

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Estudio de prefactibilidad para implementar un método de prueba para la determinación del punto de nube y de cristalización en petróleo crudo y productos petrolíferos en el laboratorio de fluidos de la escuela de ingeniería de petróleos

Daniel David Jiménez Barbosa

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero de Petróleos

Director

Cesar Augusto Pineda Gómez

MSc. en Ingeniería de Petróleos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías de Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Dedico este proyecto en primer lugar a DIOS por su gran amor y permitirme cumplir en lo que hasta ahora ha sido el logro más grande de mi vida.

A mi padre Hernando Jiménez, por haber creído en mí y darme su apoyo incondicional en los momentos más difíciles.

A mi abuela Ines Flórez por guiarme con su amor por el camino del trabajo honesto y esfuerzo constante.

A mi madre Jackeline Barbosa y mis hermanos Alejandro , Carolina y Caleb por formar parte de los recuerdos más lindos y significativos en mi vida

A todos mis amigos, los cuales durante toda mi etapa universitaria me enseñaron a ser una persona diferente y vivir grandes experiencias .

Autor: Daniel David Jiménez Barbosa

Agradecimientos

A mi alma mater la escuela de ingeniería de petróleos: gracias por contar con docentes altamente calificados , con una gran calidad humana y que me inspiraron a crecer como profesional y como persona.

Agradezco a mi director de tesis, MSc. Cesar Augusto Pineda Gómez por el apoyo, paciencia, dedicación y aportes en la elaboración y culminación de este proyecto de grado.

Finalmente agradezco a la vida por darme la oportunidad de enfrentarme a grandes obstáculos, y a DIOS por estar en cada momento donde necesité ayuda para levantarme.

Autor: Daniel David Jiménez Barbosa

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Objetivos.....	18
1.1 Objetivo general	18
1.2 Objetivos específicos.....	18
2. Composición del Petróleo	19
3. Clasificación del Petróleo Crudo	20
3.1 Petróleos asfálticos o nafténicos.....	20
3.2 Crudos aromáticos	21
3.3 Crudos parafínicos.....	21
4. Generalidades y clasificación de las Parafinas	23
4.1 Parafinas macrocristalinas	24
4.2 Parafinas microcristalinas.....	24
5. ¿Cómo ocurre el proceso de precipitación de las parafinas?	25
5.1 Precipitación y deposición de parafinas	26
6. Punto de cristalización de las parafinas	27
6.1 Consideraciones del punto de cristalización (PC).....	27
6.2 Mecanismos del proceso de cristalización	28
6.2.1 Nucleación	28
6.2.2 Crecimiento cristalino	28
7. Temperatura de Disolución de Ceras (WDT)	30
8. Prueba para el diagnóstico de precipitación de parafinas	30
9. Mecanismos de Deposición de las Parafinas	32
9.1 Por efectos de la gravedad.....	32

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

9.2	Difusión molecular	32
9.3	Dispersión por cizallamiento o por corte.....	33
9.4	Difusión Browniana	34
10.	Factores Que Controlan la Precipitación de Parafinas.....	36
10.1	La temperatura.....	36
10.2	Proporcionalidad relativa de disolventes y solutos	37
10.3	Peso molecular de la solución	37
10.4	Presión.....	38
10.5	Efecto del Agua.....	40
11.	Envolvente de Cristalización de Parafinas (EDP)	40
12.	Normas Estandarizadas Para la Determinación del Punto de Nube	42
12.1	Método de prueba estándar del punto de nube de los productos petrolíferos y los combustibles líquidos, ASTM D2500-17 ^a	42
12.1.1	Descripción del método	42
12.1.2	Resumen y alcance.....	42
12.1.3	Desventajas	43
12.2	Método de ensayo estándar del punto de nube de los productos petrolíferos y combustibles líquidos (método de la velocidad de enfriamiento constante), ASTM D5773-21	44
12.2.1	Descripción del método	44
12.2.2	Resumen y alcance.....	44
12.3	Método de ensayo estándar del punto de nube de los productos petrolíferos y los combustibles líquidos (método del tarro de ensayo pequeño), ASTM D7683-21	46
12.3.1	Descripción del método	46

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

12.3.2 Resumen y alcance del método	46
12.3.3 Calibración y normalización	47
12.4 Método de prueba estándar del punto de nube de productos petrolíferos y los combustibles líquidos (método Mini), ASTM D7689- 21	50
12.4.1 Descripción del método	50
12.4.2 Resumen y alcance.....	50
12.4.3 Descripción del equipo.....	51
13. Métodos no Estandarizados Para Determinar el Punto de Cristalización de Parafinas	53
13.1 Calorimetría Diferencial de Barrido o Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	54
13.1.1 Principio de la Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	55
13.1.2 Principales limitantes de la DSC.....	55
13.2 Microscopía polarizada cruzada o Cross Polarized Microscopy (CPM).....	56
13.2.1 Generalidades de la Microscopía polarizada cruzada	57
13.2.2 Aspectos desfavorables de la Microscopía polarizada cruzada	57
13.2.3 Estructura y funcionamiento de la CPM	57
13.3 Sistema de Detección de Sólidos o Solid Detection System (SDS).....	59
13.3.1 Funcionamiento del sistema de detección de sólidos.....	59
13.3.2 Algunas características y beneficios del sistema de detección de sólidos	59
13.4 Analizador de Partículas para Fluidos de Reservorio o Reservoir Fluid Particle Analyser (RFP).....	60
13.4.1 Descripción del equipo RFP	61
13.4.2 Aplicabilidad de RFP en fluidos	61
14. Espectroscopia de Infrarrojo Cercano o Near Infrared Spectroscopy (NIR).....	63

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

14.1	Regiones de absorción de grupos característicos	64
14.2	Aplicaciones de la NIR en análisis de productos petrolíferos	65
14.3	Análisis en petróleo crudo	66
14.3.1	Limitantes de la NIR	66
15.	Criterio de Selección del Método de Prueba	67
16.	Estudio de Prefactibilidad	68
16.1	Estudio de mercado	70
16.1.1	Mercado objetivo	70
16.1.2	Análisis del Mercado a Nivel Nacional	72
16.1.3	Análisis del Mercado a nivel local (Bucaramanga)	75
16.1.4	Estrategia de Mercadeo	76
16.1.5	Análisis de la demanda	77
16.1.6	Estudio de la oferta	86
16.2	Estudio técnico	89
16.2.1	Ubicación y dimensionamiento	89
16.2.2	Evaluación técnica de proveedor	92
16.2.3	Personal capacitado	106
16.2.4	Procedimiento del uso del equipo DSC	106
17.	Estudio Financiero y Económico	107
17.1	Presupuesto de Inversiones	107
17.1.1	Inversiones Fijas	107
17.1.2	Inversiones preoperativas o diferidas	107
17.1.3	Capital de trabajo	108

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

17.2	Costos de producción	109
17.2.1	Gastos de administración	109
17.2.2	Gastos de fabricación	110
17.2.3	Gastos de ventas	110
17.3	Ingresos por la prestación del servicio	111
17.3.1	El escenario académico	112
17.3.2	Escenario económico	112
17.4	Indicadores de Evaluación Financiera.....	113
17.4.1	Valor presente neto (VAN).....	114
17.4.2	Cálculos para los valores del VPN de cada escenario.....	115
17.5	Resultados del análisis de escenarios	117
18.	Implementación del sistema de gestión de calidad en el laboratorio de fluidos.....	118
18.1	Norma Técnica Colombiana ISO/IEC 17025:2017.....	118
19.	Guía del proceso de acreditación del laboratorio.....	124
19.1	Alcance de la acreditación.....	125
19.2	Mecanismos normativos de verificación (Acreditación).....	126
19.2.1	Criterios generales.....	126
19.2.2	Criterios específicos	127
20.	Proceso para la solicitud de acreditación.....	128
20.1	Documentos complementarios	128
20.2	Solicitud de acreditación	129
21.	Procedimiento de Acreditación.....	130
21.1	Revisión de la solicitud	130

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

21.2	Cotización de la acreditación.....	130
21.3	Designación del equipo evaluador y programación de la evaluación	132
21.4	Proceso de evaluación	132
21.4.1	Revisión de la documentación y los registros.....	132
18.4.1.1	Evaluaciones de otorgamiento.	132
18.4.1.2	Evaluaciones de seguimiento.	132
18.4.1.3	Reevaluaciones.	133
21.5	Decisión sobre la acreditación.....	133
21.6	Certificado de acreditación.....	134
21.7	Vigencia de la acreditación	135
22.	Conclusiones	136
23.	Recomendaciones	137
24.	Referencias bibliograficas.....	138
25.	Apéndices.....	144

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Especificaciones técnicas del aparato automático de punto de nube</i>	49
Tabla 2. <i>Descripción de los elementos del método Mini Automático</i>	53
Tabla 3. <i>Descripción del equipo RFP para determinar la WAT</i>	62
Tabla 4. <i>Estudios que integran un proyecto de inversión</i>	69
Tabla 5. <i>Estrategias de Mercadeo</i>	76
Tabla 6. <i>Análisis de demanda</i>	78
Tabla 7. <i>Estudiantes matriculados en las asignaturas propiedades y laboratorio de los fluidos</i> 80	
Tabla 8. <i>Principales universidades relacionadas con el sector petrolero</i>	82
Tabla 9. <i>Análisis de los principales actores de competencia</i>	86
Tabla 10. <i>Proveedores seleccionados</i>	94
Tabla 11. <i>Criterio de selección de proveedores</i>	97
Tabla 12. <i>Resultados de selección de proveedores</i>	98
Tabla 13. <i>Criterios de selección de proveedores por el método AHP</i>	100
Tabla 14. <i>Criterio(precio) de selección de proveedores por el método AHP</i>	101
Tabla 15. <i>Criterio (tiempo de entrega) de selección de proveedores por el método AHP</i>	102
Tabla 16. <i>Resultados del modelo</i>	103
Tabla 17. <i>Equipos DSC con TA Instruments</i>	104
Tabla 18. <i>Equipos DSC PT 1600* con Intek Group</i>	105
Tabla 19. <i>Presupuesto de las inversiones a realizar</i>	109
Tabla 20. <i>Costos de producción</i>	111
Tabla 21. <i>Costos totales</i>	111
Tabla 22. <i>Escenario comercial</i>	113

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Tabla 23. <i>Interpretación del VAN</i>	114
Tabla 24. <i>Resultados escenarios comerciales</i>	117
Tabla 25. <i>Requisitos de la NTC ISO/IEC 17025:2017</i>	119
Tabla 26. <i>Lista de chequeo de requisitos NTC ISO/IEC 17025:2017</i>	121
Tabla 27. <i>Criterios generales por esquema de acreditación ISO/IEC</i>	126
Tabla 28. <i>Criterios específicos de Acreditación / Lineamiento de acreditación</i>	127

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Principales estructuras de las parafinas</i>	23
Figura 2. <i>Visualización de las redes macrocristalinas y microcristalinas de las parafinas</i>	25
Figura 3. <i>Pasos para la formación de ceras parafínicas</i>	29
Figura 4. <i>Diagnóstico de precipitación de parafinas en crudo vivo</i>	31
Figura 5. <i>Regímenes de flujo en pozos de producción y sus efectos en la deposición de parafinas</i>	34
Figura 6. <i>Teoría de difusión molecular de las parafinas para su deposición</i>	35
Figura 7. <i>Teoría de deposición de parafinas por movimiento Browniano</i>	35
Figura 8. <i>Curva de solubilidad de parafinas en un crudo convencional</i>	37
Figura 9. <i>Efecto de la presión y el gas en solución en el comportamiento de la WAT para un</i> <i>crudo vivo</i>	39
Figura 10. <i>Diagrama envolvente de precipitación de parafinas(EDP)</i>	41
Figura 11. <i>Aparato de prueba para determinar el punto de nube</i>	43
Figura 12. <i>Esquema de la cámara de ensayo</i>	45
Figura 13. <i>Detección de la formación del cristal</i>	45
Figura 14. <i>Principio de funcionamiento del aparato</i>	48
Figura 15. <i>Aparato automático de punto de nube por el método del recipiente de prueba pequeño</i>	48
Figura 16. <i>Esquema de la cámara para muestras</i>	51
Figura 17. <i>Principio del equipo de prueba</i>	52
Figura 18. <i>Método Mini Automático aparato de Puntos de nube</i>	52
Figura 19. <i>Calorímetro diferencial de barrido de alta presión (HP DSC)</i>	56

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Figura 20. <i>Esquema del microscopio de polarización cruzada (CPM)</i>	58
Figura 21. <i>Equipo de sistema de detección de sólidos (SDS)</i>	60
Figura 22. <i>Equipo analizador de partículas para fluidos de reservorio (RFP)</i>	63
Figura 23. <i>Gama de radiaciones electromagnéticas</i>	64
Figura 24. <i>Caracterización de la región grupo de absorción</i>	65
Figura 25. <i>Pronóstico de inversión para el estudio de ceras parafínicas en crudos y derivados</i>	72
Figura 26. <i>Análisis del mercado de Petroquímica</i>	73
Figura 27. <i>Análisis de exportación</i>	74
Figura 28. <i>Participación de Santander en el mercado</i>	75
Figura 29. <i>Estudiantes matriculados en diferentes periodos</i>	81
Figura 30. <i>Producción fiscalizada de crudo por operadora – diciembre 2023</i>	83
Figura 31. <i>Producción fiscalizada de petróleo BPD (2023-2024)</i>	84
Figura 32. <i>Sistema de oleoductos en Colombia</i>	85
Figura 33. <i>Comportamiento del mercado en Santander</i>	88
Figura 34. <i>Sección del laboratorio de fluidos</i>	90
Figura 35. <i>Entrada principal PTG</i>	91

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Lista de Apéndices

Pág.

Apéndice A. Resumen de guía del estudiante en el laboratorio para la determinación del punto de nube y de cristalización en petróleo crudo y derivados usando el procedimiento de la norma ASTM D4419 – 90.....	144
--	-----

Resumen

Título: Estudio de prefactibilidad para implementar un método de prueba para la determinación del punto de nube y de cristalización en petróleo crudo y productos petrolíferos en el laboratorio de fluidos de la escuela de ingeniería de petróleos*

Autor: Daniel David Jiménez Barbosa**

Palabras Clave: prefactibilidad, prueba de laboratorio, sistema de gestión de calidad, punto de cristalización, crudos parafínicos , derivados

Descripción: Uno de los problemas operativos más comunes durante la extracción y transporte de hidrocarburos líquidos en la industria petrolera es la formación de ceras o parafinas que puedan precipitarse, acumularse y restringir el flujo de fluidos a partir de cambios en las condiciones de presión, temperatura y la composición de las mezclas. Los crudos parafínicos tienen un gran valor comercial por la variedad de productos que se pueden obtener mediante el proceso de refinación. Las compañías operadoras tienen la gran responsabilidad de garantizar que todos los componentes del mecanismo de producción sean los adecuados, con base en estudios previos de los tipos de fluidos presentes en el yacimiento.

Este estudio de prefactibilidad tiene como pilar principal estudiar y proponer una prueba de laboratorio para determinar el punto de nube y de cristalización en crudos y derivados, con el objetivo de analizar variables importantes como: un estudio de los diferentes métodos de prueba , la escogencia del método experimental objeto de estudio , el estudio del mercado existente, el estudio técnico identificando ubicación de la prueba y criterios de selección de proveedores, el estudio financiero con costos asociados y la respectiva documentación de los requerimientos del sistema de gestión de calidad basado en la norma NTC ISO 17025, los cuales permitan asegurar la competencia técnica y la fiabilidad de los resultados .

Finalmente , todo lo anterior son las bases para comenzar con la mejora y ampliación de nuevas prácticas experimentales en el laboratorio de fluidos con el fin posesionarlo dentro de los servicios prestados por la escuela de ingeniería de petróleos de la Universidad Industrial de Santander como uno de los más prestigiosos.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías de Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Ingeniería de Petróleos. Director: Cesar Augusto Pineda Gómez. MSc. en Ingeniería de Petróleos .

Abstract

Title: Pre-feasibility study to implement a test method for the determination of cloud point and crystallization point in crude oil and petroleum products in the fluid laboratory of the school of petroleum engineering*

Author(s): Daniel David Jiménez Barbosa**

Key Words: pre-feasibility, laboratory test, quality management system, crystallization point, paraffinic crude oil, derivatives

Description: One of the most common operational problems during the extraction and transportation of liquid hydrocarbons in the oil industry is the formation of waxes or kerosenes that can precipitate, accumulate and restrict the flow of fluids due to changes in the conditions of pressure, temperature and the composition of the mixtures. Paraffinic crudes have a great commercial value due to the variety of products that can be obtained through the refining process. The operating companies have the great responsibility of guaranteeing that all the components of the production mechanism are adequate, based on previous studies of the types of fluids present in the Reservoir.

This pre-feasibility study has as its main pillar to study and propose a laboratory test to determine the cloud point and crystallization point in crude oils and derivatives, with the objective of analyzing important variables such as: a study of the different test methods, the choice of the experimental method under study, the study of the existing market, the technical study identifying test location and supplier selection criteria, the financial study with associated costs and the respective documentation of the requirements of the quality management system based on the NTC ISO 17025 standard, which will ensure the technical competence and reliability of the results.

