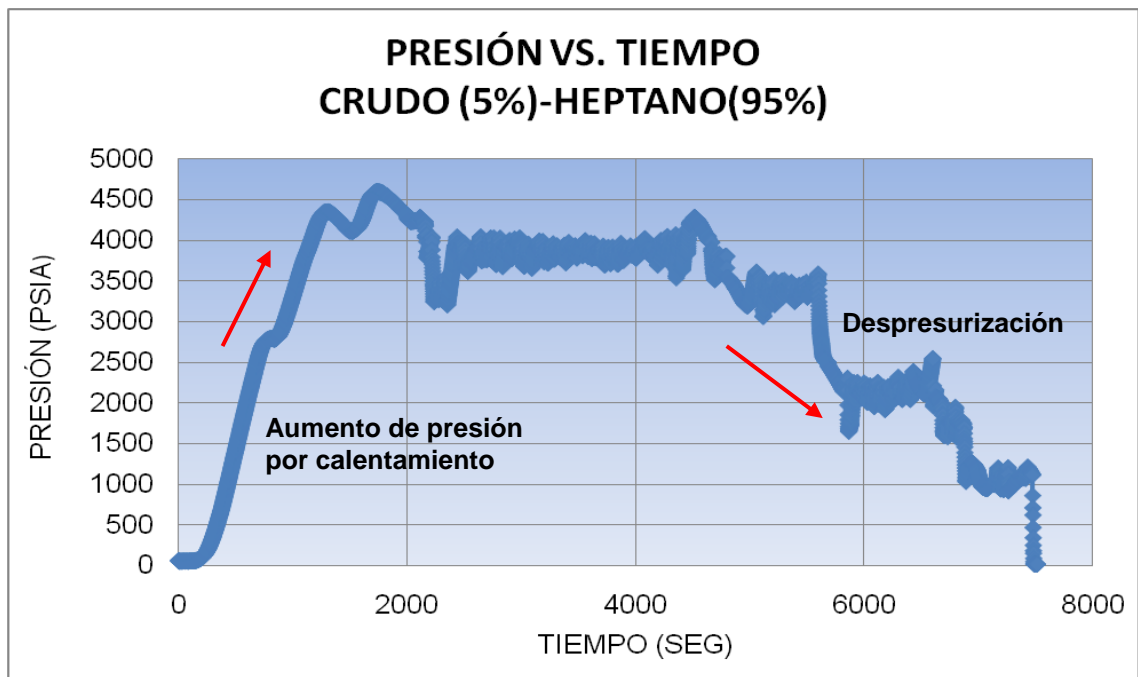


Fig.33. Comportamiento de la presión vs. tiempo en el crudo (5%) -heptano (95%).

Comportamiento de la presión con respecto al tiempo de una mezcla (266ml.), 5% de crudo y 95% de heptano. La prueba inició con un calentamiento desde 23°C hasta alcanzar la temperatura máxima de 68°C, donde la muestra se estabilizó a una presión de 4607 PSIA.

4.1.11 TRANSMITANCIA VS. TIEMPO MEZCLA DE CRUDO (5%) HEPTANO (95%).

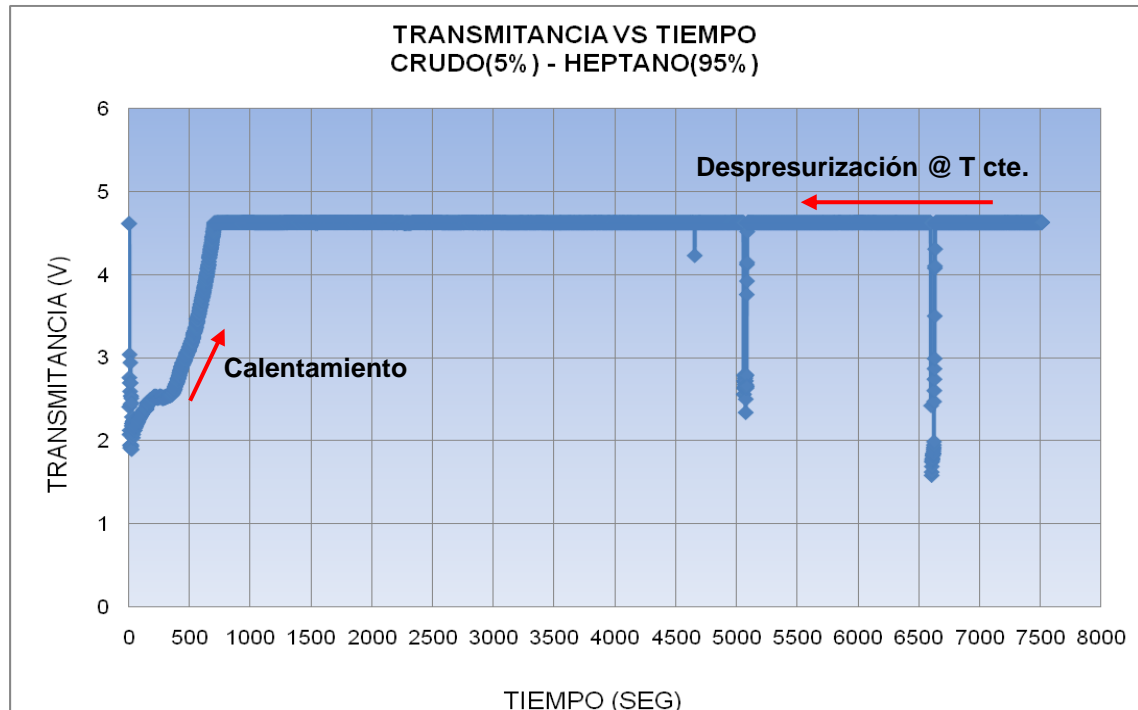


Fig.34. Comportamiento de la transmitancia vs. tiempo en el crudo (5%)-heptano (95%).

La gráfica anterior registra el comportamiento de la transmitancia con respecto al tiempo, iniciando con un calentamiento desde 23°C hasta alcanzar la temperatura máxima de 68°C, donde se obtuvo el máximo valor de transmitancia de 4,628543 V @ 4607 PSIA.