Finally, all the above are the basis to begin with the improvement and expansion of new experimental practices in the fluids laboratory in order to position it within the services provided by the School of Petroleum Engineering of the Universidad Industrial de Santander as one of the most prestigious.

* Degree Work

** Faculty of physical and chemical engineering. School of Petroleum Engineering. Petroleum Engineering. Director: Cesar Augusto Pineda Gómez. MSc. in Petroleum Engineering.

Introducción

En el dinámico y complejo sector de la industria petrolera, la determinación precisa de propiedades específicas del petróleo crudo y sus derivados es esencial para garantizar su calidad, procesamiento y transporte adecuados. Dentro de estas propiedades, el punto de nube o punto de cristalización destacan por su relevancia, dado que su conocimiento permite anticipar y mitigar posibles problemas en la cadena de suministro y transformación del crudo. Ante la necesidad de contar con técnicas confiables y precisas para la determinación de estas propiedades, emerge la búsqueda de un método de prueba que se posicione como una herramienta prometedora y de vanguardia para su estudio.

Se establece como foco principal, determinar la viabilidad de implementar un método de prueba para la determinación del punto de nube y de cristalización en el Laboratorio de Fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos y de contar como método innovador y actualizado, acorde a las demandas contemporáneas del sector petrolero y en concordancia con los estándares internacionales de calidad dado que el laboratorio de fluidos no cuenta en la actualidad con un método experimental para la determinación de punto de cristalización o de nube de fluidos hidrocarburos y su estudio se realiza de manera conceptual.

De acuerdo a lo anterior, la finalidad de este proyecto es dimensionar las necesidades de equipos, recursos físicos y lineamientos de la norma NTC ISO 17025:2017 necesarios para implementar un protocolo de prueba en la oferta académica del programa, permitiendo que los estudiantes desarrollen competencias técnicas en la determinación de propiedades fundamentales de los fluidos. De igual forma, la unidad podría contar con una nueva herramienta para aplicar en proyectos de investigación y en la oferta de servicios extensión hacia la industria de los hidrocarburos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Elaborar un estudio de prefactibilidad para implementar un método de prueba para la determinación del punto de nube y de cristalización en petróleo crudo y en productos petrolíferos en el laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos

1.2 Objetivos específicos

- Estudiar las aplicaciones de diferentes métodos de prueba para la determinación del punto de nube y de cristalización en petróleo crudo y productos petrolíferos
- Seleccionar un método de prueba para valorar su aplicabilidad en el laboratorio de fluidos
- Analizar condiciones de mercado respecto a posibles proveedores, competidores y clientes potenciales
- Cuantificar los recursos físicos, materiales y financieros necesarios para implementar el protocolo seleccionado en las instalaciones del Laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos
- Evaluar condiciones de aplicabilidad de lineamientos estipulados en la norma NTC ISO 17025:2017 para garantizar la competencia técnica y la fiabilidad de los resultados del protocolo seleccionado

2. Composición del Petróleo

La composición elemental del petróleo está comprendida normalmente dentro de los siguientes intervalos: carbono: 84 – 87 %, Hidrógeno: 11 – 14 %, Azufre: 0.06 – 2 %, Nitrógeno: 0.1-2.0 % y oxígeno 0.1-2.0 % (McCain, 1990, p.41).

Se caracteriza frecuentemente por las cantidades relativas de cuatro series de compuestos y además son similares en estructura química y propiedades. Las clases de compuestos que se encuentran en los petróleos son: la serie de alcanos normales y ramificados (*parafinas*), los cicloalcanos (*naftenos*), la serie (*aromática*), y los (*asfaltos, asfaltenos y resinas*) que son compuestos policíclicos complejos de alto peso molecular que contienen átomos de nitrógeno, azufre y oxígeno en sus estructuras, también llamados compuestos NSO (Tiab & Donaldson, 2015, p.84).

Paris de Ferrer (2009) en su libro “*Fundamentos de la Ingeniería de Yacimientos*” da una descripción general de cuatro(4) series principales como se muestran a continuación:

Las Parafinas o saturados se presentan como estructuras en cadenas con la fórmula general C_nH_{2n+2} . El número de carbono, n, varía desde 1 en el metano, el miembro más simple de la serie parafínica, hasta 40. Las parafinas hasta 5 átomos de carbono se encuentran también en estado gaseoso a P y T normales. Si el número de carbonos es mayor a 5 son normalmente líquidas y las de alto peso molecular son viscosas, sólidas y se conocen como ceras.

Los naftenos o cicloparafinas forman estructuras en anillos y tienen la fórmula general C_nH_{2n} . Los compuestos de esta serie son similares en propiedades físicas y químicas a las estructuras parafínicas con los mismos átomos de carbono. Al igual que las parafinas, son los principales componentes de la mayoría de los crudos.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Los aromáticos son el tercer grupo y basan su estructura en un anillo de carbonos en forma hexagonal, con enlaces simples y alternados. La molécula del benceno es la más simple. Se consideran solventes universales y no causan problemas de precipitación.

Las resinas, asfaltos y asfaltenos lo forman la fusión de redes de anillos bencénicos que contienen impurezas y químicamente no se consideran hidrocarburos. Estas impurezas son los compuestos de alto peso molecular referidos anteriormente como compuestos NSO. Las resinas y los asfaltos son los componentes principales y más pesados del petróleo crudo en su forma de brea o asfalto.

3. Clasificación del Petróleo Crudo

El petróleo crudo² se clasifica básicamente en tres(3) grupos fundamentales, los cuales son: parafínicos, asfálticos y aromáticos. Sin embargo, es importante mencionar que en la realidad y en la mayoría de los yacimientos petrolíferos en el mundo los crudos no son enteramente nafténicos, parafínicos o asfálticos en su estructura química, sino que son hidrocarburos de base mixta.

3.1 Petróleos asfálticos o nafténicos

Son negros, muy viscosos, de alta densidad (valores aproximados a 7,93 lb/gal). Se extrae fuel oil (combustible pesado para hornos y calderas industriales) y poca gasolina. Tienen un contenido mayor al 40% de hidrocarburos del tipo cicloparafinas más conocidos como nafténicos o asfálticos y se les conoce así porque al vacío se obtienen los asfaltos comerciales (Ariza, 2008, p.19). El crudo asfáltico también se conoce como petróleo crudo con base de nafteno cuando el contenido de cera de parafina es bajo y contiene predominio de cicloparafinas (Schlumberger energy glossary, s.f).

² El término “**crudo**” hace referencia al petróleo en su forma natural no refinado, es decir, tal y como proviene del subsuelo (Paris de Ferrer, 2009, p.20)

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Tienen moléculas más grandes y altos puntos de ebullición. Son más baratos que los parafínicos porque son más pesados y se necesita mayor esfuerzo para convertirlos en combustibles y otros fines designados (Hsu & Robinson, 2019, p.82).

3.2 Crudos aromáticos

Contienen un porcentaje de hidrocarburos aromáticos $> 50\%$. El punto de anilina es una herramienta de caracterización de hidrocarburos y se basa en que los hidrocarburos aromáticos tienen una gran afinidad hacia las moléculas de anilina, es decir, un crudo es aromático si $PA < 32$ °F (ECOPETROL, 2015). Los crudos de base aromática son escasos en la naturaleza, constituidos principalmente por benceno y sus derivados, existen pocos yacimientos de este tipo en el mundo. En condiciones ambientales la mayoría de los aromáticos son líquidos, y se caracterizan por ser incoloros de olor aromático menos densos que el agua e insolubles en ella (Ariza, 2008, p.20).

3.3 Crudos parafínicos

Estos crudos son ricos en hidrocarburos de parafina de cadena lineal y ramificada que a su vez son los hidrocarburos más comunes en el petróleo crudo y generalmente suelen ser no reactivos. Tienen una pobre afinidad hacia las moléculas de anilina (ECOPETROL, 2015). Se caracterizan porque contienen más del 50% de hidrocarburos saturados y dentro de este superior al 40% del tipo alcanos o parafínicos. Son de color claro y baja densidad con valores que oscilan entre 6,26 a 7,1 lb/gal, libres de contaminantes orgánicos. Se puede extraer muchos livianos como gasolinas y aceites lubricantes que es de donde se obtienen las mencionadas ceras parafínicas y vaselinas. En un crudo parafínico las parafinas conforman la fase sólida de la solución y lo que no precipita será el solvente (Ariza, 2008).

ANÁLISIS DE PREFECTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Proporciona mayor cantidad de nafta³ en comparación de los otros tipos de crudos, además se obtienen solventes de pintura, gasolinas, lubricantes, queroseno. Por destilación producen abundante parafina (Cortés, 2017, p.18).

Crudos 100% parafínicos son escasos en el mundo. Países como EEUU (Pensilvania) tienen gran parte de ese tipo de hidrocarburos. Los crudos parafínicos en Colombia tienen una alta presencia dentro de algunas cuencas sedimentarias, por ejemplo, el campo Orito, localizado en la Cuenca del Putumayo en el Sur de Colombia, con crudo de una gravedad promedio de 35° API. Por lo que en general un depósito parafínico lo constituye una mezcla de ceras parafínicas, asfáltenos de bajo peso molecular, resinas, aceite crudo, arena sedimentada y en ocasiones agua adicionada a los cristales de ceras, esto da como resultado que el material depositado sea de un color café o negro (Rodríguez, L., y Castaneda, M., 2001). Este trabajo de investigación hace principal énfasis en este tipo de crudos o componentes hidrocarburos

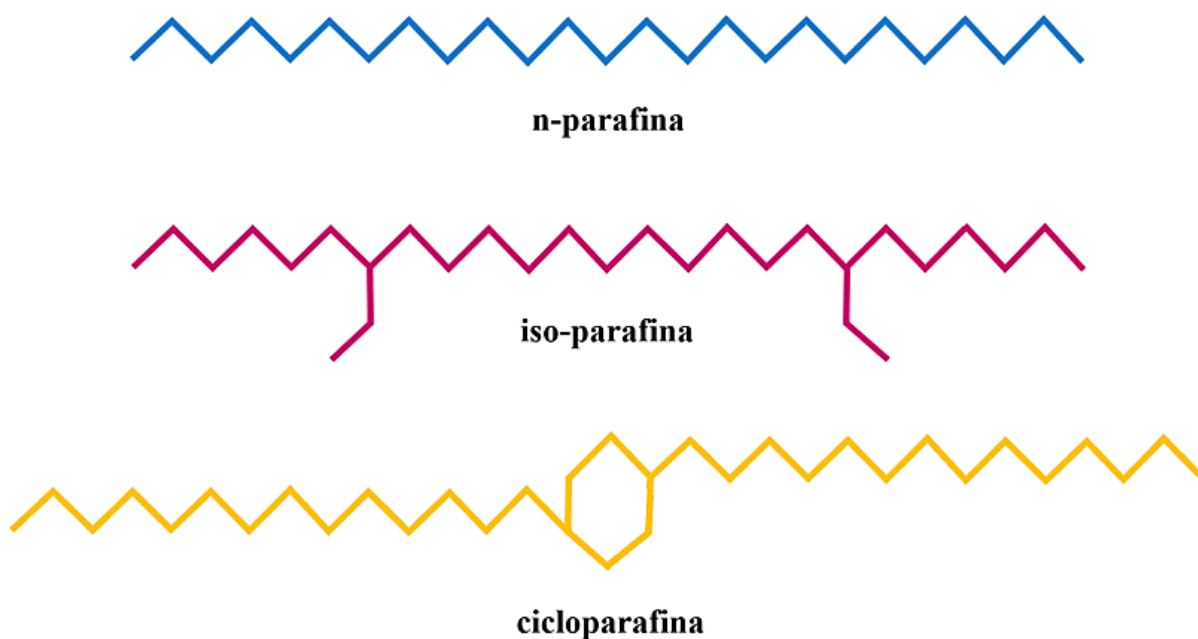
³ Se define como la fracción líquida más liviana del petróleo (Paris de Ferrer , 2009, p.30)

4. Generalidades y clasificación de las Parafinas

Las parafinas son mezclas complejas de compuestos químicos orgánicos que se encuentran en el petróleo y son más complejas de entender que los propios sólidos puros, debido a la forma en que logran alcanzar el estado sólido mediante la reducción de la temperatura. Las ceras parafínicas son una mezcla sólida y cristalina de hidrocarburos y se componen de un 40 a 90% en peso de parafinas normales. Así como se muestra en la Figura 1, están constituidas por parafina normal, isoparafinas, cicloparafinas y es posible que haya presencia de compuestos aromáticos. Es importante mencionar que el proceso de precipitación de parafinas puede suceder en el gas, condensados, crudos livianos, crudos intermedios y crudos pesados (Lara , 2018, p.30).

Figura 1.

Principales estructuras de las parafinas



Nota. Tomado de *Modelado de la precipitación y formación de parafinas en aceites pesados*(p.30), por L. B. Aura Ce, 2018.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

4.1 Parafinas macrocristalinas

Su estructura química está compuesta por cadenas principalmente lineales, denominadas parafinas normales, con ligeras proporciones de cadenas ramificadas (isoparafinas). Están constituidas por moléculas de 20-40 átomos de carbono. Su estructura cristalina es fácilmente apreciable por microscopía electrónica de barrido (SEM) debido al alineamiento más o menos paralelo de sus largas cadenas lineales y el porcentaje de parafinas normales varía del 90 al 60 %, según se va perdiendo el carácter macrocristalino. Son no adhesivas y tienen cristales grandes en aguja o en planos y grandes calores latentes de cristalización (Sánchez , 2003).

En general, aumentan la viscosidad del petróleo crudo y pueden ser más susceptibles a los cambios tixotrópicos en la reología del fluido de petróleo debido a la aglomeración de los cristales que contiene (hay depósitos). Estos cristales permanecen en solución debido a las fracciones ligeras de líquido almacenadas en su estructura (Patiño, 2015).

4.2 Parafinas microcristalinas

Las parafinas microcristalinas o también llamadas amorfas(cristales pequeños), tienen un alto contenido de isoparafinas y naftenos en el intervalo de $C_{30} - C_{60}$. Son compuestos de cadena lineal con ramificaciones a lo largo de la cadena principal, que en comparación con las parafinas macrocristalinas, los cristales son pequeños e irregulares de tal forma que no se aglomeran y no forman depósitos (Lara , 2018, p.31).

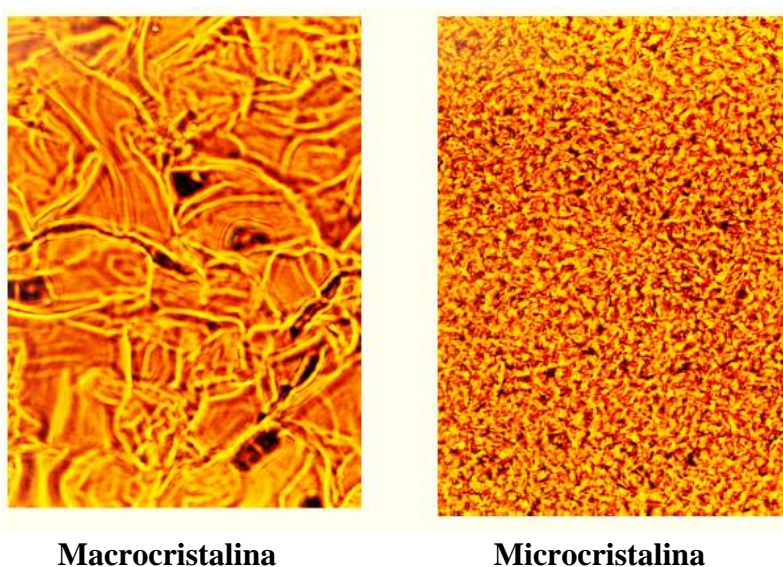
Los porcentajes de n-parafinas son inferiores al 30 %, correspondiendo el resto a isoparafinas y cicloparafinas o naftenoparafinas. Son adhesivas, flexibles y poseen mayores afinidades por el aceite que las parafinas macrocristalinas (Sánchez , 2003).

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Tanto las parafinas macrocristalinas como microcristalinas tienen otras propiedades en común teniendo en consideración todas las diferencias existentes en su caracterización química, estructura física, etc. Algunas de las propiedades en común son : inercia química, hidrofobicidad, entre otras (Sánchez , 2003, p.25). En la Figura 2 se puede observar la configuración de las redes cristalinas de los dos tipos de parafinas descritas anteriormente.

Figura 2.

Visualización de las redes macrocristalinas y microcristalinas de las parafinas



Nota. Tomado de *Purificación de parafinas de petróleo por hidrogenación catalítica* (p.26), por S. C. Jesús, 2003.

5. ¿Cómo ocurre el proceso de precipitación de las parafinas?

Sanjay et al. (1995) mencionan en su artículo “*Paraffin Problems in Crude Oil Production And Transportation: A Review*” la importancia de la historia termodinámica del yacimiento, ya que la temperatura del yacimiento supera la temperatura crítica de los livianos (metano, etano, CO₂, N₂, etc).