La celda se posicionó verticalmente (90°), con ayuda de la bomba Gilson se comenzó a desplazar la muestra de la cámara 1 a la cámara 2, a continuación se dejó de desplazar y se inició el roqueo y simultáneamente el calentamiento, posteriormente se dejó el cilindro en posición vertical, y se comenzó a despresurizar hasta alcanzar una presión de 3985 PSIA @ 64°C, donde se observó un decremento en la transmitancia que cayó a un valor de 4,2727761 V (precipitación de las primeras partículas de asfaltenos), posteriormente los sensores pese al reducido tamaño de las partículas no logran sensor paso de miscelas, sólo hasta alcanzar una transmitancia, presión y temperatura promedio de 2,9094168 V @ 3431 PSIA y 65 °C respectivamente. A

continucion, el comportamiento gráfico muestra que nuevamente hubo senso de coloides cuando la tramitancia cayó a un valor de 2,419355 V @ 2548 PSIA y 65°C e inmediatamente despues una notable densidad de particulas fueron detectadas por los infrarrojos a un nivel promedio de transmitancia de 2,2530141 V, @ 2072 PSIA y 64 °C. Posteriormente no hay registro de datos sensados, probablemente por redisolucion de las partículas en el la mezcla.

4.1.12 TRANSMITANCIA VS. PRESIÓN MEZCLA DE CRUDO (5%) HEPTANO (95%).

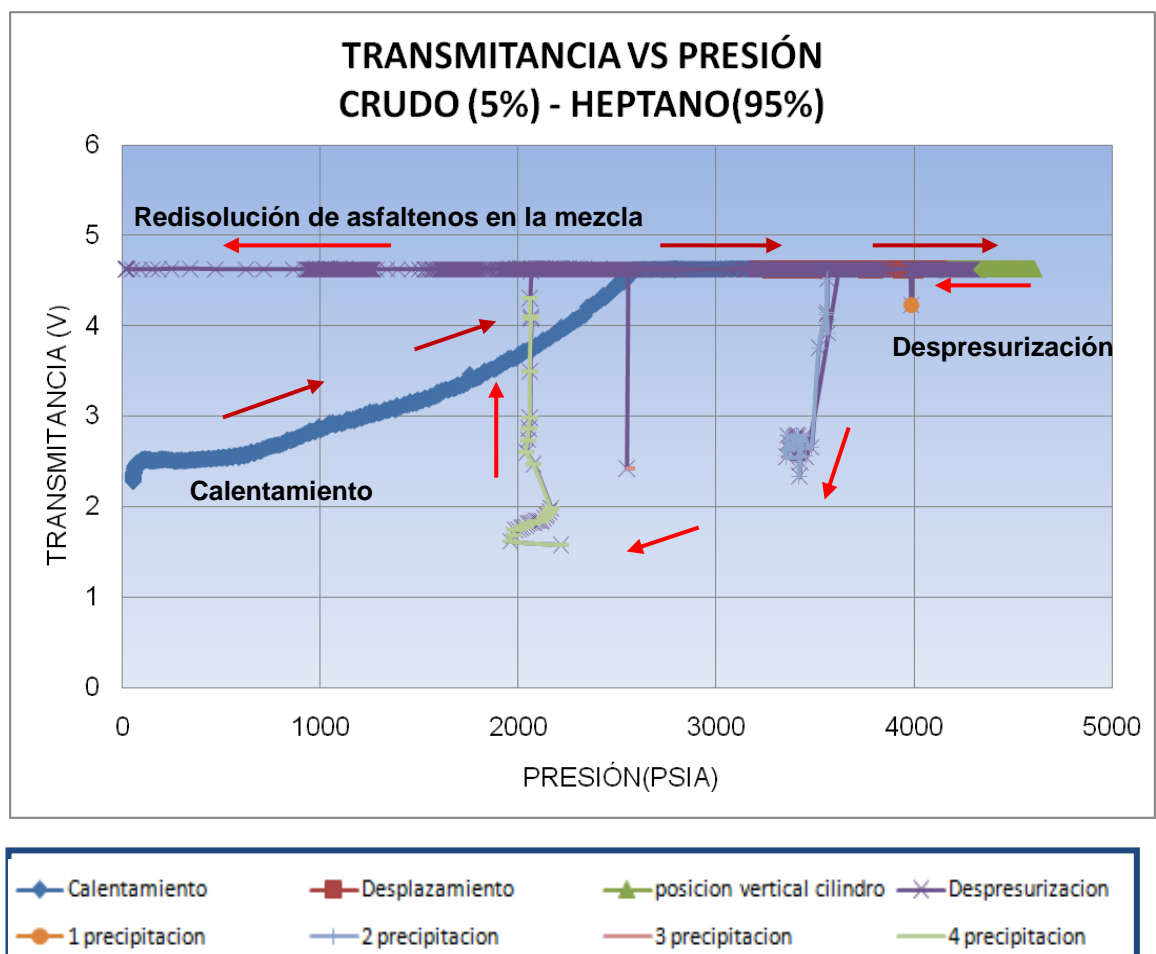


Fig.35. Precipitación de los asfaltenos en la mezcla crudo (5%)-heptano (95%).

La gráfica anterior, muestra el comportamiento de las variables transmitancia vs presión en una mezcla de 95% de heptano y 5% de crudo. La prueba inició con un calentamiento que alcanzó los 68°C, seguida de la precipitacion de

asfaltenos en 4 puntos del proceso de despresurización. Finalmente se produjo la redisolución de las partículas en la mezcla.

4.1.13 PRESIÓN VS. TIEMPO (PRIMER INTERVALO DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS).

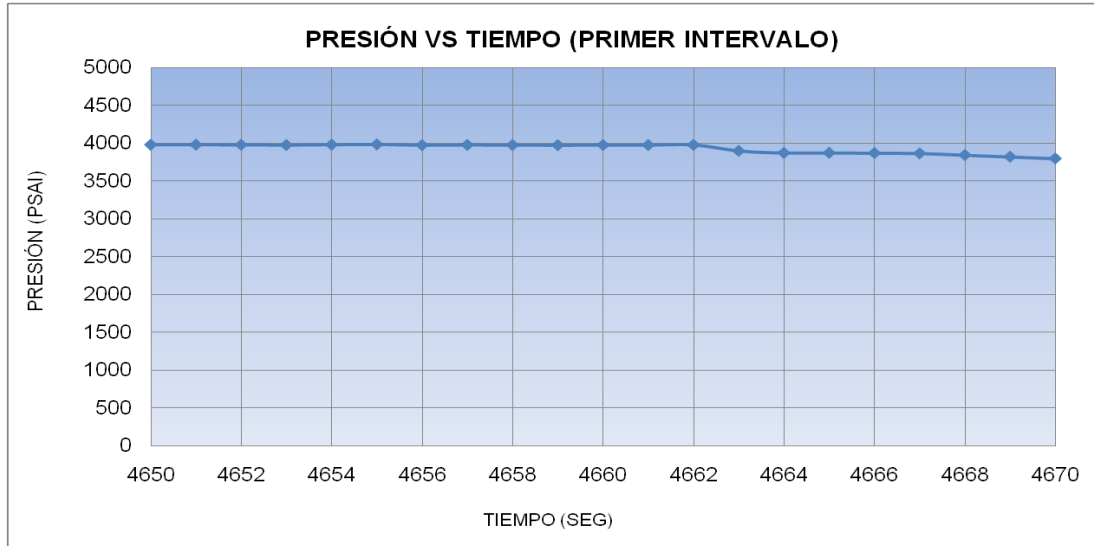


Fig.36. Comportamiento de la presión vs el tiempo, en una mezcla de 95% de heptano y 5% de crudo (Primer intervalo de precipitación).

4.1.14 TRANSMITANCIA VS. TIEMPO (PRIMER INTERVALO DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS).

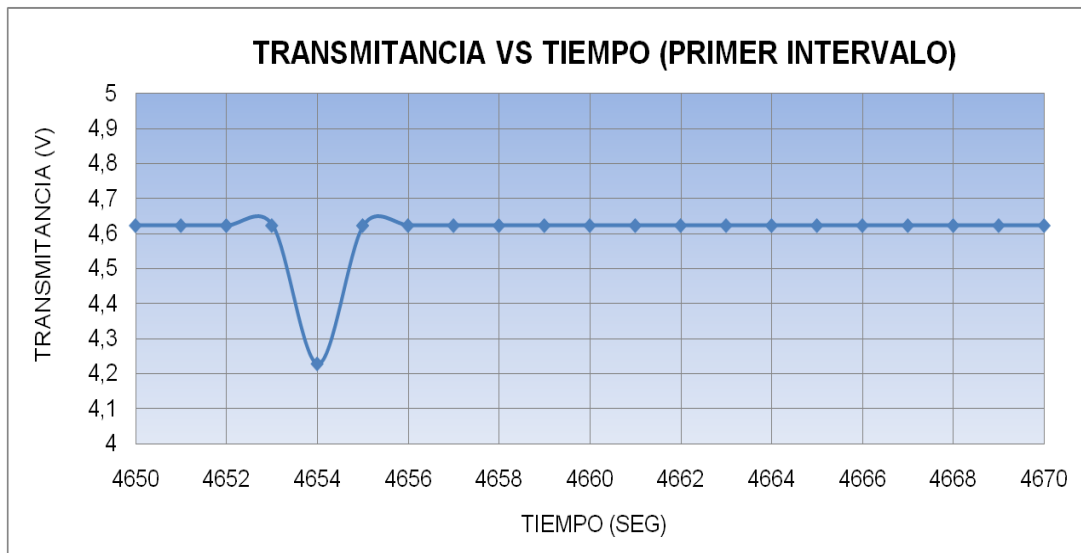


Fig 37. Comportamiento de la transmitancia vs. el tiempo, en una mezcla de 95% de heptano y 5% de crudo (Primer intervalo de precipitación).

4.1.15 PRESIÓN VS. TIEMPO (SEGUNDO INTERVALO DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS).

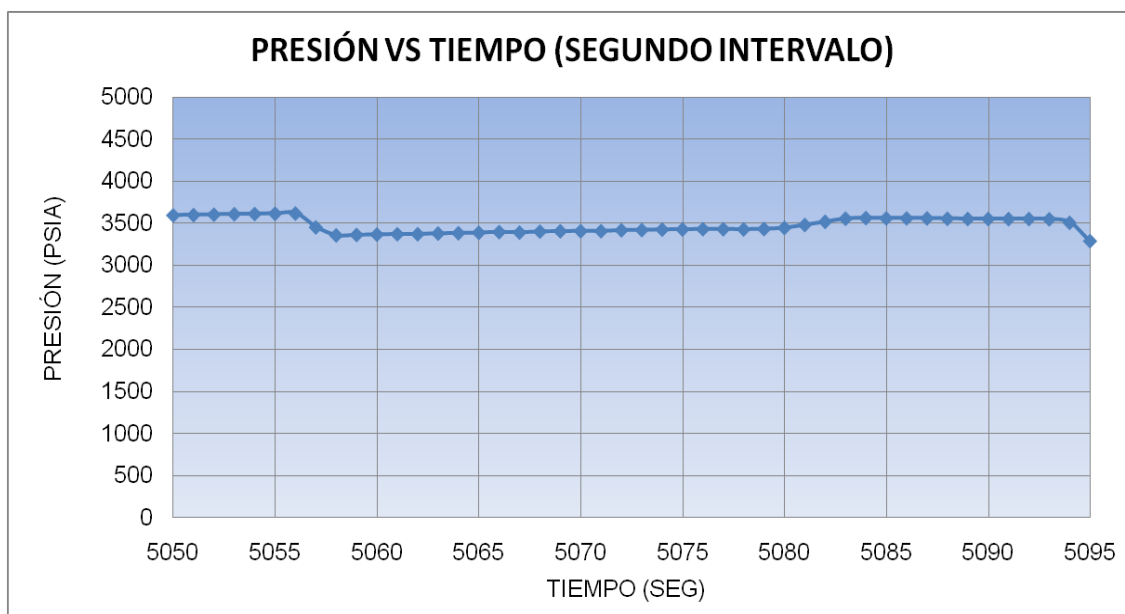


Fig 38. Comportamiento de la presión vs. el tiempo, en una mezcla de 95% de heptano y 5% de crudo (Segundo intervalo de precipitación).