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Sin embargo, debido a la presión del yacimiento, estas últimas sustancias más ligeras permanecen en solución en estado supercrítico. Cuando se inicia el flujo en un pozo, se crea un diferencial de presión entre el yacimiento y la cabeza del pozo. En segundo lugar, se altera el equilibrio termodinámico y la caída de presión libera hay liberación de livianos, lo que reduce la solubilidad de la parafina.

La disminución simultánea de la temperatura del crudo (expansión adiabática) da inicio al fenómeno de formación de redes cristalinas o geles. Desde el punto de vista de la evolución del cristal en el comportamiento reológico, se puede considerar que la cristalización de parafinas en el crudo da como resultado flujo no newtoniano.

5.1 Precipitación y deposición de parafinas

Según Hammami et al. (2003), la formación de redes cristalinas en las parafinas se ve influenciada por dos procesos fundamentales: la precipitación y la deposición de parafinas. La precipitación se refiere a la formación de una fase sólida a partir de una fase líquida, mientras que la deposición implica la formación y crecimiento de una capa sólida sobre una superficie. La precipitación está determinada principalmente por variables termodinámicas como la composición, la presión y la temperatura, mientras que la deposición depende de la hidrodinámica del flujo, la transferencia de calor y masa, así como de las interacciones entre sólidos y la superficie sólida.

Se ha observado que la deposición de parafinas disminuye con el aumento de la fracción pesada y los asfaltenos ya que son depresores y modificadores de los cristales de parafina (Sanjay et al.,1995). En estado coloidal , los asfaltenos previenen la cristalización intensiva de parafinas de la solución de petróleo (crecimiento pobre del cristal y poca afinidad para adherirse unos a otros) con lo que disminuyen las características de deposición.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Los crudos con alto contenido de parafinas y alto contenido de asfaltenos generalmente no presentan problemas de deposición de parafinas (Lira et al.,1996 como se citó en Sanjay et al., 1995).

6. Punto de cristalización de las parafinas

En la industria del petróleo, también se conoce como la temperatura a la que aparecen las ceras en el crudo, o por sus siglas en inglés "WAT" (*Wax Appearance Temperature*), punto de turbidez o enturbiamiento. La determinación del punto de cristalización se expresa en °F y se realiza utilizando técnicas experimentales de laboratorio . Es importante distinguir entre el punto de cristalización termodinámico y el experimental.

El punto de cristalización termodinámico se define por la presión, temperatura y composición, y representa la temperatura máxima en la cual las fases sólida y líquida coexisten en equilibrio a una presión específica. Por otro lado, la temperatura de cristalización experimental es la temperatura máxima en la cual se detecta el primer cristal, y esto depende de la sensibilidad de la técnica utilizada. Factores como la composición, la historia térmica y el tiempo de medición pueden influir en la determinación de la temperatura de aparición de ceras (Hammami et al.,2003).

6.1 Consideraciones del punto de cristalización (PC)

Si este es medido a condiciones de tanque, es decir, a 14.7 psia y 60 °F, determinado en un crudo sin gas en solución (crudo muerto) se conoce como punto de nube. A condiciones de presión y temperatura de yacimiento, es decir , un crudo con composición inicial , con su gas en solución , se le denominaría punto de cristalización (Leontaritis y John D. Leontaritis , 2003).

En su trabajo Doctoral , Vasquez (2014) señala que los cambios de presión y temperatura durante la producción del crudo tienen un impacto en su composición. Estos cambios deben ser

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

considerados al estudiar las características del crudo, ya sea de manera teórica o en el laboratorio, con el fin de hacer estimaciones sobre su comportamiento en condiciones reales.

Así mismo sugiere que para mejorar la precisión de estas estimaciones, se han hecho investigaciones que utilizan muestras (en fondo de pozo) de crudo con gas asociado, conocido como crudo vivo, las cuales son sometidas a la presión y temperatura presentes en el yacimiento. Esto permite obtener resultados más representativos que aquellos obtenidos con crudo muerto (sin gas asociado) y en condiciones estáticas (Stock Tank Oil o STO). Aunque esto puede ser costoso, es importante para obtener resultados más precisos.

6.2 Mecanismos del proceso de cristalización

6.2.1 Nucleación

La nucleación se refiere al proceso en el que se forma la partícula más pequeña. Hay dos tipos de nucleación: primaria y secundaria. La nucleación primaria ocurre cuando no hay cristales presentes en la solución, lo que significa que se produce la cristalización por primera vez. Puede ser homogénea o heterogénea. En la nucleación homogénea, las partículas se forman dentro de la solución, sin entrar en contacto con ninguna otra superficie. En cambio, en la nucleación heterogénea, las partículas se forman sobre una superficie sólida (Vasquez, 2014).

Por otro lado, la nucleación secundaria ocurre cuando ya existen cristales o alguna otra superficie sólida en el sistema donde puede ocurrir la deposición. La nucleación primaria requiere una concentración suficientemente alta de una solución supersaturada, mientras que la nucleación secundaria ocurre a concentraciones relativamente bajas (Vasquez, 2014).

6.2.2 Crecimiento cristalino

El crecimiento de cristales implica la adición de material (deposición) sobre la superficie de cristales preexistentes. Este proceso ocurre mediante la difusión molecular de los componentes

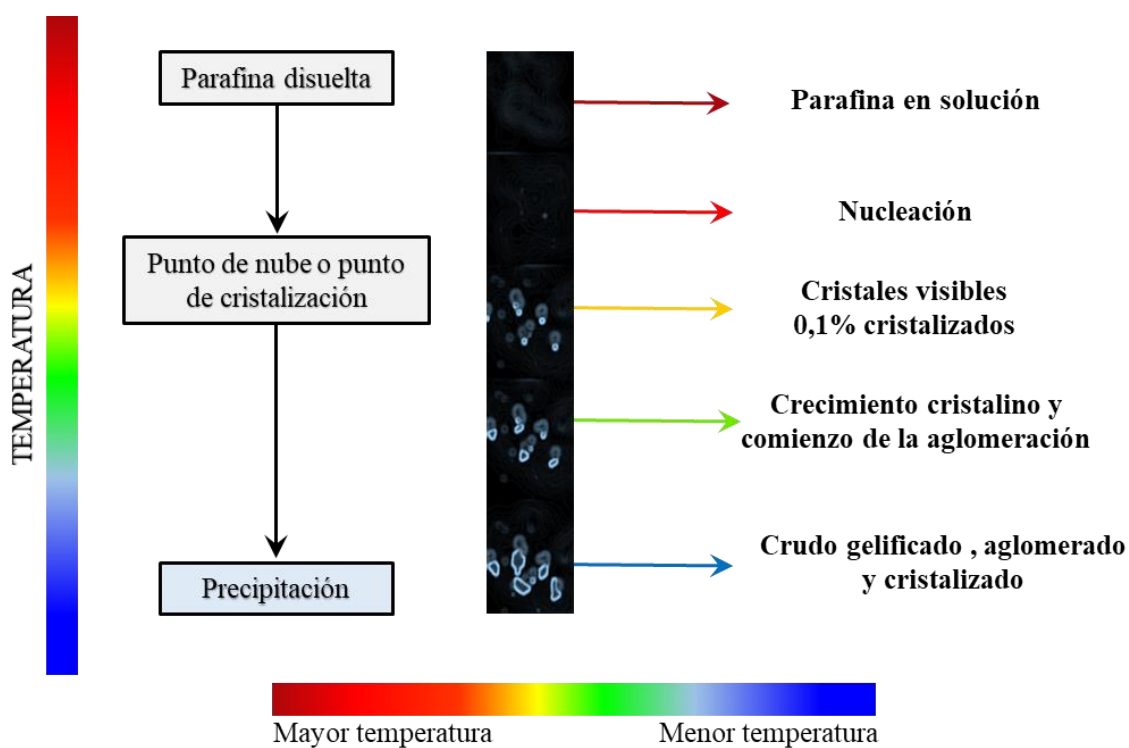
ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

parafínicos aún en solución hacia la interfase con el núcleo. En ese punto, las parafinas se incorporan gradualmente para formar una estructura cristalina en forma de red (Vasquez, 2014).

En la Figura 3 se muestra gráficamente la formación de cristales que dependen en gran medida del descenso de temperatura que afecta al crudo o producto petrolífero.

Figura 3.

Pasos para la formación de ceras parafínicas



Nota. Modificado de *modelado de la precipitación y formación de parafinas en aceites pesados*(p.35), por L. B. Aura Ce, 2018

7. Temperatura de Disolución de Ceras (WDT)

Así como existe una temperatura a la cual aparece el primer cristal de cera, dentro de una fase líquida, también existe una temperatura a la cual, al ir calentando el sistema, inicialmente en fase sólida, el último cristal presente en la solución desaparecerá. Dicha temperatura es conocida como punto de disolución de parafinas o WDT (Wax Dissolution Temperature). La WDT es generalmente mayor que WAT (Vasquez, 2014).

8. Prueba para el diagnóstico de precipitación de parafinas

En su trabajo de maestría , Ariza (2008) describe que en relación con campos recién descubiertos una parte de la etapa inicial de producción es precisamente determinar las posibilidades de daño por problemas ocasionados por la precipitación de parafinas. Cabe resaltar que los problemas de precipitación de parafinas pueden ocurrir en: el yacimiento , cara del pozo, en las facilidades de producción y en el transporte de crudo por oleoductos.

Además, sugiere tomar una muestra representativa de fondo para determinar la envoltura de precipitación de parafinas y asfaltenos, realizar un análisis PVT⁴ y determinar algunas propiedades que permitan detectar o descartar problemas de precipitación. Estas propiedades incluyen la gravedad API, el análisis SARA⁵, el punto de nube o cristalización, el punto de fusión⁶, la prueba de solubilidad⁷ a la temperatura más baja del campo, pruebas de viscosidad y la

⁴ Este análisis se requiere para conocer el comportamiento del fluido dentro del yacimiento (cada vez que disminuyen los niveles de presión a temperatura constante del yacimiento) y desde éste hasta separador. La prueba de liberación diferencial es una prueba crítica para la precipitación de parafinas, porque en cada etapa se libera el gas y queda menor cantidad en solución (Ariza , 2011).

⁵ Es útil para conocer qué fracciones podrían precipitar como sólidos orgánicos dentro del yacimiento o en el proceso de producción de fondo a superficie (Ariza , 2011).

⁶ Una vez la parafina precipitada puede no remediarse el daño (Ariza , 2011).

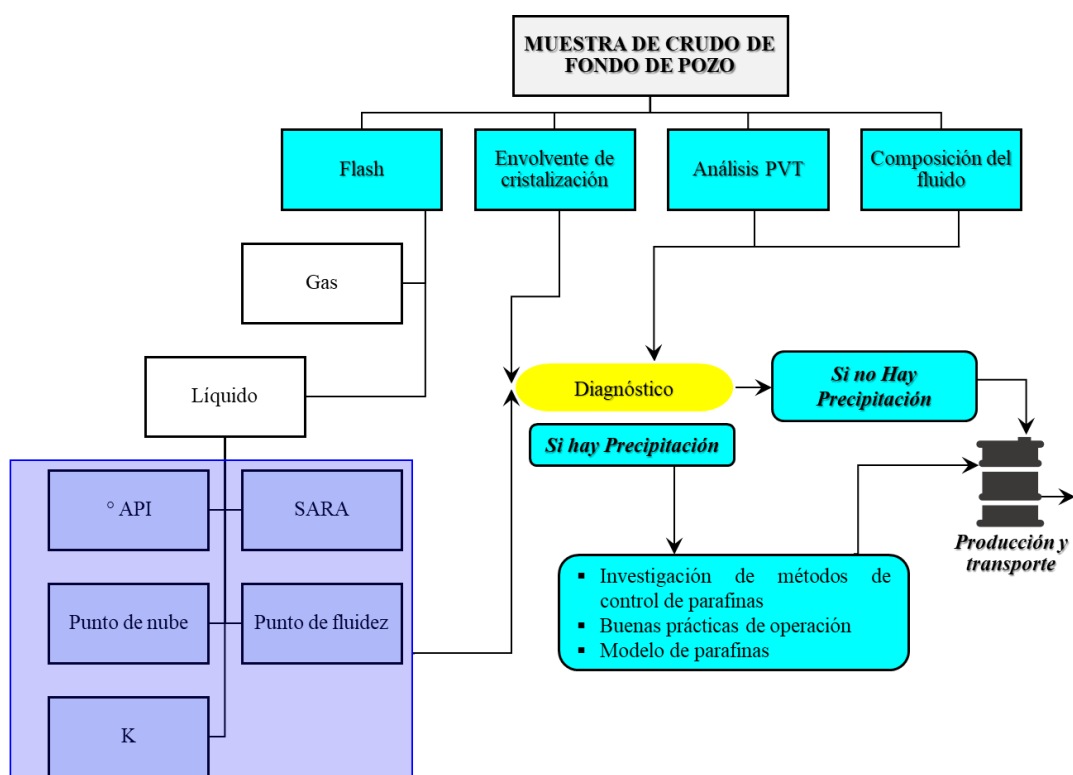
⁷ La solubilidad de las parafinas en un crudo vivo es diferente que para un crudo muerto (Vasquez,2014)

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

composición del crudo⁸ (C30+) o producto petrolífero. Con base en los resultados de estas pruebas, se interpreta los datos de yacimiento y producción para tomar medidas preventivas y evitar problemas costosos de remediación. La Figura 4 muestra una representación gráfica de la dinámica operacional de la prueba de diagnóstico en el caso de un crudo vivo.

Figura 4.

Diagnóstico de precipitación de parafinas en crudo vivo



Nota. Modificado de “De la caracterización de crudos qué es clave para diagnosticar la precipitación de parafinas (p.4)”, por A. L. Emiliano, 2011

⁸ Se obtiene mediante cromatografía. El resultado refleja la fracción de hidrocarburos livianos, intermedios y pesados lo que permite una mejor caracterización a partir de C30+ (Ariza, 2011).

9. Mecanismos de Deposición de las Parafinas

Bordalo & Oliveira (2007) en su artículo “*Experimental Study of Oil/Water Flow With Paraffin Precipitation in Subsea Pipelines*” presentado ante la SPE⁹ y basado en algunos autores promotores en el estudio de los diferentes mecanismos de deposición de parafinas, presenta algunos de los más importantes : por efecto de gravedad , dispersión por cizallamiento, difusión browniana y difusión molecular, siendo los tres últimos los responsables principales del transporte lateral de las partículas sólidas hacia las paredes.

Un ejemplo de esto es cuando las tuberías de producción se convierten en puntos críticos donde pueden comenzar a formarse y acumularse parafinas. Esto ocurre debido a las pérdidas de calor y presión, así como a la diferencia entre la temperatura de cristalización y la temperatura del yacimiento, siendo la temperatura de cristalización menor (Ariza, 2008).

9.1 Por efectos de la gravedad

Este mecanismo suele ser descartado, porque su detección requiere, entre otras cosas, que el fluido permanezca en reposo, que el diámetro de la tubería no sea muy grande y que las partículas en suspensión sean lo suficientemente grandes suficiente para sufrir el efecto de la gravedad, teniendo en cuenta que exista una diferencia significativa de densidad entre la parafina y el fluido(crudo) en el que se sumergen las partículas (Bordalo & Oliveira ,2007).

9.2 Difusión molecular

Este mecanismo ocurre cuando la temperatura del fluido(crudo) desciende por debajo del punto de cristalización y además alcanza la temperatura de equilibrio entre la fase sólida y líquida, donde las parafinas se desestabilizan y comienzan a precipitarse en la cara de la formación o en la

⁹ Society of Petroleum Engineers

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

tubería de producción por causa de una transferencia de calor (Patiño, 2015, p.41). Además la difusión molecular es el mecanismo que tiene la mayor contribución en la formación del depósito pared.

Dependiendo de la temperatura en la interfase, las parafinas disueltas pueden precipitar en la interfase o pueden difundir y precipitar en el interior del depósito. Este proceso se conoce como envejecimiento del depósito y se caracteriza por un aumento de la fracción másica de parafina sólida en el depósito en el transcurso del tiempo, ver Figura 6. La ley de difusión de Fick puede modelar el flujo de masa hacia la pared (Ichard & Raviculé, 2014). Finalmente, hoy en día se podría sostener la hipótesis según investigaciones que la difusión molecular es el mecanismo de deposición de contribución mayor (Ichard & Raviculé, como se citó en Singh et al., 2000).

9.3 Dispersión por cizallamiento o por corte

Se presenta cuando la temperatura del crudo es inferior al punto de cristalización y las grandes concentraciones de partículas producen múltiples colisiones entre sí, originando un transporte lateral neto hacia las paredes del sistema y por consiguiente una dispersión de las partículas. Este mecanismo de depositación también se emplea para estimar la acumulación total y envejecimiento de la cera parafínica, al igual que en la remoción de depósitos de parafina por un incremento de la tasa (Patiño, 2015, p.42).