4.1.16 TRANSMITANCIA VS TIEMPO (SEGUNDO INTERVALO DE PRECIPITACIÓN).

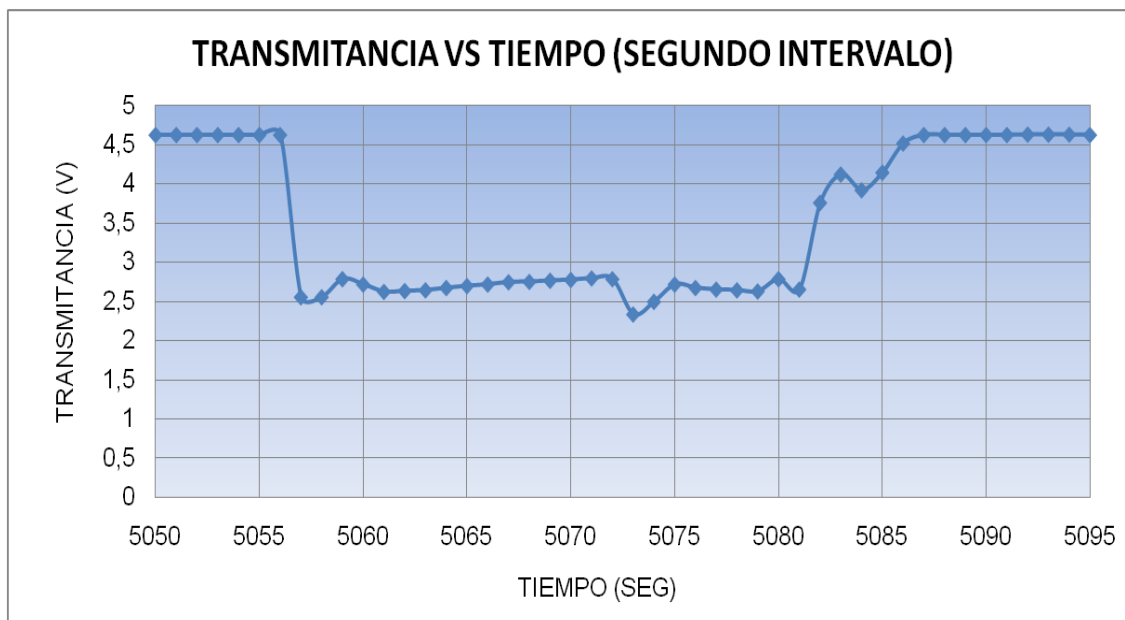


Fig 39. Comportamiento de la transmitancia vs. el tiempo, en una mezcla de 95% de heptano y 5% de crudo (Segundo intervalo de precipitación).

4.1.17 PRESIÓN VS. TIEMPO (TERCER Y CUARTO INTERVALO DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS).

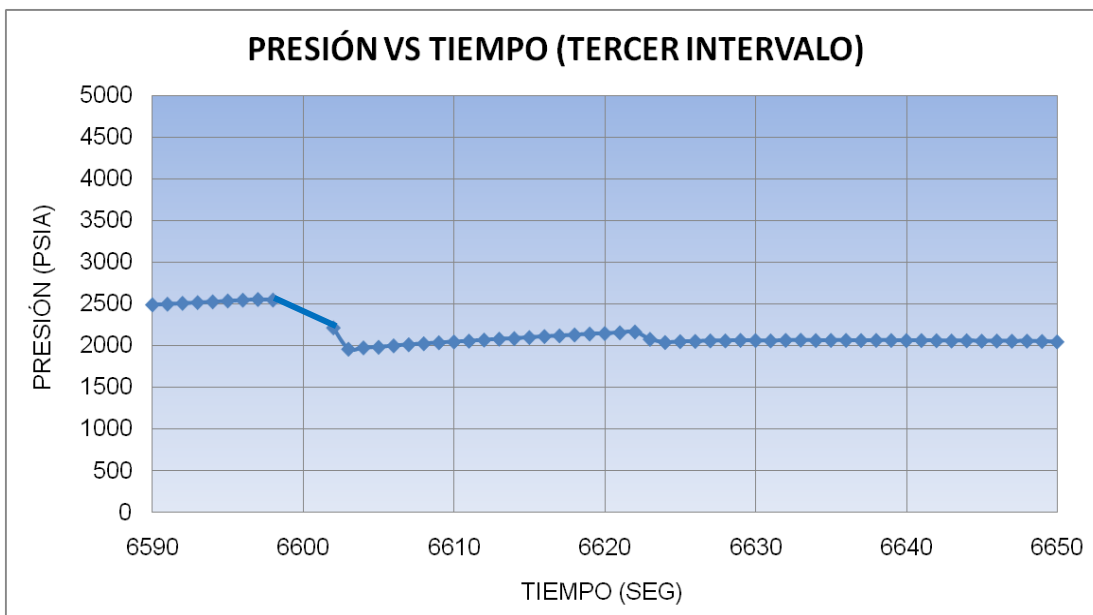


Fig 40. Comportamiento de la presión vs el tiempo, en una mezcla de 95% de heptano y 5% de crudo (Tercer y cuarto intervalo de precipitación).