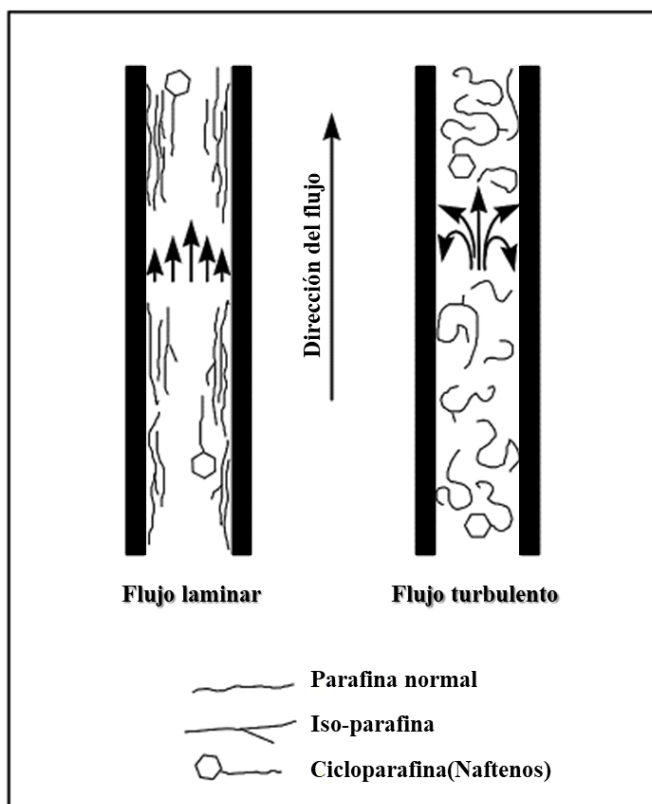
Los regímenes de flujo (ver Figura 5) tanto laminar y turbulento tienen gran impacto en el proceso de formación de cristales. En el flujo laminar, la viscosidad produce un perfil de velocidad que puede favorecer dicho proceso (unión y alineación de parafinas). Por otro lado, en ambientes de alto corte como lo es el flujo turbulento se reducen las posibilidades del inicio de formación de los primeros cristales o nucleación (Bordalo & Oliveira, 2007).

9.4 Difusión Browniana

El mecanismo Browniano implica la presencia de regiones calientes donde las colisiones ocurren con mayor frecuencia debido a una agitación térmica intensa lo que provoca que las partículas se dispersen hacia las regiones frías. Asimismo se da la formación de un gradiente de poblaciones de partículas y un movimiento neto hacia las paredes donde ocurre aglomeración y formación de cristales (Ichard & Raviculé, 2014). Ver la Figura 7.

Figura 5.

Regímenes de flujo en pozos de producción y sus efectos en la deposición de parafinas

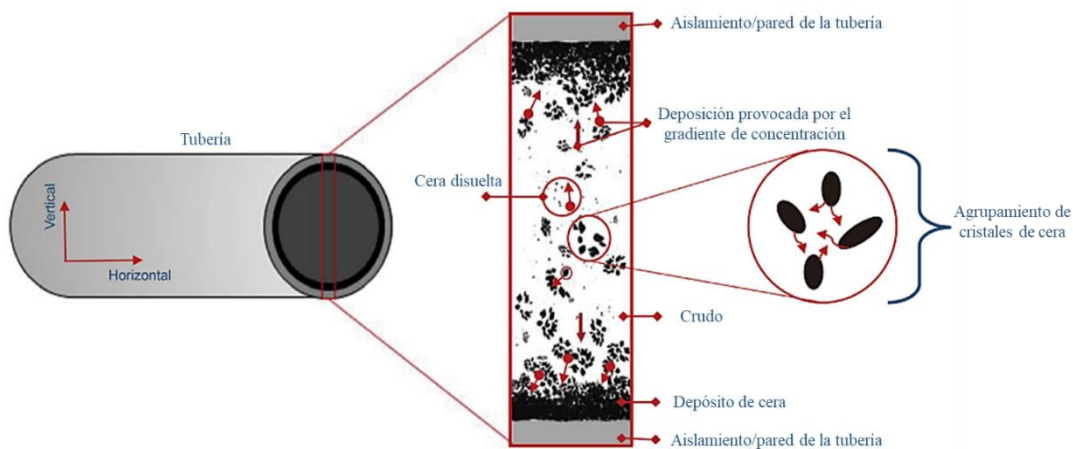


Nota. Tomado de *Paraffin Deposition From Crude Oils: Comparison of Laboratory Results to Field Data* / SPE 54021-PA , (p.17), por A. Hammami & M.A. Raines, 1999

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Figura 6.

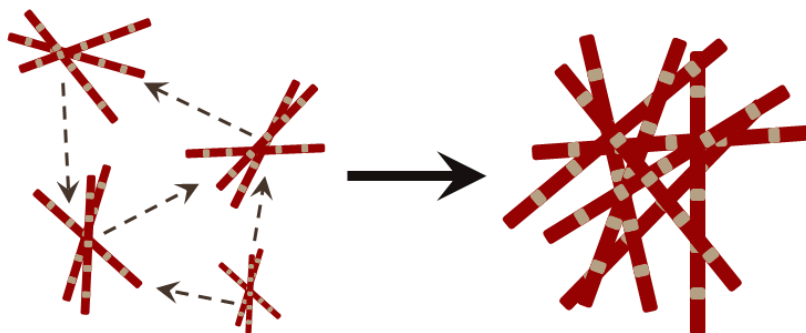
Teoría de difusión molecular de las parafinas para su deposición



Nota. Tomado de “*Crude oil wax: A review on formation, experimentation, prediction, and remediation techniques* (p.3)”, por Kiyangi et al., 2022

Figura 7.

Teoría de deposición de parafinas por movimiento Browniano



Nota. Modificado de “*Determinación del umbral de cristalización de las parafinas en el crudo del campo colorado /Tesis de maestría*, (p.28)”, por A. L. Emiliano, 2008

10. Factores Que Controlan la Precipitación de Parafinas

La precipitación de parafinas está influenciada por diversos factores. Los más significativos, respaldados por la literatura , se mencionan a continuación. Cabe aclarar que el factor con mayor influencia en la precipitación de parafinas es la temperatura dado que el fluido es afectado por los gradientes geotérmicos provocando así la disminución de la solubilidad de las parafinas en el crudo.

10.1 La temperatura

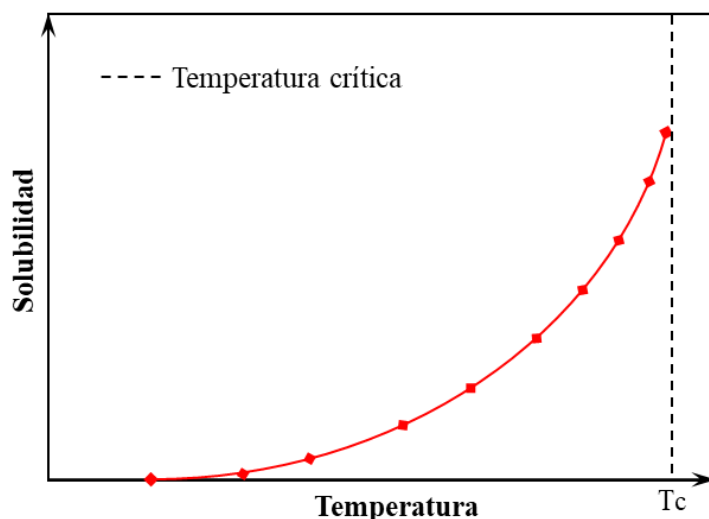
Es la principal condición necesaria para que cualquier molécula de parafina precipite del petróleo crudo debido a su relación directa con la solubilidad, es decir, a medida que aumenta la temperatura de la solución , aumenta la solubilidad de la parafina. Esta a su vez nunca se deposita hasta que la temperatura del sistema de producción cae por debajo de la temperatura del punto de cristalización. (Uche et al., 2020)

En consecuencia, Ariza(2011) en su trabajo destaca que la obstrucción o daño causado por la precipitación de parafina dentro y fuera del yacimiento puede ser difícil de remediar incluso cuando se restablece la temperatura local.

La Figura 8 muestra la curva de solubilidad de un crudo convencional donde se presenta la existencia de una temperatura crítica que es donde se da la aparición de la parafina en forma sólida en el crudo (WAT). Para que ocurra la deposición, es necesario que la temperatura en algún punto del flujo esté por debajo de la temperatura WAT y que la temperatura de la pared de la tubería esté por debajo de la temperatura del seno del flujo (Ichard & Raviculé, 2014).

Figura 8.

Curva de solubilidad de parafinas en un crudo convencional



Nota. Modificado de *Técnicas de fluidodinámica computacional aplicadas al estudio de la deposición de parafinas en tuberías*, (p.3), por I. Mathieu & R. Marcela, 2014

10.2 Proporcionalidad relativa de disolventes y solutos

Cuando la concentración de soluto (parafina) en la solución se incrementa, el punto de cristalización aumenta. La presencia de gas actúa como un solvente y en el crudo disminuye el punto de cristalización o de nube, debido a que las burbujas de gas distribuidas en el crudo tienen una energía de presión adicional que ayuda al flujo (Amaya, 2014, p.30).

10.3 Peso molecular de la solución

Cuando el peso molecular aparente de la solución disminuye la temperatura del punto de cristalización disminuye, lo cual retarda la precipitación de las parafinas, así la presencia de gas actúa como solvente y disminuye la temperatura de cristalización.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

En procesos de producción donde se presenta una rápida liberación de las fracciones livianas del fluido se genera un incremento en la temperatura del punto nube y se presenta de manera más pronta el proceso de precipitación (Patiño,2015, p.34).

10.4 Presión

La solubilidad de la parafina disminuye con el incremento de la presión en la solución parafina/crudo muerto debido a que se tiene una mayor fuerza intermolecular entre las moléculas similares que entre moléculas no similares causando un incremento en el punto de cristalización.

En el caso de un crudo vivo, a medida que aumenta la presión, el valor de la WAT disminuye debido a la disolución del gas en el líquido. Este proceso continúa hasta que se alcanza el punto de burbuja y todo el gas se ha disuelto en la solución. A partir del punto de burbuja, no se añade más disolvente a la fase líquida y el comportamiento se invierte. A medida que aumenta la presión, la WAT aumenta debido a un efecto termodinámico simple tal y como se observa en la Figura 9: un incremento en la presión siempre favorece a la fase más densa, en este caso, la fase sólida, es decir, las parafinas (Vasquez , 2014).

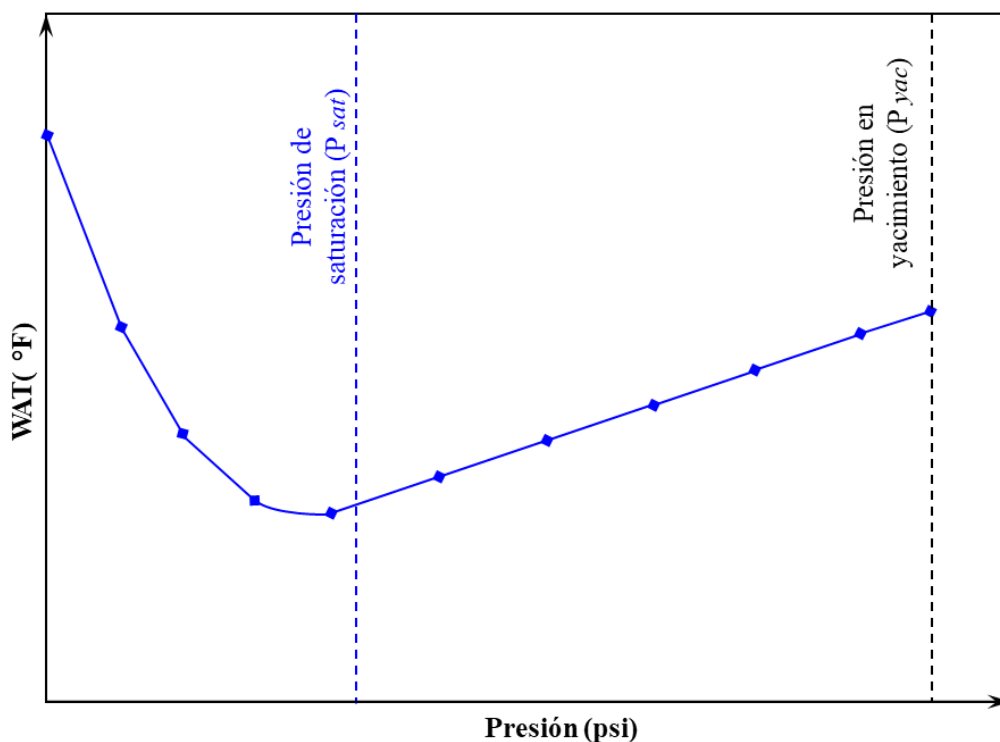
La consideración de la WAT en condiciones estáticas (STO) y crudos sin gas en solución para proyectos de producción involucra en su mayoría no considerar las condiciones, propiedades físicas y químicas originales del fluido , que conllevaría al uso de infraestructuras sobredimensionadas con altos costos operacionales asociados. Por esta razón un autor como Vasquez (2014) menciona trabajos experimentales realizados con sistemas a alta presión, que funcionan muy bien para intentar simular el comportamiento del fluido con al menos dos condiciones existentes en las condiciones originales del fluido : presión en yacimiento y temperatura en yacimiento.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Un caso particular son los crudos con un bajo contenido de gas en solución menor al 50% en mol y sometidos a bajas presiones donde se genera una disminución del punto de cristalización pero al aumentar la presión por encima del punto de burbuja este se incrementa. Sin embargo el comportamiento del punto de cristalización con la presión depende de cada fluido por lo cual se debe hacer una evaluación individual (Patiño, 2015, p.35).

Figura 9.

Efecto de la presión y el gas en solución en el comportamiento de la WAT para un crudo vivo



Nota. Modificado de diseño de un sistema para la determinación del cambio de fase de parafinas en crudo a alta presión ,(p.44), por V.B. Edgardo Rafael, 2014

10.5 Efecto del Agua

El agua se considera más como un elemento preventivo para la deposición, en lugar de ser un factor determinante de la solubilidad de las parafinas. La parafina es prácticamente insoluble en el agua y en el aire. En algunos yacimientos, el corte de agua es bastante alto, por lo que juega un papel importante en la eliminación de las ceras durante la producción de los fluidos presentes. Dependiendo del flujo, esta presencia de agua evita que la parafina se adhiera a las paredes del pozo o al yacimiento mismo (Pérez/*analista Sénior en Cayros Group*, 2019).

11. Envoltente de Cristalización de Parafinas (EDP)

Denominada envoltente de cristalización o también umbral de cristalización, y es el resultado de la unión de todos los puntos termodinámicos en un diagrama P-T-x en el cual la cristalización de parafinas inicia (Kosta Leontaritis & John Leontaritis, 2003). En su tesis de maestría titulada “*Determinación del umbral de cristalización de las parafinas en el crudo del campo colorado*”, Ariza León (2008) explica que para determinar y construir el umbral de cristalización que represente el comportamiento real del fluido en yacimiento, se deben tomar muestras de crudo vivo en el fondo del pozo, siguiendo las pautas establecidas por la norma API RP 44. Además, se debe caracterizar los fluidos mediante la toma de muestras de crudos y gas del separador.

Una forma de construir dicha envoltente se muestra en la Figura 10, donde se registra una serie de puntos de cristalización a diferentes presiones, que varían desde las presiones de yacimiento hasta las ambientales. El gráfico está trazado en el umbral de cristalización, que define las condiciones termodinámicas para la precipitación, es decir, la región a la izquierda del manto donde ocurre este proceso; por encima de la línea de saturación encontrada, la pendiente será negativa siempre que estén presentes hidrocarburos livianos que al ser empujados al aceite bajan

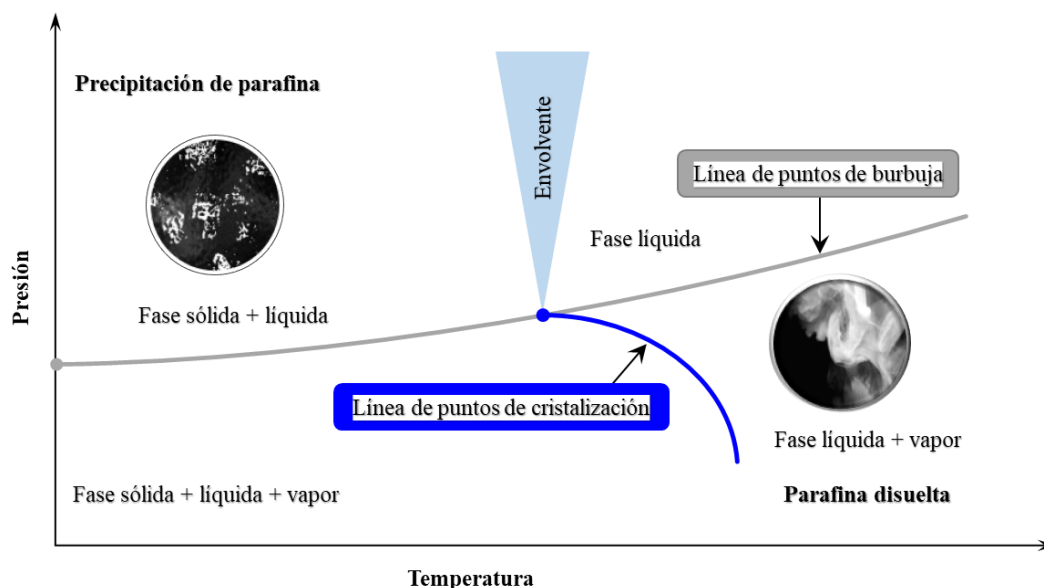
ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

la temperatura de cristalización, mientras que si los hidrocarburos están a media presión, la temperatura aumentará; la forma de la parte inferior del manto es función de los hidrocarburos livianos e intermedios que componen el fluido del yacimiento (Lara Bravo, 2018).