4.1.18 TRANSMITANCIA VS. TIEMPO (TERCER Y CUARTO INTERVALO DE PRECIPITACIÓN DE ASFALTENOS).

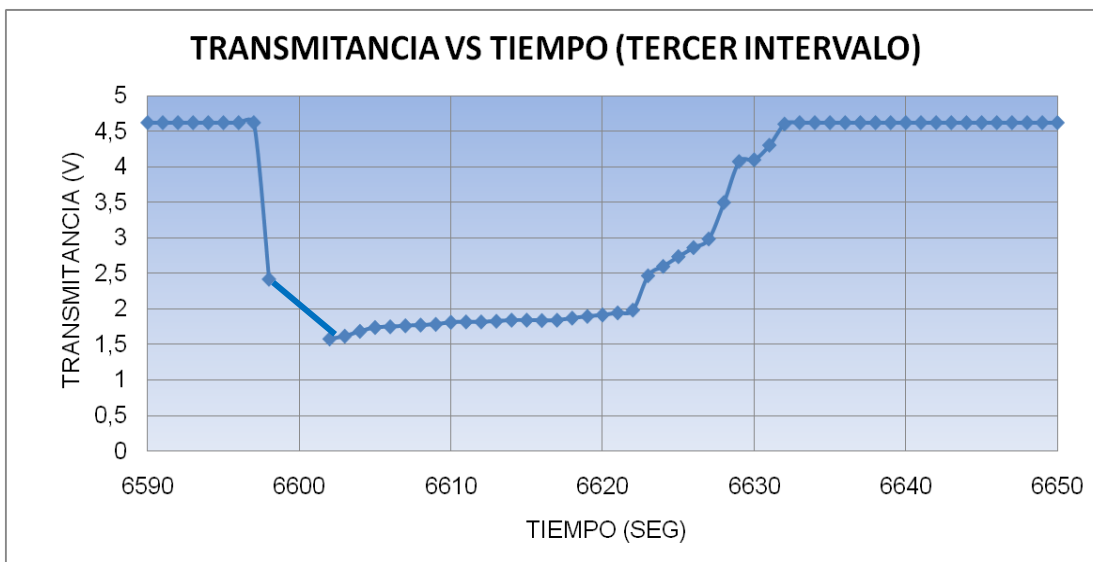


Fig 41. Comportamiento de la transmitancia vs el tiempo, en una mezcla de 95% de heptano y 5% de crudo (Tercer y cuarto intervalo de precipitación).

4.1.19 TRANSMITANCIA VS. PRESIÓN (PROMEDIO DE PUNTOS EN LOS QUE HUBO PRECIPITACIÓN) CRUDO (5%) – HEPTANO (95%).

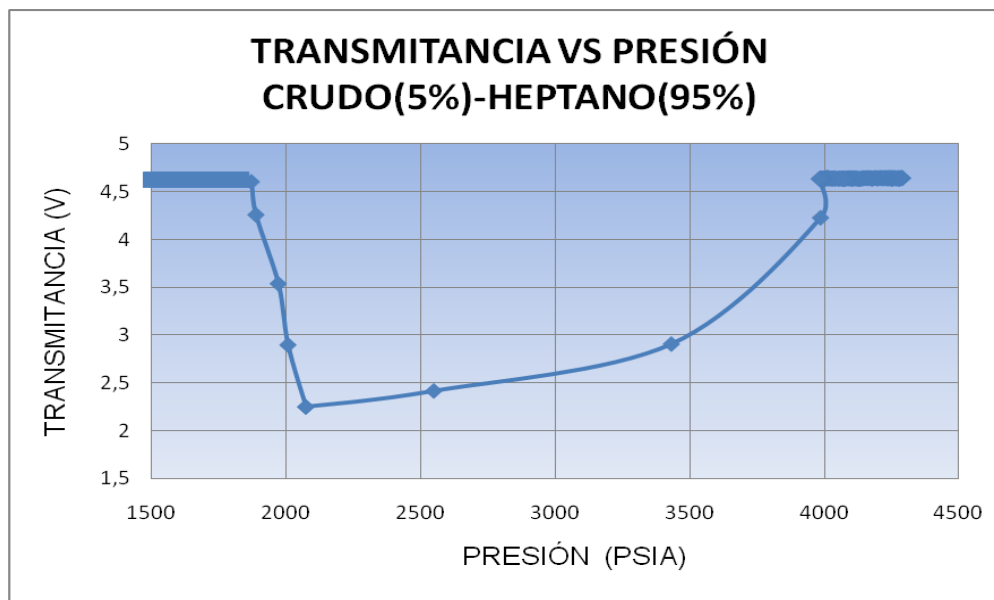


Fig 42. Comportamiento de la transmitancia vs presión de la mezcla (95% de heptano y 5% crudo).

La gráfica anterior muestra los cuatro (4) puntos promedio de transmitancia y presión, en el proceso de despresurización, donde hubo precipitación de asfaltenos, y la redisolución de las micelas, luego de que los sensores infrarrojos no detectaran el paso de coloides por la garganta de 2mm, de diámetro de la celda.

5. RECOMENDACIONES

- Seguir paso a paso el procedimiento establecido en el Manual para el desarrollo normal, seguro y confiable de los resultados obtenidos.
- Previo inicio de la prueba verificar el buen estado del equipo y la limpieza del mismo, garantizando que la muestra de crudo no se contamine de agentes externos.
- La técnica utilizada para el desarrollo de este trabajo fue la NIR (Near Infrared), por consiguiente no es recomendable aplicarla a crudos pesados porque debido a su viscosidad cuentan con un nivel de absorbancia mayor.
- Una vez determinada el tipo de muestra para la prueba, obtener del PVT la presión de saturación y comparar el comportamiento de la transmitancia antes y después de ella, para obtener confiabilidad en la data obtenida.
- Seguir apoyándose en el SENA para el diseño de sistemas de desplazamiento milimétrico de fluidos, con la finalidad de mejorar el equipo ASFALNIR, pues la entidad cuenta con la maquinaria y personal calificado para la asesoría y desarrollo de proyectos de esta índole.

6. CONCLUSIONES

- Se obtuvo una transmitancia constante para el agua de 4,608993 Voltios, para lo que se concluye que no hubo precipitación de partículas, lo cual indica que la fracción de luz incidente, a una longitud de onda específica (940nm), pasó a través del contenido de la celda, sin que existieran partículas en suspensión que refractaran la luz.
- El valor de transmitancia obtenido para el agua fue de 4,628322687 V y para el aceite mineral fue de 4,61305319 V, lo que indica que al tener una viscosidad y capacidad de absorbanza mayor, el aceite mineral deja fluir con mas obstrucción la luz incidente, y por consiguiente la propiedad transmitancia va a ser ligeramente menor en comparación con la registrada para el agua pura.
- La transmitancia obtenida para la mezcla de aceite mineral/asfaltenos fue de 0 V, en los intervalos de presión (13, 15, 17, 34, 223, 228, 238) PSIA, debido a que las micelas taponaron la garganta de 2mm, de diámetro del cilindro y se le imprimió alta presión al sistema y por consiguiente alta velocidad de desplazamiento.
- La primera precipitacion de asfaltenos en la mezcla crudo/heptano, ocurrió a 3985 PSIA, donde hubo un registro de transmitancia de 4,2727761 V ; la segunda etapa de precipitacion de asfaltenos ocurrió a 3431 PSIA @ 2,9094168 V , finalmente se produjo una ultima caída de partículas a una condicion de presión de 2072 PSIA y una transmitancia de 2,2530141 V. Posteriormente no hubo registro de datos, probablemente por redisolucion de las partículas en el la mezcla.

- Debido a la baja sensibilidad de los sensores infrarrojos, el registro de partículas de reducido tamaño es casi nulo, lo cual se evidencia en el comportamiento gráfico de cada prueba, cuando hay precipitación y posteriormente ocurre una redisolución corta de los asfaltenos.
- Cuando la presión alcanza la envolvente superior de precipitación de asfaltenos, también conocida como presión de inicio de la precipitación de estas partículas, los asfaltenos menos solubles precipitarán; conforme la presión continúe decreciendo, más micelas precipitarán hasta que se alcance la presión de burbujeo, y se libere el gas de la solución. Con la reducción continua de la presión se ha removido suficiente gas del sistema, y el petróleo crudo podrá comenzar a redissolver los asfaltenos en la envolvente inferior de precipitación de asfaltenos.
- El equipo es una herramienta valiosa en la industria del petróleo, pues permite determinar la presión inicial de precipitación de asfaltenos y con ello evitar el efecto dañino de éstos en el yacimiento, ya que se tendría conocimiento del punto y momento de depletamiento del yacimiento en el que empezarían a precipitar los asfaltenos en el reservorio y de esta manera se emplearían inhibidores o solventes para eliminar o mitigar daños en la formación o pérdidas en la producción.

BIBLIOGRAFIA.

1. Alayon, Mario, 2004. Asfaltenos- Ocurrencia y floculación, Universidad de Los Andes Merida 5101 Venezuela [consultado el 21 de enero de 2011]. http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S369PP_Asfaltenos.pdf.
2. Escobedo J. and Mansoori G.A, 1992, Heavy Organic Deposition and Plugging of Wells, SPE 23696.
3. Jamaluddint, A, Akbarzadeh Kamran, Hammami Ahmed, Kharrat Abdel, Zhang Dan, Allenson Stephan, Creek Jefferson, Kabir Shah, Marshall Alan G., Rodgers Ryan P., Mullins Oliver C., Solbakken Trond, 2007, Los asfaltenos: Problemáticos pero ricos en potencial. Oilfield Review Autumn 2007 in Spanish, Volumen 19, 73 p.
4. Romía, Marcelo B., 2009. Avances en la Aplicación de la Espectroscopía NIR en la Industria Farmacéutica. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona.
5. Sim SSK, Takabayashi K, Okatsu K, Fisher D, 2005, Asphaltene Induced Formation Damage: Effect of Asphaltene Particle Size and Core Permeability, SPE 95515.
6. Thou S, Ruthammer G, Potsch K, 2002, Detection of Asphaltenes Flocculation Onset in a Gas Condensate System, SPE 78321.
7. Wang JX, Brower KR and Buckley JS, 1999, Advances in Observation of Asphaltene Destabilization, SPE 50745.

ANEXOS

ANEXO 1. DATASHEET DEL SENSOR INFRARROJO

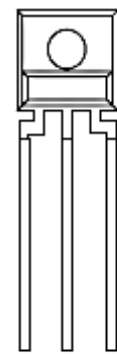


TSL260R, TSL261R, TSL262R INFRARED LIGHT-TO-VOLTAGE OPTICAL SENSORS

TAOS049E - SEPTEMBER 2007

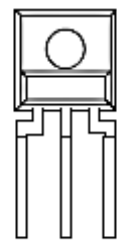
- Integral Visible Light Cutoff Filter
- Monolithic Silicon IC Containing Photodiode, Operational Amplifier, and Feedback Components
- Converts Light Intensity to a Voltage
- High Irradiance Responsivity, Typically 111 mV/($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) at $\lambda_p = 940 \text{ nm}$ (TSL260R)
- Compact 3-Lead Plastic Package
- Single Voltage Supply Operation
- Low Dark (Offset) Voltage....10mV Max
- Low Supply Current.....1.1 mA Typical
- Wide Supply-Voltage Range.... 2.7 V to 5.5 V
- Replacements for TSL260, TSL261, and TSL262
- RoHS Compliant (-LF Package Only)

PACKAGE S
SIDELOOKER
(FRONT VIEW)



1 2 3
GND V_{DD} OUT

PACKAGE SM
SURFACE MOUNT
SIDELOOKER
(FRONT VIEW)

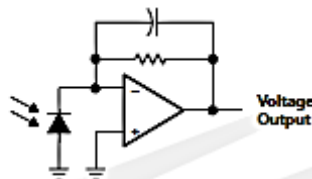


1 2 3
GND V_{DD} OUT

Description

The TSL260R, TSL261R, and TSL262R are infrared light-to-voltage optical sensors, each combining a photodiode and a transimpedance amplifier (feedback resistor = 16 M Ω , 8 M Ω , and 2.8 M Ω respectively) on a single monolithic IC. Output voltage is directly proportional to the light intensity (irradiance) on the photodiode. These devices have improved amplifier offset-voltage stability and low power consumption and are supplied in a 3-lead plastic sidelooker package with an integral visible light cutoff filter and lens. When supplied in the lead (Pb) free package, the device is RoHS compliant.