La forma que presenta la envolvente de parafinas depende del fluido de yacimiento o mezcla multicomponente que se analice, así para fluidos de condensados la envolvente de precipitación a altas presiones disminuye, mientras que para crudos puede incrementar un poco, o puede variar en su forma debido a efectos retrógrados donde un aumento de temperatura puede formar más parafina (Patiño, 2015)

Figura 10.

Diagrama envolvente de precipitación de parafinas(EDP)



Nota. Modificado de *modelado de la precipitación y formación de parafinas en aceites pesados*, (p.38), por L. B. Aura Ce, 2018

12. Normas Estandarizadas Para la Determinación del Punto de Nube

En esta sección se proporcionará una descripción de algunas normas ASTM, centrándose en aspectos fundamentales como sus limitaciones o alcance, descripción de la prueba y desventajas relevantes. Estos parámetros son cruciales y se toman en consideración para evaluar al final del estudio si la selección de alguna de las normas es apropiada para determinar el punto de nube y de cristalización tanto en petróleo crudo como en sus productos.

12.1 Método de prueba estándar del punto de nube de los productos petrolíferos y los combustibles líquidos, ASTM D2500-17^a

12.1.1 Descripción del método

Este método de prueba estándar es utilizado para determinar el punto de nube de los productos petrolíferos y los combustibles líquidos. En términos generales la muestra se enfría a una velocidad determinada y se examina periódicamente. La temperatura a la que se observa por primera vez una nube en el fondo del frasco de ensayo se registra como punto de nube.

12.1.2 Resumen y alcance

Este método de ensayo sólo cubre los productos petrolíferos y los combustibles biodiésel que son transparentes en capas de 40 mm de espesor, y con un punto de nube inferior a 49°C. El programa interlaboratorio consistió en productos petrolíferos de color del método de prueba D1500 inferior a 3.5. Las precisiones indicadas en este método de ensayo pueden no aplicarse a las muestras con color ASTM superior a 3.5.

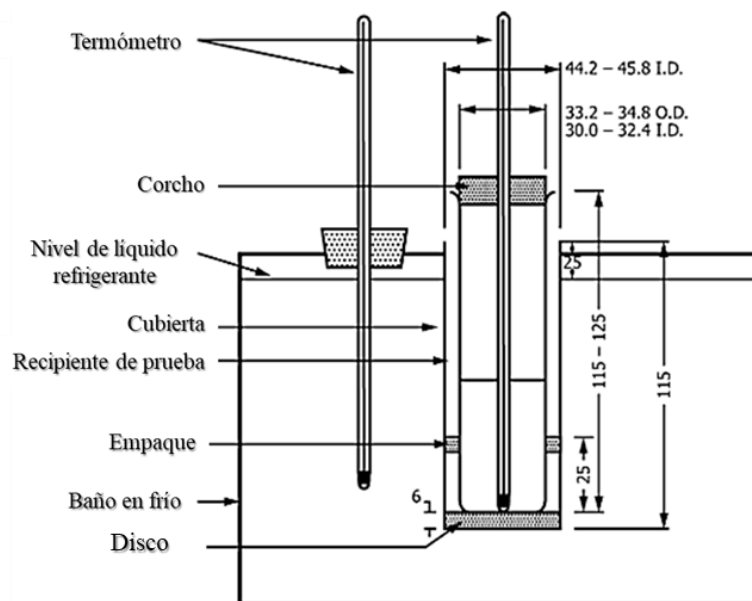
ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

12.1.3 Desventajas

No es aplicable en otros fluidos como: petróleo crudo, gases y condensados que sobrepasen las especificaciones del alcance de la prueba. Dentro de los reactivos y materiales está la acetona, nafta, etanol y metanol, donde su manipulación requiere de prácticas adecuadas de seguridad asociadas a su uso. El aparato usado es un tarro de ensayo donde se observa visualmente una nube en la muestra, lo cual hace que exista un margen de error considerable en la determinación del punto de nube. En la Figura 11 se puede observar el equipo de prueba descrito por la norma.

Figura 11.

Aparato de prueba para determinar el punto de nube



Nota. Las dimensiones mostradas en la imagen están dadas en milímetros. Tomado de *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels* (p.2), por ASTM D2500-17^a, 2018.

12.2 Método de ensayo estándar del punto de nube de los productos petrolíferos y combustibles líquidos (método de la velocidad de enfriamiento constante), ASTM D5773-21

12.2.1 Descripción del método

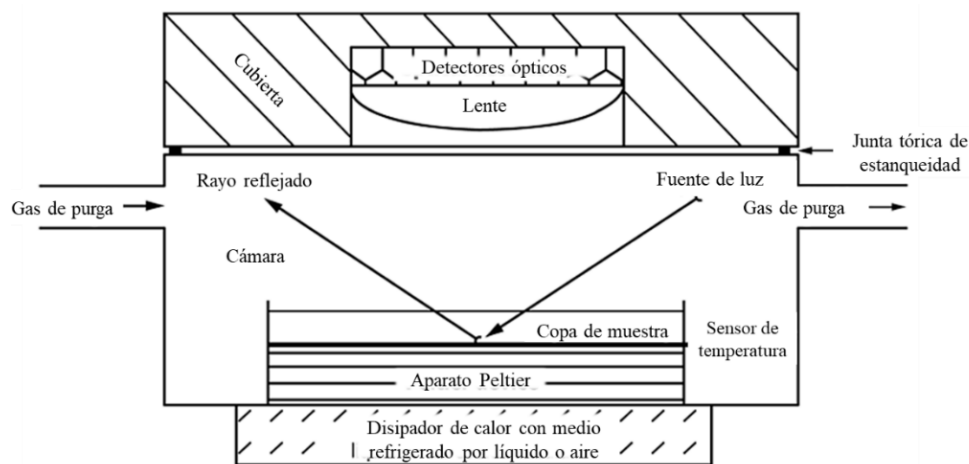
La muestra prescrita es enfriada por un dispositivo Peltier a una velocidad constante de 1,5 °C/min \pm 0,1 °C/min mientras es iluminada continuamente por una fuente de luz . Continuamente se monitorea por un conjunto de detectores ópticos para la primera aparición de una nube de cristales de cera. El número de detectores es suficiente para garantizar la detección de cualquier cristal de parafina en fase sólida que pueda formarse.

La temperatura a la que se detecta por primera vez la aparición de una nube de cristales de cera en la muestra se registra con una resolución de 0,1 °C. Cuando la temperatura registrada se redondea a la siguiente temperatura entera inferior, se designa como el punto de nube equivalente D2500/IP 219 según el método de ensayo D5773. Todos los componentes del equipo se muestran gráficamente en la Figura 12 y Figura 13 con las especificaciones mostradas en la norma correspondiente.

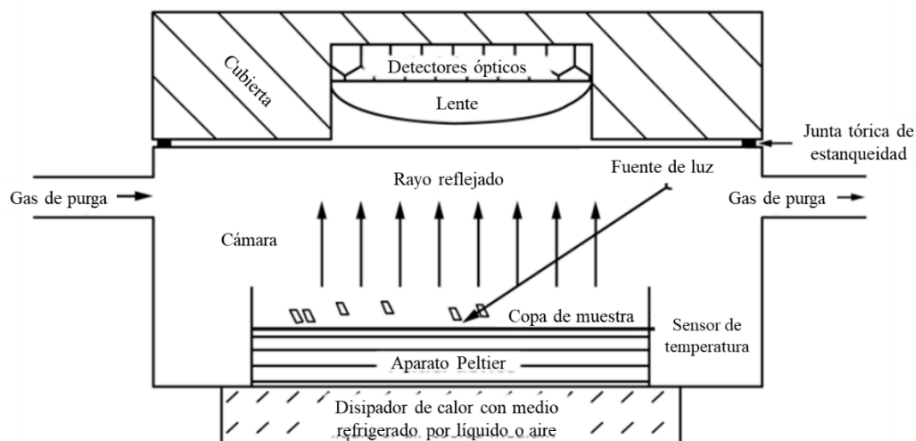
12.2.2 Resumen y alcance

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de nube de productos petrolíferos y combustibles biodiésel transparentes en capas de 40 mm de espesor mediante un instrumento automático que utiliza una velocidad de enfriamiento constante. Este método de ensayo cubre la gama de temperaturas de -60 °C a +49 °C con una resolución de temperatura de 0,1 °C, sin embargo, el rango de temperaturas incluido en el programa de ensayo cooperativo interlaboratorio de 1997 sólo cubría el rango de temperaturas de -56 °C a +34 °C.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Figura 12.*Esquema de la cámara de ensayo*

Nota. Tomado de *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels (Constant Cooling Rate Method)*, (p.6), por ASTM D5773-21, 2021

Figura 13.*Detección de la formación del cristal*

Nota. Tomado de *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels (Constant Cooling Rate Method)*, (p.6), por ASTM D5773-21, 2021

12.3 Método de ensayo estándar del punto de nube de los productos petrolíferos y los combustibles líquidos (método del tarro de ensayo pequeño), ASTM D7683-21

12.3.1 Descripción del método

El punto de nube de los productos petrolíferos y los combustibles biodiésel es un índice de la temperatura más baja de su utilidad para determinadas aplicaciones. Los cristales de cera en cantidad suficiente pueden obstruir los filtros utilizados en algunos sistemas de combustible. Las operaciones de mezcla de petróleo requieren una medición precisa del punto de nube.

Este método de prueba puede determinar la temperatura de la muestra de ensayo a la que los cristales de cera se han formado lo suficiente como para ser observados como una nube con una resolución determinada. Proporciona resultados que, una vez corregidos en función del factor de error y redondeados al número entero inmediatamente inferior, se han considerado equivalentes al método de prueba D2500. Finalmente determina el punto de nube en un período de tiempo más corto que el requerido por el método de prueba D2500.

12.3.2 Resumen y alcance del método

Después de introducir el frasco de vidrio que contiene la muestra en el aparato automático e iniciar el programa de ensayo, la muestra se calienta, si es necesario, hasta la temperatura designada y luego se enfría a las velocidades prescritas. La muestra de ensayo se controla continuamente para detectar la aparición de cristales con un emisor de luz y un receptor de luz a través de fibras ópticas de tipo coaxial. Cuando el sistema óptico detecta la cristalización en la probeta, se registra la temperatura con una resolución de 0,1°C. Como último paso, la muestra se calienta para facilitar el inicio del siguiente ensayo.

ANÁLISIS DE PREFECTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de nube de los productos petrolíferos, el biodiésel y las mezclas de biodiésel transparentes en capas de 40 mm de espesor, utilizando un instrumento automático. El campo de medida del aparato va de $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+51\text{ }^{\circ}\text{C}$, sin embargo, las indicaciones de precisión se obtuvieron únicamente de muestras con temperaturas del punto de nube de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los valores indicados en unidades SI deben considerarse estándar. En esta norma no se incluyen otras unidades de medida.

12.3.3 Calibración y normalización

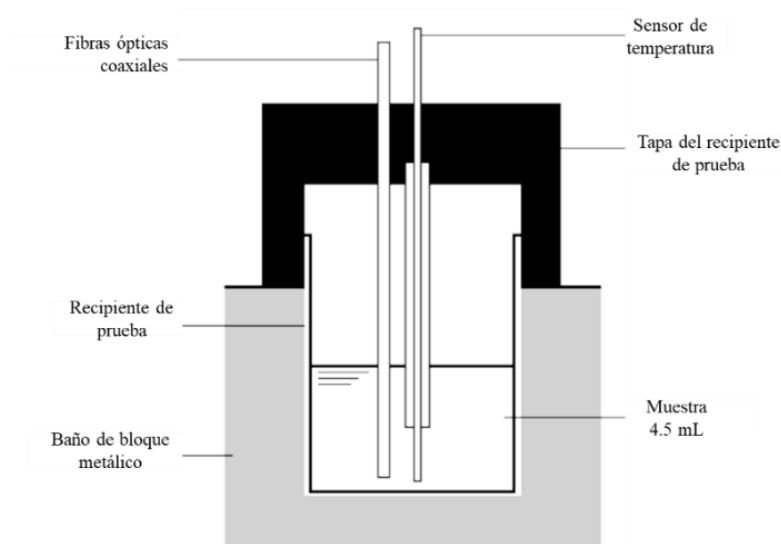
Es importante de alguna forma asegurar que se sigan todas las instrucciones del fabricante para calibrar, comprobar y utilizar el aparato. Una muestra con un punto de nube bien documentado puede utilizarse para verificar el funcionamiento del aparato automático. Como alternativa, puede utilizarse una muestra que haya sido ampliamente probada en un programa de verificación cruzada del punto de nube. Tales materiales de verificación también pueden prepararse a partir de controles internos. Las muestras muy viscosas podrán calentarse hasta que sean razonablemente fluidas antes de someterlas a ensayo. Sin embargo, ninguna muestra debe calentarse más de lo absolutamente necesario para facilitar el vertido de la muestra en el frasco de prueba del instrumento.

El aparato de prueba controlado por microprocesador descrito en la Figura 14 cuenta con un principio de funcionamiento mostrado en la misma, como también se presenta algunas especificaciones técnicas de los principales componentes del equipo detallados en la Tabla 1. Por otro lado, en la Figura 14 se presenta el equipo automático en una de las versiones ofrecidas en el mercado y adaptado por la American Society for Testing and Materials.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Figura 14.

Principio de funcionamiento del aparato



Nota. Tomado de *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels* (Small Test Jar Method) ,(p.5), por ASTM D7683 – 21

Figura 15.

Aparato automático de punto de nube por el método del recipiente de prueba pequeño



Nota. Tomado de *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels* (Small Test Jar Method) ,(p.5), por ASTM D7683 – 21

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Tabla 1.*Especificaciones técnicas del aparato automático de punto de nube*

Implemento	Especificaciones
Recipiente de ensayo	Claro, cilíndrico de vidrio de borosilicato con un fondo plano, 21 mm \pm 0,2 mm de diámetro exterior, 45 mm \pm 0,5 mm de altura y 1 mm \pm 0,2 mm de espesor de pared. Se marca permanentemente una línea a 16 mm \pm 0,3 mm del fondo exterior del tarro. Se fija un disco redondo de papel de aluminio a la superficie inferior exterior para la detección óptica del punto de la nube.
Ensamblaje de la tapa del recipiente de prueba	
Tapa de plástico del frasco de prueba	Con una disposición para que el recipiente de prueba sea hermético.
Sensor de temperatura	Como una sonda de resistencia de platino en una envoltura de acero inoxidable de pequeño diámetro, normalmente de 2 mm de diámetro exterior, para leer la temperatura de la muestra con una precisión de 0,1 °C. Debe colocarse en el centro del recipiente de prueba, y su extremo inferior debe situarse 1 mm por encima del mismo.
Fibras ópticas de tipo coaxial	Se colocan a 8 mm del centro de la probeta, con los extremos inferiores situados aproximadamente a 2 mm por encima de la probeta. Los extremos superiores de las fibras ópticas coaxiales se conectan a un emisor de luz y a un receptor de luz
Baño de bloque metálico	
Con un orificio cilíndrico, de 21,4 mm a 21,5 mm de diámetro y 35 mm \pm 0,2 mm de profundidad, para encajar en el recipiente de prueba. El bloque metálico está equipado con una disposición para enfriar/calentar la muestra en el recipiente de prueba. El sistema de refrigeración deberá ser capaz de mantener la refrigeración a una velocidad controlada.	

Nota. Adaptada de *ASTM D7683 – 21*

12.4 Método de prueba estándar del punto de nube de productos petrolíferos y los combustibles líquidos (método Mini), ASTM D7689- 21

12.4.1 Descripción del método

Este método de ensayo puede determinar la temperatura de la muestra de ensayo a la que se han formado cristales de cera en cantidad suficiente para ser observados como una nube con una resolución de 0,1 °C. Es un método de prueba del punto de nube, con procedimiento de ensayo automático que utiliza un tamaño de muestra pequeño (1 mL para cada prueba), una velocidad de enfriamiento prescrita, un recipiente para la muestra y un sistema óptico para la detección de la formación de cristales.

12.4.2 Resumen y alcance

Una vez introducida la probeta en el equipo automático e iniciado el programa, la probeta se calienta, si es necesario, hasta alcanzar una temperatura inicial y, a continuación, se enfría a los ritmos prescrito. La muestra de ensayo se supervisa continuamente para detectar la aparición de cristales de hidrocarburo con un emisor de luz y un receptor óptico opuestos . Cuando el sistema óptico detecta la cristalización en la probeta, se registra la temperatura con una resolución de 0,1 °C. A continuación, se calienta la probeta para facilitar el inicio del siguiente ensayo.