Functional Block Diagram



Available Options

DEVICE	T_A	PACKAGE - LEADS	PACKAGE DESIGNATOR	ORDERING NUMBER
TSL260R	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker	S	TSL260R
TSL260R	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker — Lead (Pb) Free	S	TSL260R-LF
TSL260R	0°C to 70°C	3-lead Surface-Mount Sidelooker — Lead (Pb) Free	SM	TSL260RSM-LF
TSL261R	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker	S	TSL261R
TSL261R	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker — Lead (Pb) Free	S	TSL261R-LF
TSL261R	0°C to 70°C	3-lead Surface-Mount Sidelooker — Lead (Pb) Free	SM	TSL261RSM-LF
TSL262R	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker	S	TSL262R
TSL262R	0°C to 70°C	3-lead Sidelooker — Lead (Pb) Free	S	TSL262R-LF
TSL262R	0°C to 70°C	3-lead Surface-Mount Sidelooker — Lead (Pb) Free	SM	TSL262RSM-LF

Electrical Characteristics at $V_{DD} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $\lambda_p = 940\text{ nm}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ (unless otherwise noted) (see Notes 3, 4, and 5)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TSL260R			TSL261R			TSL262R			UNIT			
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX				
V_D	Dark voltage	$E_e = 0$			0	4	10	0	4	10	0	4	10	mV
V_{OM}	Maximum output voltage	$V_{DD} = 4.5\text{ V}$			3	3.3		3	3.3		3	3.3		V
V_O	Output voltage	$E_e = 18\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$			1	2	3							V
		$E_e = 46\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$						1	2	3				
		$E_e = 220\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$									1	2	3	
α_{vo}	Temperature coefficient of output voltage (V_O)	$E_e = 18\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C			8						mV/ $^\circ\text{C}$			
					0.4						%/ $^\circ\text{C}$			
		$E_e = 46\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C						8			mV/ $^\circ\text{C}$			
								0.4			%/ $^\circ\text{C}$			
E_e	Irradiance responsivity	See Note 6			111			43.5			9.1			mV/ $(\mu\text{W}/\text{cm}^2)$
		$E_e = 18\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$			1.1			1.7						mA
		$E_e = 46\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$						1.1			1.7			
$E_e = 220\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$									1.1			1.7		

NOTES: 3. Measurements are made with $R_L = 10\text{ k}\Omega$ between output and ground.

4. Optical measurements are made using small-angle incident radiation from an LED optical source.

5. The input irradiance E_e is supplied by a GaAs LED with peak wavelength $\lambda_p = 940\text{ nm}$.

6. Irradiance responsivity is characterized over the range $V_O = 0.05$ to 2.9 V . The best-fit straight line of Output Voltage V_O versus irradiance E_e over this range will typically have a positive extrapolated V_O value for $E_e = 0$.

Dynamic Characteristics at $T_A = 25^\circ\text{C}$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TSL260R			TSL261R			TSL262R			UNIT			
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX				
t_r	Output pulse rise time	$V_{DD} = 5\text{ V}$, $\lambda_p = 940\text{ nm}$			260			70			7			μs
t_f	Output pulse fall time	$V_{DD} = 5\text{ V}$, $\lambda_p = 940\text{ nm}$			260			70			7			μs
V_n	Output noise voltage	$V_{DD} = 5\text{ V}$, $E_e = 0$, $f = 1000\text{ Hz}$			0.8			0.7			0.6			$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$

ANEXO 2. DATASHEET DEL EMISOR INFRARROJO



LITE-ON ELECTRONICS, INC.

Property of Lite-On Only

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS AT TA=25°C

PARAMETER	MAXIMUM RATING	UNIT
Power Dissipation	150	mW
Peak Forward Current (300pps, 10 μ s pulse)	2	A
Continuous Forward Current	100	mA
Reverse Voltage	5	V
Operating Temperature Range	-40°C to +85°C	
Storage Temperature Range	-55°C to +100°C	
Lead Soldering Temperature [1.6mm(.063") From Body]	260°C for 5 Seconds	

ELECTRICAL OPTICAL CHARACTERISTICS AT TA=25°C

PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	TEST CONDITION	BIN NO.
Aperture Radiant Incidence	E _e	0.44		0.96	mW/cm ²	I _F = 20mA	BIN A
		0.64		1.20			BIN B
		0.80		1.68			BIN C
		1.12					BIN D
Radiant Intensity	I _E	3.31		7.22	mW/sr	I _F = 20mA	BIN A
		4.81		9.02			BIN B
		6.02		12.63			BIN C
		8.42					BIN D
Peak Emission Wavelength	λ_{Peak}		940		nm	I _F = 20mA	
Spectral Line Half-Width	$\Delta \lambda$		50		nm	I _F = 20mA	
Forward Voltage	V _F		1.2	1.6	V	I _F = 20mA	
Reverse Current	I _R			100	μ A	V _R = 5V	
Viewing Angle (See FIG.6)	$2\theta_{1/2}$		40		deg.		

ANEXO 3. DATASHEET DEL TRANSDUCTOR DE PRESIÓN



MSP 300 Pressure Transducer

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Supply Voltage: 5.0V, Ambient Temperature: 25°C (unless otherwise specified)

PARAMETERS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Span Setting	-2		2	%Span	1
Zero Pressure Output (0 – 100mV)	-3		3	%Span	1
Zero Pressure Output (Amplified)	-2		2	%Span	1
Accuracy (combined non linearity, hysteresis, and repeatability)	-1		1	%Span	2
Temperature Error – Zero	-2		2	%Span	
Temperature Error – Span	-2		2	%Span	
Supply Current (0 – 100mV, 0.5 – 4.5V)			10	mA	
Supply Current (1 – 5V)			15	mA	
Long Term Stability (1 year)	-0.25		0.25	%Span	3
Pressure Overload	2X			Rated	
Pressure Cycles (Zero to Full Scale)	10			Million	
Output Load			1	MΩ	
Compensated Temperature	0		55	°C	
Operating Temperature	-20		+85	°C	4
Storage Temperature	-40		+125	°C	4
Burst Pressure	5X			Rated	
Vibration	±20			g	5
Shock (11ms)	50			g	6
Output Noise			2	mVRMS	
Bandwidth (-3dB)	1			kHz	
Weight		82.55		grams	
Media Compatibility	All Materials Compatible with 17-4 Stainless Steel				

For custom configurations, consult factory.

Notes

1. Ratio metric to supply.
2. Best fit straight line.
3. Long term stability over a one year period.
4. Maximum temperature range for product with standard cable is -20°C to +105°C.
5. Per MIL-STD-810C, Procedure 514.2, Figure 514.2-2, Curve L.
6. 1/2 sine per MIL-STD 202F Method 213B condition A.