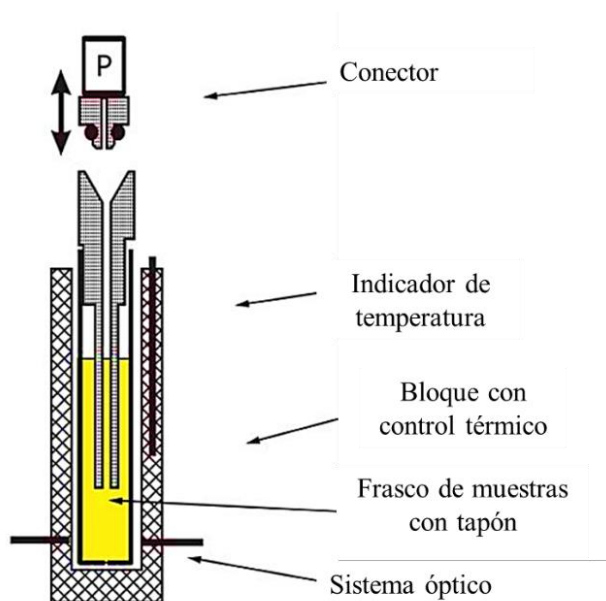
Este método de prueba cubre la determinación del punto de nube de productos derivados del petróleo, biodiésel y mezclas de biodiésel transparentes en capas de 40 mm de espesor, utilizando un instrumento automático. Este método de ensayo cubre el intervalo de temperaturas del punto de nube de -50 °C a + 6 °C. Los valores indicados en unidades SI deben considerarse estándar. En esta norma no se incluyen otras unidades de medida

12.4.3 Descripción del equipo

El equipo automático consta de una cámara de muestras de ensayo controlada por un microprocesador que puede calentar y enfriar la muestra de ensayo a las velocidades requeridas, observar ópticamente la primera aparición de cristales de cera de hidrocarburo y registrar la temperatura de la cámara de muestras de ensayo como se ve en la Figura 16. El dispositivo de medición de la temperatura de la cámara de la probeta deberá ser capaz de medir la temperatura, como mínimo, de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una resolución de $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. El aparato que se observa en la Figura 18 estará equipado con una cámara de muestras controlada termostáticamente, pantalla digital, sistemas de refrigeración y calefacción, sistema de detección óptica y un dispositivo de medición de la temperatura de la cámara de muestras como se observa en la Figura 17 .

Figura 16.

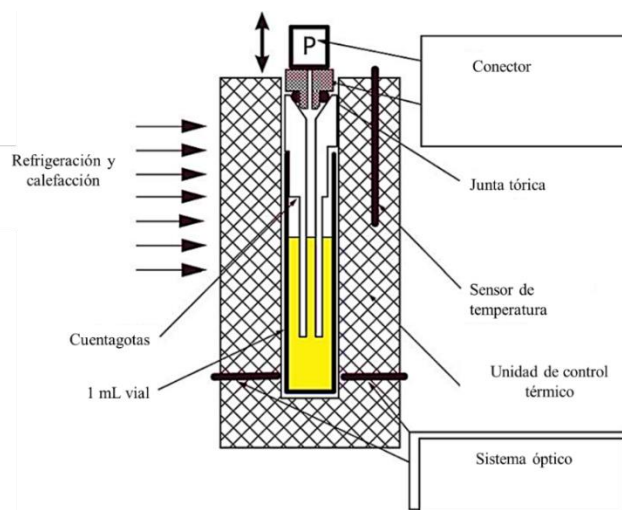
Esquema de la cámara para muestras



Nota. Tomado de *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels*

(Mini Method)1,(p.5), por ASTM D7689 – 21

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Figura 17.*Principio del equipo de prueba*

Nota. Tomado de *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels (Mini Method)*1,(p.5), por ASTM D7689 – 21

Figura 18.*Método Mini Automático aparato de Puntos de nube*

Nota. Tomado de *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels (Mini Method)*1,(p.6), por ASTM D7689 – 21

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

En la Tabla 2 se observan las especificaciones de los principales componentes del equipo Mini automático.

Tabla 2.

Descripción de los elementos del método Mini Automático

Implemento	Especificaciones
Cámara de muestras	Compuesta por un bloque de aluminio perforado con un orificio de 10,0 mm \pm 0,2 mm en una longitud de 35 mm \pm 1 mm
Sensor de temperatura	Capaz de leer con una precisión de 0,1 °C en el intervalo de -105 °C a 60 °C con un error máximo de 0,1 °C. El sensor estará incrustado en la pared de la cámara de la muestra y situado en una posición que permita predecir con exactitud la temperatura de la muestra
Sistema de refrigeración	Un sistema de refrigeración integral, capaz de controlar la temperatura de la cámara de muestras dentro del rango de temperaturas de ensayo previstas con una precisión de 0,1 °C
Sistema de calentamiento	Acoplado a la cámara de muestras, capaz de controlar la temperatura de la cámara de muestras dentro del intervalo de temperaturas de ensayo previstas con una precisión de 0,1 °C
Interfaz exterior del equipo	La disposición exacta puede variar. A modo de ejemplo, se muestra un aparato típico en la Figura 18

Nota. Tomado de *Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels* (Mini Method), por ASTM D7689 – 21

13. Métodos no Estandarizados Para Determinar el Punto de Cristalización de Parafinas

Métodos no estandarizados como lo son, la calorimetría diferencial de barrido (DSC), Microscopía Polarizada Cruzada (CPM), Sistema de Detección de Sólidos (SDS), Analizador de Partículas para Fluidos de Reservorio (RFP) y Espectroscopia de infrarrojo cercano o Near infrared spectroscopy (NIR) son de gran utilidad para determinar el punto de cristalización de

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

parafinas dado que son técnicas ampliamente aceptadas y utilizadas por la comunidad técnica nacional e internacional en la industria petrolera, petroquímica y otros. En este trabajo de investigación se presentará una descripción general del método, de cómo funciona, y en donde se hará principal énfasis en la aplicabilidad en fluidos, y las condiciones de operación más importantes.

13.1 Calorimetría Diferencial de Barrido o Differential Scanning Calorimetry (DSC)

De acuerdo con Ahmadi et al. (2019), el uso de la técnica de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) proporciona información valiosa sobre las propiedades termodinámicas y entálpicas de las muestras analizadas. Esta técnica es ampliamente empleada en el estudio de diversas características físicas, químicas, oxidativas, de pirólisis y térmicas del petróleo crudo y sus derivados. En el sector petrolero, su aplicación implica la comprensión de las fases y el comportamiento de estos productos, así como la creación de perfiles estructurales y morfológicos de los fluidos petroleros, incluyendo el análisis de la cristalización de las ceras presentes en los crudos.

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) es un método experimental comúnmente empleado para investigar y medir el proceso de cristalización de parafinas. Este enfoque se destaca por su sencillez, exactitud y capacidad de proporcionar de manera rápida información sobre las transiciones de fase durante el enfriamiento y calentamiento. Asimismo, permite obtener datos termodinámicos relevantes, como la capacidad calorífica y las entalpías de transición (Alcazar & Buenrostro, 2013).

Esta técnica puede ser empleada a alta presión y además permite la determinación del punto de disolución de las ceras (Vasquez, 2014).

13.1.1 Principio de la Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

La calorimetría de diferencial de barrido mide la diferencia de calor absorbido o liberado) entre dos sustancias (un patrón de referencia y la muestra de crudo o producto petrolífero) ambas son calentadas a una temperatura lo suficientemente alta y luego enfriadas a una determinada velocidad de enfriamiento. La referencia debe poseer propiedades conocidas y debe ser térmicamente inerte en el rango de temperaturas de trabajo. Durante el enfriamiento a la temperatura del punto de cristalización de la muestra empieza a enfriarse más lentamente que la referencia, esto se debe a que la muestra libera su energía de cristalización (Vasquez, 2014, p.34).

Haciendo principal énfasis en crudos parafínicos , se pueden evaluar diferentes transiciones de fase de los crudos mediante DSC. Diversos estudios han demostrado ser una técnica útil para estudiar mezclas de hidrocarburos en espacios confinados (Ahmadi et al.,2019).

13.1.2 Principales limitantes de la DSC

Vasquez (2014) destaca algunas de las más importantes limitantes de la técnica:

- La técnica DSC a pesar de ser relativamente más rápida que la mayoría de las técnicas convencionales, esta mayor velocidad de determinación implica que el equilibrio térmico en algunos casos no sea alcanzado y se presenten problemas de enfriamiento.
- Puede existir la necesidad de obtener una cantidad apreciable de muestra que cambie de fase con el fin de poder generar un cambio apreciable en la señal, lo que implica que presenta una baja sensibilidad.
- Para crudos con bajo contenido de parafinas o saturados el punto de nube o de cristalización puede no ser detectado.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Además es importante resaltar que es una técnica recomendada especialmente para pequeños volúmenes de muestra de fluido, y en especial para crudos sin gas en solución o crudos muertos (Ariza, 2008, p.129). Para adaptarse a crudos vivos requiere de un trabajo más extenso con los tipos de crudos y derivados implicando mayores costos en obtención y estudio de los mismos.

Figura 19.

Calorímetro diferencial de barrido de alta presión (HP DSC)



Nota. Adaptada de <https://n9.cl/0h4tcv>

13.2 Microscopía polarizada cruzada o Cross Polarized Microscopy (CPM)

La técnica mencionada es útil para identificar la presencia de ceras macrocristalinas o microcristalinas en un petróleo crudo. Se considera un método económico y simple que complementa las pruebas estándar para distinguir si un crudo tiene una base de parafina o nafteno. Su aplicación principal es determinar la temperatura de aparición de la cera (WAT o punto de nube) en crudos sin gas en solución. Esta técnica permite analizar el tamaño y la forma de los cristales de parafina, los cuales se sabe que son anisótropos en el petróleo crudo. Por lo tanto, es una herramienta valiosa para comprender la composición y las propiedades de los crudos, contribuyendo a la caracterización de estos (Bacon et al., 2009).

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

13.2.1 Generalidades de la Microscopía polarizada cruzada

La forma en la que funciona esta técnica es adecuada y su funcionamiento se basa en el uso de dos prismas en un microscopio de polaridad cruzada que permite que el campo de visión dentro del microscopio aparezca inicialmente de color negro, pero cuando los cristales se introducen en el sistema aparecen como puntos blancos debido a la rotación de la luz polarizada. La CPM permite la observación visual directa a nivel microscópico (tamaño de los cristales del orden de 1 μm , es decir, detecta la formación de cera en la fase de la nucleación, donde la muestra se precalienta y se transfiere a un portaobjetos de microscopio (Bacon et al., 2009).

13.2.2 Aspectos desfavorables de la Microscopía polarizada cruzada

Los métodos de medición directa producen resultados más fiables, pero son tediosos, difíciles de realizar y carecen de normalización. En primer lugar, la CPM es aceptada como el método visual más sensible para medir el WAT, pero requiere mucho tiempo y una interpretación humana experimentada (Phase Technology, s.f, p.1).

En segundo lugar, la sensibilidad de la CPM depende del tamaño de la cera y del grosor de la película, así como de la escala de aumentos. Sin embargo, el campo de visión restringido dificulta la detección del primer cristal. Por lo tanto, requiere un operador experimentado para preparar los portaobjetos, montar el microscopio y distinguir los primeros cristales de cera en las imágenes. Finalmente, no es un método práctico para utilizar en la rutina diaria como herramienta analítica para la medición del WAT (Phase Technology, s.f, p.1).

13.2.3 Estructura y funcionamiento de la CPM

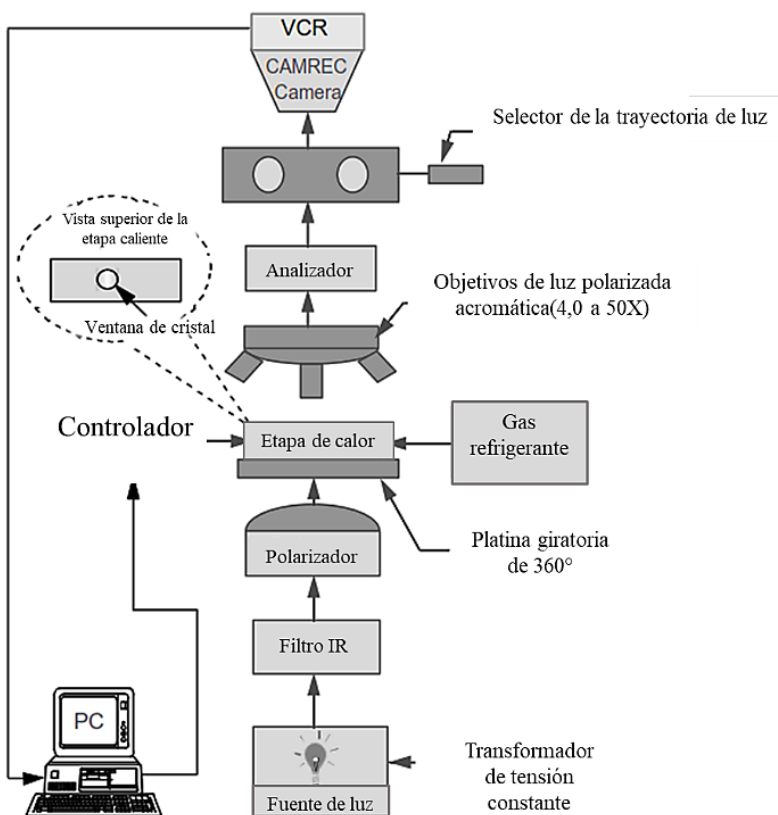
Como se muestra esquemáticamente en la Figura 20, la CPM consiste en una fuente de luz, un filtro IR, un polarizador, una temperatura controlada (programable), etapa caliente, un analizador, una cámara de vídeo, un VCR, un monitor de vídeo y un PC. La etapa caliente está

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

montada en la platina del microscopio y conectado a un tanque de nitrógeno líquido para controlar la velocidad de enfriamiento de la muestra de STO, por lo tanto, permite la determinación visual de la WAT (o punto de nube), así como proporcionar un registro del crecimiento del cristal y la morfología (A. Hammami & M.A. Raines, 1999)

Figura 20.

Esquema del microscopio de polarización cruzada (CPM)



Nota. Tomado de *Paraffin Deposition From Crude Oils: Comparison of Laboratory Results to Field Data* / SPE 54021-PA , (p.10), por A. Hammami & M.A. Raines, 1999

13.3 Sistema de Detección de Sólidos o Solid Detection System (SDS)

Es una herramienta que se basa en la transmitancia de la luz al igual que la espectroscopia NIR. Este equipo está diseñado para detectar cuándo ocurre una deposición orgánica, en otras palabras mide las condiciones del inicio de la precipitación de parafinas de un crudo vivo o crudo muerto. Desde el punto de vista del tamaño de ceras parafínicas, el método SDS comprueba la presencia de estas en la fase de crecimiento posterior, es decir, cuando los cristales de parafina alcanzan un tamaño de unos 10 μm (Ferworn et al., 1997).

13.3.1 Funcionamiento del sistema de detección de sólidos

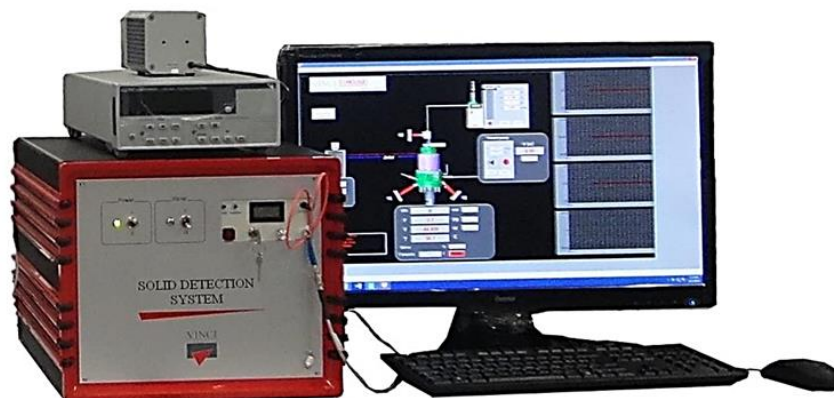
El instrumento se basa en la transmisión de un láser de baja intensidad a través de dos fibras montadas en una celda PVT. Se compone de una fuente óptica que genera la señal que cruza el fluido, un medidor de potencia mide la señal atenuada, dos fibras ópticas probadas transmiten la señal y un software de adquisición de datos es utilizado para registrar la presión de sistema, temperatura, la rata de flujo del solvente y la potencia de la luz transmitida (Vinci Technologies/ Catálogo PDF, 2024, p.32). En la Figura 21 se puede observar el equipo de SDS.