MSP 300 Pressure Transducer

OUTPUT OPTIONS

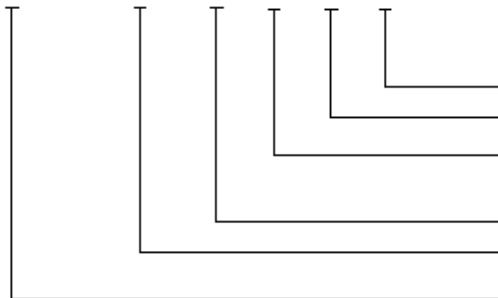
Code	Output	Supply (V)		
		MIN	TYP	MAX
2	0 – 100 mV (ratiometric)	2.5	5	12
3	0.5 – 4.5 V (ratiometric)	4.75	5	5.25
4	1 – 5 V	8		30
5	4 – 20 mA	9		30

Wiring Color Code

Code	Output	+Supply	-Supply	+Out	-Out
2	0 – 100 mV (ratiometric)	Red	Black	Green	White
3	0.5 – 4.5 V (ratiometric)	Red	Black	White	N/A
4	1 – 5 V	Red	Black	White	N/A
5	4 – 20 mA	Red	Black	N/A	N/A

ORDERING INFORMATION

MSP300 - 100 - P - 2 - N - 1



Connection (1 = 2ft Cable)

Pressure Port (N = 1/4NPT)

Outputs (2 = 0 - 100mVdc, 3 = .5 - 4.5Vdc

4 = 1 - 5Vdc fixed, 5 = 4 - 20mA two wire)

Units (P = psi, B = Bar)

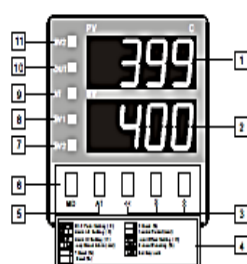
Pressure Range (100 - P = 100psi, 2K5 - P = 2500psi,
05K - P = 5000psi)

Model

ANEXO 4. DATASHEET DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Serie TZ4 CONTROLADORES DE TEMPERATURA PID

Autonics



- 1.- PV: Indicador de variable de proceso (rojo)
- 2.- SV: Indicador de valor deseado (verde)
- 3.- <<: Tecla para desplazarse a otro dígito
↕: Teclas Aumentar/Disminuir
- 4.- Información para el modo de operación
- 5.- Tecla AT: Para ejecutar el ciclo de autosintonía
- 6.- Tecla MD: Para elegir los ítems a ser modificados
- 7.- EV2: Señalización del estado de la salida EVENT2
- 8.- EV1: Señalización del estado de la salida EVENT1
- 9.- OUT: Señalización del estado de la salida de control
- 10.- AT: Señalización de ciclo de autosintonía en progreso
- 11.- SV2: Indicación de SV-2 activo

RANGOS DE ENTRADA

Entrada	Display	Rango
Termocupla K	kCA . H)	-100 a 1300 °C
	kCA . L)	-100.0 a 999.9 °C
Termocupla J	JIC . H)	0 a 800 °C
	JIC . L)	0.0 a 800.0 °C
Termocupla R	r Pr)	0 a 1700 °C
Termocupla E	ECr . H)	0 a 800 °C
	ECr . L)	0.0 a 800.0 °C
Termocupla T	tCC . H)	-200 a 400 °C
	tCC . L)	-199.9 a 400.0 °C
Termocupla S	S Pr)	0 a 1700 °C
Termocupla N	N nn)	0 a 1300 °C
Termocupla W	U tt)	0 a 2300 °C
Pt100 (JIS)	JPt . H)	0 a 500 °C
	JPt . L)	-199.9 a 199.9 °C
Pt100 (DIN)	dPt . H)	0 a 500 °C
	dPt . L)	-199.9 a 199.9 °C
0 a 10 VCC	A -- 1)	-1999 a 9999 °C
1 a 5 VCC	A -- 2)	-1999 a 9999 °C
4 a 20 mA CC	A -- 3)	-1999 a 9999 °C

ESPECIFICACIONES

Modelo	TZ4ST	TZ4H
Alimentación	100 a 240 VCA 50/60 Hz \pm 10%	
Consumo	5 VA máx.	
Display	a LED 2 x 4 dígitos de 8 mm, rojos para variable de proceso (PV) y verdes para set-point (SV)	
Tipos de Entrada	Termocupla: K, J, R, E, T, S, N, W. Resistencia máxima del cableado externo :100 ohms	
	Termorresistencia (RTD) : Pt100 DIN, Pt100 JIS. Conexión a tres hilos, 5 ohms máx. por hilo	
	Tensión: 1 a 5 VCC, 0 a 10 VCC; Corriente: 4 a 20 mA	
Modos de Control	ON / OFF (Histéresis: 1 a 100 °C ajustable)	
	P, PI, PD, PIDF (PID rápido), PIDS (PID lento)	
Salida de Control	Salida a Relé: 1 Inversor 3A, 250 VCA carga resistiva	
	Salida para SSR: 12VCC \pm 2 V, 30 mA máx.	
	Salida de corriente: 4-20mA carga: 600 Ω máximo	
Salida de Alarma	1 ó 2 Relés NA: 1A, 250 VCA carga resistiva	
Precisión	\pm 0,3% del fondo de escala \pm 1 dígito	
Histéresis	Ajustable 1 a 100 (0,1 a 100,0) °C, (control ON / OFF)	
Banda Proporcional (P)	0 a 100%	
Tiempo Integral (I)	0 a 3600 seg	
Tiempo Derivativo (D)	0 a 3600 seg	
Período de Control (T)	1 a 120 seg	
Tiempo de muestreo	500 mseg	
Tiempo de alarma de lazo	1 a 999 seg	
Tiempo de Rampa	Subida, Bajada de 1 a 99 minutos	
Rigidez dieléctrica	2000 VCA 50/60Hz durante 1 minuto entre alimentación y entradas de sensor	
Durabilidad mecánica	0,5 mm de amplitud de 5 a 55 Hz en cada una de las direcciones X, Y, Z durante 2 horas	
Resistencia de aislación	100 Mohm mín (500 VCC)	
Ruido	\pm 2KV fase R y fase S 1 μ seg	
Retención de Memoria	10 años (mediante EEPROM)	
Temperatura de operación	-10 °C a 50 °C (sin formación de hielo)	
Temperatura de almacenamiento	-20 °C a 60 °C (sin formación de hielo)	
Humedad	35% a 85% RH	
Peso	136 g	259 g