13.3.2 Algunas características y beneficios del sistema de detección de sólidos

Vinci Technologies (2024), miembros franceses completamente operativos y técnicamente capacitados en fabricación de instrumentos de laboratorio y de campo altamente especializados resaltan algunas características importantes del equipo SDS, estas son: la presión, que puede llegar hasta los 20.000 psi, un rango de temperatura ambiente a 400 °F, potencia del láser de 250 mWatts, longitud de onda del tipo infrarrojo cercano, una sensibilidad del detector de 1 pWatt y un rango dinámico de 100 dB. Dentro de los beneficios más relevantes está la e .

Figura 21.

Equipo de sistema de detección de sólidos (SDS)



Nota. Adaptada de “Análisis de fluidos: Catálogo de productos” (p.32), por Vinci Technologies, 2024

13.4 Analizador de Partículas para Fluidos de Reservorio o Reservoir Fluid Particle Analyser (RFP)

Este analizador permite una variedad de experimentos de precipitación de sólidos de parafinas y también asfaltenos incluyendo despresurizaciones isotérmicas y experimentos isobáricos con cambios de temperatura, experimentos de titración, filtraciones, distribución del tamaño de partículas y determinación del inicio de la precipitación de parafinas. El mismo permite una visualización precisa de la precipitación a las condiciones de inicio de la precipitación (Onset), identificar las partículas sólidas y monitorear el cambio en el tamaño y la morfología de los cristales de parafina y asfaltenos como función de la presión, temperatura, tiempo y el efecto de uno o varios tratamientos químicos (Vinci Technologies, 2024).

13.4.1 Descripción del equipo RFP

Este dispositivo puede detectar cuando ocurre la precipitación usando un sistema concebido para la detección de sólidos con una fuente tipo láser. La RFP está compuesta principalmente por el HPM, celda RFP, una celda de acumulación, un horno con baño de aire, un sistema de refrigeración, un ordenador con el software y un panel de control. El software controla y registra automáticamente todos los parámetros como presión, temperatura y volumen durante el análisis. El HPM, que es el corazón del analizador RFP, se compone de una celda de alta presión, alta temperatura con paredes de zafiro que se utiliza para las mediciones. La muestra de crudo se coloca en el horno con baño de aire y está diseñado para visualizar con precisión la temperatura de aparición de la cera (Mmata & Onyekonwu, 2018, p.3).

Así el HPM según estos mismos autores, con una cámara incorporada, graba y toma fotografías en tiempo real del experimento a intervalos predeterminados. De ahí se observan cambios en el comportamiento del fluido del yacimiento que quedan registrados en la cámara de vídeo HPM.

13.4.2 Aplicabilidad de RFP en fluidos

Según Mmata & Onyekonwu (2018) en su trabajo usaron esta técnica para evaluar el punto de cristalización de parafinas de un gas condensado en cabeza de pozo, y hacen énfasis en que RFT es una herramienta que incorpora alta tecnología en sistemas como HPM y SDS, donde puede aprovecharse ampliamente a cualquier tipo de fluidos y especialmente para crudos vivos. Dadas las especificaciones que se pueden observar en la Tabla 3, es una técnica que requiere de una variedad de equipos con altos costos asociados pero respecto a la obtención de resultados adecuados en la determinación el punto de cristalización de parafinas es una herramienta de gran valor. Finalmente respecto al procedimiento de uso del equipo, en el trabajo “*Measurement of the*

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Wax Appearance Temperature of a Gas Condensate ” realizado por los autores citados, se puede encontrar más información de todos los pasos y prácticas para estudiar los fluidos.

Tabla 3.

Descripción del equipo RFP para determinar la WAT

Propiedad	Valores
Presión	hasta 20.000 Psi
Rango de temperatura	-30 a 200 °C (400°F)
Acumuladores(x2)	100 mL
Mecanismo de agitación	Magnético
Alimentación	220 VAC 50/60 Hz 1 fase
Sistema HPM	
Tamaño de la partícula sólida detectada:	a partir de 0.2 µm
Zoom del microscopio	x500
Software desarrollado para medir la distribución de las partículas	
Sistema SDS	
Longitud de onda	NIR
Potencia del láser	250mWatt
Sensibilidad del detector	1 pWatts
Rango dinámico	100 dB

Nota. Las especificaciones mostradas en la tabla hacen referencia al equipo consultado, cabe resaltar que no son cifras generales a todos los equipos. Adaptada de *Análisis de fluidos: Catálogo de productos[archivo PDF]* ” (p.30), por Vinci Technologies, 2024

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

En la Figura 22 se puede observar la estructura física del equipo RFP.

Figura 22.

Equipo analizador de partículas para fluidos de reservorio (RFP)



Nota. Adaptada de “Análisis de fluidos: Catálogo de productos” (p.30), por Vinci Technologies, 2024

14. Espectroscopia de Infrarrojo Cercano o Near Infrared Spectroscopy (NIR)

Esta técnica está basada en la observación del cambio en la transmitancia¹⁰ de la luz incidente sobre el crudo cuando inicia el proceso de cristalización de parafinas. La muestra se introduce sobre uno de los lados de la celda , genera luz en una gama de frecuencias de fotones de $3,8 \times 10^{14}$ a $1,2 \times 10^{14}$ Hz, lo que corresponde a una longitud de onda de 780-2500 nm o 4.000-12.800 cm^{-1} (Ahmadi et al., 2019).

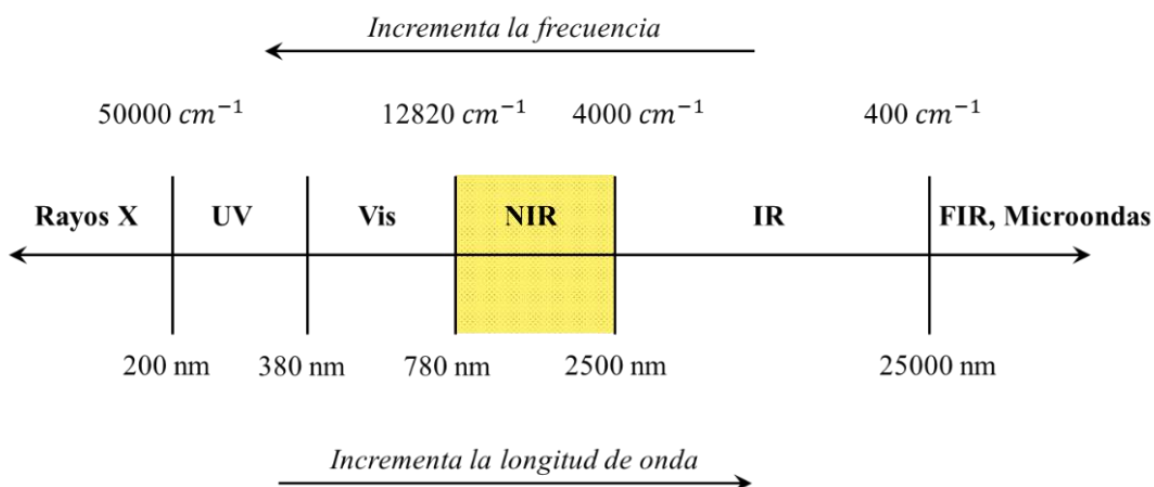
¹⁰ Es la relación de la energía que atraviesa una muestra, comparada con la luz total disponible. Generalmente se habla de transmitancia cuando se trata de líquidos.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Cuando hay precipitación de parafinas, dispersan la luz reduciendo la energía de transmitancia detectada por los sensores situados al otro lado de la celda (Ariza, 2008, p.131) . Lo más conveniente es que cualquier petróleo crudo y sus fracciones se puedan fraccionar como saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos, es decir, fracciones SARA, que a su vez puede ser determinada por espectroscopia NIR (Ahmadi et al., 2019). La gama de radiaciones electromagnéticas se muestra en la Figura 23.

Figura 23.

Gama de radiaciones electromagnéticas



Nota. Adaptado de *Near Infra Red Spectroscopy- An Overview* (p.826), por Reddy et al., 2011

14.1 Regiones de absorción de grupos característicos

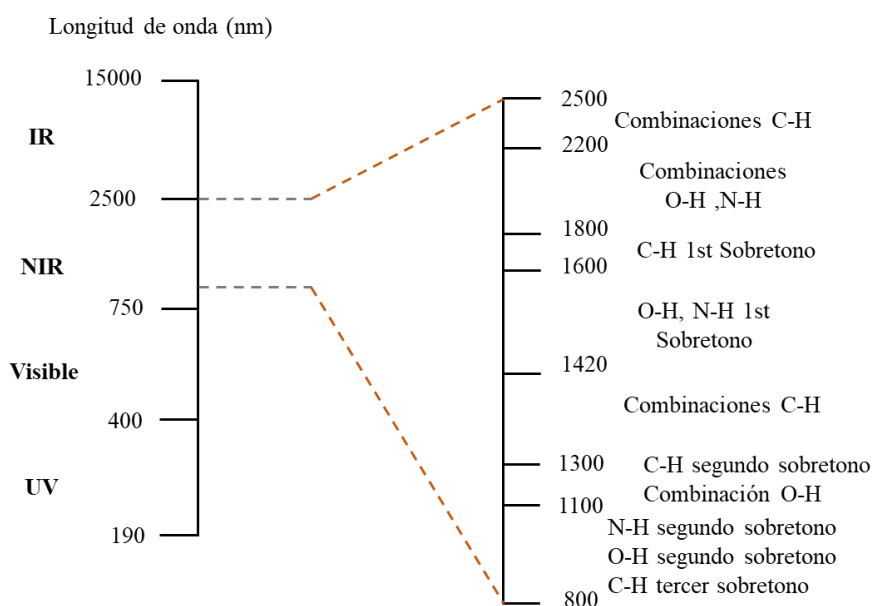
En esta técnica, algunos grupos absorben característicamente dentro de un rango definido. El cambio de posición de absorción de un grupo concreto puede cambiar con los cambios en la estructura de la molécula. Los picos de absorción pueden utilizarse para calcular las distancias de enlace y el ángulo de enlace en casos sencillos. Los grupos característicos absorben la luz en una frecuencia definida. Por tanto, esta técnica es muy útil para predecir la presencia de grupos

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

funcionales e identificar los compuestos. La Figura 24 expresa la caracterización del grupo región de absorción en el NIR.

Figura 24.

Caracterización de la región grupo de absorción



Nota. Adaptado de *Near Infra Red Spectroscopy- An Overview* (p.830), por Reddy et al., 2011

14.2 Aplicaciones de la NIR en análisis de productos petrolíferos

Las aplicaciones de la espectroscopia NIR¹¹ han sido comúnmente empleadas para el control del proceso de refinado o el control de calidad de los derivados del petróleo. Asimismo, se ha utilizado para la construcción de modelos de calibración para las propiedades de algunos productos importantes del petróleo tales como la gasolina, gasóleo, biodiesel, diesel, aceites lubricantes, entre otros (Ahmadi et al., 2019).

¹¹ La técnica NIR está reconocida y aceptada por ASTM como método alternativo a otras técnicas (Guns, 2021)

14.3 Análisis en petróleo crudo

Los métodos analíticos tradicionales suelen implicar varias etapas, como el muestreo, el pretratamiento y el análisis, lo cual puede ser demorado y requerir personal altamente capacitado. Además, la mayoría de estos métodos requieren equipos costosos como espectrómetros de masas o espectrómetros de RMN, entre otros (Bec & Huck, 2023).

La espectroscopia NIR se ha convertido en una herramienta valiosa para este fin en los campos de producción de petróleo, pero hoy en día su principal aplicación en los laboratorios de investigación dada la facilidad en equipos con la finalidad de caracterizar crudos bien sea un crudo vivo o crudo muerto y determinar el punto de cristalización dada su amplia aplicabilidad a distintas condiciones termodinámicas.

14.3.1 Limitantes de la NIR

- Una desventaja del proceso NIR son las características de los espectros, que suelen estar compuestos por picos amplios y picos superpuestos en comparación con los espectros IR. (Reddy et al., 2011, p.830)
- La limitante del tipo de muestras depende de las celdas disponibles (asesoría, s.f)
- Los niveles analíticos dependen del proceso de calibración , es decir, los equipos se calibran de acuerdo a la necesidad (asesoría, s.f)
- El número de parámetros que se desee analizar requieren de una curva de calibración (asesoría, s.f)
- Se debe contar con equipos auxiliares para homogeneizar la muestra de crudo ya que puede contener gas , una alta opacidad o viscosidad (asesoría, s.f)
- Cuando los equipos son de uso general hacen que sean más difíciles de calibrar debido a los parámetros de medición y rango de concentraciones (asesoría, s.f)

15. Criterio de Selección del Método de Prueba

Dentro de los métodos de prueba estudiados anteriormente se tuvo en cuenta la descripción general, las aplicaciones y limitantes a los diferentes tipos de fluidos y el esquema de los equipos. En ese sentido, dentro de las técnicas de detección del punto de cristalización se destaca la calorimetría diferencial de barrido (DSC) por su facilidad de manejo, la obtención de resultados fiables, la diversificación del uso del equipo, el enfoque al estudio, el uso del equipo según algunos autores, norma estandarizada (ASTM), la adaptabilidad de calibración, la diversificación del equipo al cálculo de muchas otras propiedades, y la amplia caracterización térmica de los fluidos (crudos y derivados) permitiendo realizar un sondeo del comportamiento tipo umbral de la cristalización de parafinas.

Es importante mencionar que la obtención de muestras de crudo en fondo de pozo es un procedimiento altamente costoso y muy difícil de conseguir desde la comunidad académica, por lo cual se podrá trabajar en mayor medida con crudos en condiciones de tanque y sus productos. Se pretende que en la escuela de ingeniería de petróleos se tenga conciencia de esta problemática y por ello este estudio de prefactibilidad se enfoca en estudiar y proponer la calorimetría diferencial de barrido como técnica con gran potencial a futuro en el aporte en los nuevos conocimientos en manejo y uso de equipos de alta tecnología.

A pesar de su buena reputación, se aspira a que el laboratorio de fluidos mejore su oferta de servicios al no disponer de un método de prueba para determinar el punto de cristalización o el punto de nube en crudos y derivados. Para lograrlo, se pretende generar confianza en entidades locales y regionales para la obtención del servicio teniendo como base aspectos como; lineamientos y entidades de acreditación, el posicionamiento en extensión a nivel nacional que tiene la universidad y la calidad de docentes e investigadores de la institución.

16. Estudio de Prefactibilidad

La formulación y evaluación de los proyectos consta de tres etapas fundamentales: perfil, *prefactibilidad*, factibilidad e ingeniería. El término proyectar significa idear, trazar, disponer o proponer el plan y los medios para lograr un objetivo. Cuando se menciona que es necesario elaborar un plan para conseguir un objetivo es preciso especificar con qué recursos y cómo se realizarán las actividades que se requieren para alcanzar el resultado deseado, que en este caso es concretar la alternativa de solución planteada a nivel de idea en el proyecto de inversión (Morales, A y Morales, J., 2009).

Estos mismos autores consideran que para lograr el desarrollo de un proyecto es indispensable planificar y diseñar los medios para lograr el objetivo trazado. Por lo que en un plan de trabajo se detallan los recursos y las actividades para alcanzar metas, incluyendo estrategias y procedimientos. Establecer objetivos también implica definir cómo lograrlos, lo que requiere estudios para evaluar la viabilidad del proyecto. Estos estudios son clave para convertir alternativas de inversión en objetivos concretos.

Este proyecto de investigación se enfoca en el estudio de prefactibilidad, que se basa en el uso información de fuentes secundarias para ofrecer un panorama inicial de la inversión. Asimismo, la prefactibilidad proporciona una visión general útil en el proceso de evaluación de proyectos, ya que ayudan a determinar la viabilidad y rentabilidad de una inversión potencial.

La implementación de tecnologías avanzadas como la Calorimetría Diferencial de Barrido se presenta no solo como una alternativa, sino como una necesidad. Ante este panorama, surge una pregunta fundamental: ¿Cómo puede el Laboratorio de fluidos de la escuela de ingeniería de petróleos modernizarse e integrar herramientas como la Calorimetría Diferencial de Barrido para

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

la determinación del punto de nube y punto de cristalización, asegurando a la vez su competencia técnica y fiabilidad, y adaptándose al cambiante contexto del mercado?

Es por ello que el presente estudio de prefactibilidad busca proporcionar una respuesta estructurada y detallada a esta interrogante mediante la realización de un análisis general de algunas de las áreas representadas en un cuadro de evaluación y planificación mostrado que sirve como instrumento de análisis para identificar las acciones necesarias para la integración exitosa de la tecnología DSC en el laboratorio. La Tabla 4 muestra el cuadro de evaluación y variables principales el cual funciona como guía de trabajo a este proyecto de investigación mediante el estudio de algunos de los elementos que lo compone.

Tabla 4.

Estudios que integran un proyecto de inversión

Tipo de estudio	Elementos en los que se concentra el análisis
Estudio de mercado	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demanda ▪ Oferta ▪ Características del producto ▪ Precios ▪ Distribución ▪ Promoción
Estudio técnico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Localización de las instalaciones ▪ Tamaño de las instalaciones ▪ Tecnología básica ▪ Maquinaria y equipo ▪ Necesidades de obra civil ▪ Descripción de los procesos productivos
Estudio administrativo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de sociedad legal ▪ Trámites legales

Estudio financiero	▪ Estructura orgánica
	▪ Descripción de las funciones de los puestos
	▪ Cuantificación de la inversión
	▪ Fuentes de financiamiento
	▪ Estados financieros
	▪ Evaluación financiera
	▪ Análisis de sensibilidad

Nota. Tomado de *Proyectos de inversión, evaluación y formulación*, (p.32) por Morales, A y Morales, J ., 2009

16.1 Estudio de mercado

Según Sapag Xhain et al. (2014), uno de los factores más críticos en el estudio de proyectos es la determinación de su mercado, y considerando que este va mucho más allá del análisis y la determinación de la oferta y la demanda o de los precios del proyecto. Es decir, se requiere tomar un plan concreto de acción con énfasis en todos los procedimientos estratégicos que se utilizarán para realizar una evaluación metodológica e identificar las variables más importantes del proyecto.

Una vez se identifican dichas variables, también es fundamental demostrar que el proyecto tecnológicamente es posible producirlo, una vez que se verificó que no existe impedimento alguno en el abastecimiento de todos los insumos necesarios para su producción. Y finalmente sustentar que es económicamente rentable llevar a cabo su realización (Córdoba, 2011).

16.1.1 Mercado objetivo

El mercado objetivo del servicio de análisis de parafinas por calorimetría diferencial de barrido (DSC) en Bucaramanga y a nivel nacional está enfocado a empresas del sector petrolero y universidades. Este tipo de análisis es determinante para las empresas que manejan crudos pesados y derivados, ya que la presencia de parafinas puede afectar negativamente el transporte y procesamiento de estos productos, causando obstrucciones en los oleoductos y fallas en los

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

equipos. Empresas como Ecopetrol, Reficar y otras petroleras medianas y grandes en Colombia, que enfrentan retos con crudos de alta viscosidad y contenido de ceras, representan clientes potenciales que podrían beneficiarse de un servicio de análisis especializado para optimizar sus operaciones.

Además, entre los usuarios potenciales de este tipo de servicios pueden encontrarse laboratorios de investigación y desarrollo tanto privados como universitarios. A menudo, estos laboratorios participan en proyectos de innovación tecnológica relacionados con la caracterización de crudos y derivados, lo que hace necesario tener acceso a sofisticados equipos de DSC. Para proyectos de investigación académica o para colaboraciones con la industria, consolidando una red de socios estratégicos, las universidades con programas en ingeniería química, petróleo o ciencia de los materiales pueden requerir análisis detallados de ceras de parafina (Agarwal & Sarviya, 2017)

La ciudad de Bucaramanga es un centro potencial de servicios de análisis DSC debido a la presencia en el mercado regional de empresas petroleras y universidades con programas centrados en la ingeniería y las ciencias aplicadas. A nivel nacional, la producción petrolera en Colombia, que se localiza principalmente en zonas como el departamento de Santander, Meta y la costa Atlántica, presenta una gran necesidad de investigación integral de crudos pesados (Quintero et al., 2023). Al ofrecer soluciones que mejoren la eficiencia operativa y la investigación aplicada en el sector, la prestación de un servicio especializado de análisis de parafinas, respaldado por tecnología de punta y operado por personal capacitado, podría captar una porción significativa del mercado.

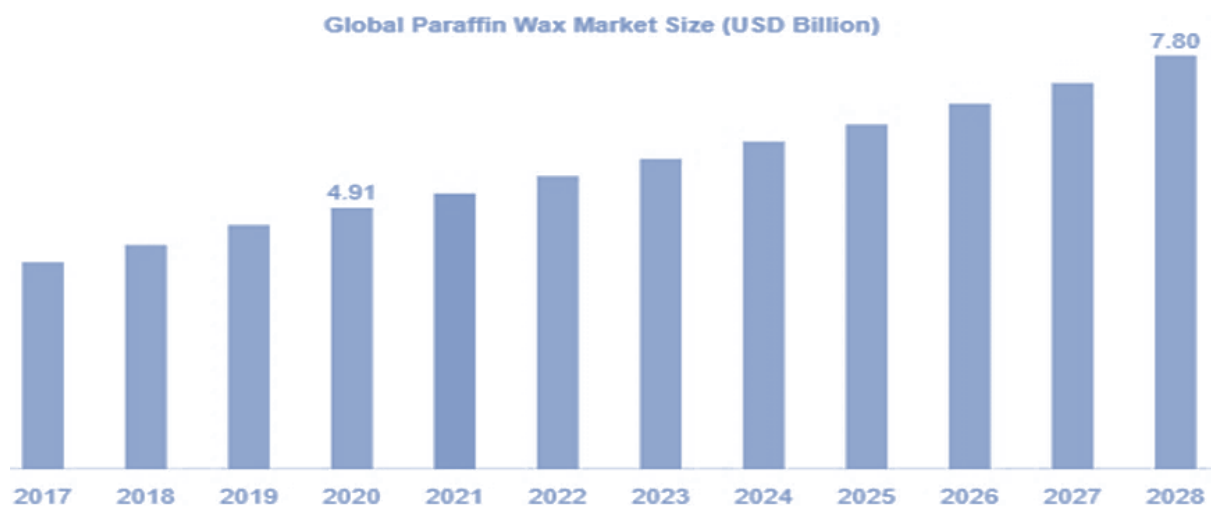
ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

16.1.2 Análisis del Mercado a Nivel Nacional

La importancia de la industria de hidrocarburos en Colombia es evidente, siendo Ecopetrol la principal compañía, con una participación mayoritaria del Estado. La capacidad de producción nacional de petróleo en 2023 alcanzó los 754.000 barriles por día calendario, un 2,4% más que en 2021. Este aumento de la producción se debió a la actividad en cerca de 620 campos petroleros activos en todo el país. En el mismo año, Santander produjo 44.619 barriles por día, a pesar de un descenso del 8,1% en la producción, lo que refleja la inestabilidad y los problemas a los que se enfrenta la extracción de petróleo en la región (The Brainy Insights, 2023). Lo anterior se refleja en la Figura 25, donde se evidencia las proyecciones de inversión del estudio de las parafinas a nivel global.

Figura 25.

Pronóstico de inversión para el estudio de ceras parafínicas en crudos y derivados



Nota. Adaptado de *The Brainy Insights*. (2023). *Request for customization paraffin wax market.* *The Brainy Insights*. <https://www.thebrainyinsights.com/enquiry/request-customization/12514>

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

En la actualidad, el uso de equipos de calorimetría diferencial de barrido (DSC) en los laboratorios de fluidos se ha convertido en una herramienta vital para la industria petrolera, especialmente para identificar la presencia de parafinas en los petróleos y sus derivados. (Moncayo, et al., 2022). Durante el transporte y procesamiento del crudo, es esencial realizar este análisis para evitar problemas operativos como la obstrucción de tuberías y equipos, que pueden causar costosas y peligrosas interrupciones de la producción como se evidencia en la Figura 26.

Figura 26.

Análisis del mercado de Petroquímica



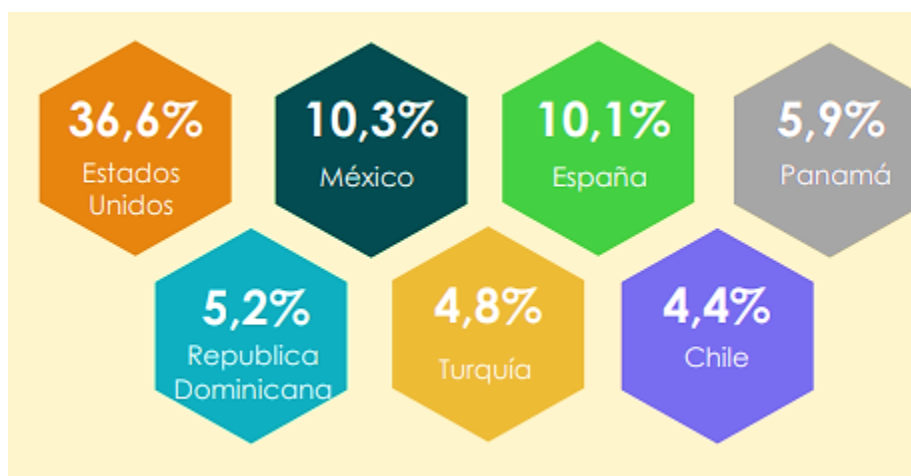
Nota. Esta figura explica el comportamiento que obtuvo el sector y la importancia los autores para promover el estudio de prefactibilidad de equipos DSC. Adaptado de

https://camaradirecta.com/imagenes/vdo_conexion/cone_fc289e012b4d8d9edbbe5655d220ba5b4a714530.pdf

Por otra parte, ante la creciente demanda de crudo de alta calidad y las estrictas normativas medioambientales, el uso del DSC permite a las petroleras identificar con precisión las características térmicas del crudo, optimizar sus operaciones y mejorar la rentabilidad reduciendo

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

las pérdidas y manteniendo un flujo de producción eficiente. Lo anterior es representado en la Figura 27.

Figura 27.*Análisis de exportación*

Nota. Esta figura explica la distribución de exportación por país que obtuvo el sector. la importancia los autores para promover el estudio de prefactibilidad de equipos DSC. Adaptado de https://camaradirecta.com/imagenes/vdo_conexion/cone_fc289e012b4d8d9edbbe5655d220ba5b4a714530.pdf

Las exportaciones de la industria petroquímica santandereana tienen como principal destino Estados Unidos, México y España abarcando el 57% del total exportado, lo que pone de manifiesto la importancia de este sector para la economía regional y nacional. En este contexto, la utilización de equipos de calorimetría diferencial de barrido (DSC) en los laboratorios de fluidos es fundamental para garantizar la calidad del crudo y sus derivados, especialmente en el análisis del aspecto de las parafinas (Cámara de Comercio de Bucaramanga, 2022).

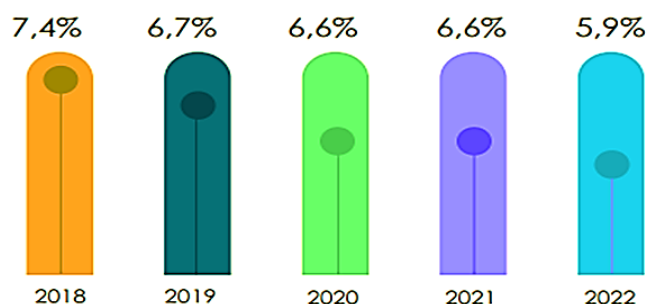
16.1.3 Análisis del Mercado a nivel local (Bucaramanga)

La importancia de la industria petrolera es crucial para la economía de Bucaramanga y de toda la región de Santander. Las principales fuentes de energía en el mundo son el petróleo y el gas, que contribuyen significativamente al PIB mundial y son las materias primas más comercializadas (Cámara de Comercio de Bucaramanga, 2022).

La actividad petrolera tiene un gran impacto positivo en Santander, y especialmente en Bucaramanga. A pesar de un descenso del 8,1% en comparación con el año anterior, el departamento registró una producción diaria de 44.619 barriles de petróleo en 2022, manteniendo su cuarta posición entre los 19 departamentos productores de petróleo de Colombia. Según la Figura 28 la disminución en la producción se dio en un momento en el que había más pozos en operación, lo que refleja los retos y variaciones de la industria (Cámara de Comercio de Bucaramanga, 2022).

Figura 28.

Participación de Santander en el mercado



Nota. Esta figura explica la participación del mercado que obtuvo Santander y la importancia los autores para promover el estudio de prefactibilidad de equipos. Adaptado de https://camaradirecta.com/imagenes/vdo_conexion/cone_fc289e012b4d8d9edbbe5655d220ba5b4a714530.pdf

16.1.4 Estrategia de Mercadeo

Es fundamental implementar estrategias de precios que se adapten a las condiciones y dinámicas del sector petrolero y de investigación local para aumentar la competitividad y captar una mayor cuota de mercado en el ámbito de los equipos de calorimetría diferencial de barrido (DSC) en Colombia y, especialmente, en Santander. Estas estrategias de precios pueden optimizar el posicionamiento de estos equipos en el mercado, atraer a instituciones de investigación y empresas petroleras y asegurar una ventaja competitiva sostenible. Lo anterior es resumido en la siguiente Tabla 5.

Tabla 5.

Estrategias de Mercadeo

Estrategia de Precio	Descripción	Aplicación en Colombia y Santander
Precios de Penetración	Establecer precios iniciales más bajos para ingresar al mercado de investigación y estudios de crudos, captando rápidamente la atención de universidades y centros de investigación.	Facilita la adopción de equipos DSC en laboratorios de investigación en Santander, promoviendo estudios sobre ceras parafínicas.
Descuentos por Volumen	Ofrecer precios reducidos para instituciones o empresas que adquieran múltiples unidades de equipos DSC, promoviendo la inversión en investigación avanzada.	Incentiva a universidades y centros de investigación en Santander a ampliar sus capacidades de análisis comprando más equipos.
Precios Basados en el Valor	Ajustar los precios en función del valor percibido del equipo, destacando características como precisión en la detección	Justifica precios más altos para equipos de alta precisión, destacando su

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

	de ceras parafínicas y fiabilidad en condiciones extremas.	valor en estudios críticos de crudos en Colombia.
Precios Competitivos	Establecer precios alineados con la competencia global, permitiendo ajustes según las fluctuaciones del mercado y la evolución tecnológica de los equipos DSC.	Mantiene la competitividad de los equipos DSC frente a importaciones y otras marcas en el mercado colombiano y santandereano.
Precios Dinámicos	Ajustar los precios de los equipos DSC en función de la demanda y los costos de producción, así como de las innovaciones tecnológicas y las necesidades específicas de los clientes.	Permite responder rápidamente a cambios en la demanda de equipos DSC en Santander y Colombia, maximizando la rentabilidad.

Nota. Elaboración propia basado en la complejidad competitiva del mercado

16.1.5 Análisis de la demanda

La demanda se define como la cantidad y calidad de bienes y servicios que pueden ser adquiridos a los diferentes precios del mercado por un consumidor (demanda individual) o por el conjunto de consumidores (demanda total o de mercado), en un momento determinado. La demanda es el elemento más importante y complejo del mercado, integrado por necesidades sentidas, poder adquisitivo, posibilidad de compra, tiempo de consumo y condiciones ambientales de consumo (Córdoba, 2011).

Sectores como el petróleo y el gas, investigación académica y laboratorios de pruebas industriales han visto un aumento significativo en la demanda de equipos de calorimetría diferencial de barrido (DSC). La Tabla 6 se presenta un análisis general el cual abarca las

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

oportunidades, dificultades y tendencias actuales y futuras para el uso de equipos DSC en la detección de ceras parafínicas se proporciona a continuación.

Tabla 6.

Análisis de demanda

Categoría	Aspecto Clave	Descripción Detallada	Factor de importancia
Oportunidades	Optimización de Procesos Industriales	Los equipos DSC pueden detectar la presencia de ceras parafínicas a diferentes temperaturas, lo que ayuda a mejorar la calidad del crudo y previene problemas como la obstrucción de tuberías y equipos.	La implementación de DSC puede reducir problemas de flujo en un 20%.
	Investigación y Desarrollo	El DSC puede ayudar a las universidades y centros de investigación a mejorar su comprensión de las propiedades térmicas de los crudos y sus derivados, así como a fomentar nuevas aplicaciones y procesos de procesamiento.	30% de las universidades líderes en investigación petrolera están adoptando equipos DSC.
Desafíos	Costos de Adquisición y Mantenimiento	La adquisición y el mantenimiento de los equipos DSC son costosos, lo que puede limitar su adopción, especialmente en pequeñas	El costo promedio de un equipo DSC de alta calidad supera los \$60,000 USD.

	empresas y laboratorios con presupuestos limitados. Operar y analizar los resultados de un DSC requiere personal capacitado, lo que puede ser un obstáculo en áreas con escasez de expertos o en organizaciones que no invierten en formación técnica.	40% de las empresas informan dificultades para encontrar personal cualificado.
Requisitos de Personal Especializado		
Tendencias	<p>Creciente Demanda de Crudos de Mayor Calidad</p> <p>Innovación Tecnológica y Automatización</p> <p>La industria está exigiendo crudos de mejor calidad, libres de impurezas como las ceras parafínicas, lo que incrementa la demanda de análisis precisos y confiables.</p> <p>Los equipos DSC están mejorando la eficiencia y la competitividad gracias a la integración de tecnologías avanzadas como inteligencia artificial y sistemas automatizados.</p>	<p>Se proyecta un aumento del 15% en la demanda de análisis de calidad de crudos en los próximos cinco años.</p> <p>50% de los nuevos equipos DSC incorporan tecnologías de automatización</p>

Nota. Adaptado de *Fluid Phase Equilibria* 400, 8–19. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2015.04.032>

En esta sección y observando la información registrada en la Tabla 7 que fue suministrada por la Dirección de Admisiones de la Universidad Industrial de Santander vía electrónica, es fundamental considerar que el laboratorio de fluidos es el punto central de este estudio para la prestación del servicio, en conjunto con los estudiantes que se interesen por estudiar y adquirir conocimiento en las nuevas tendencias en el territorio de la optimización de las operaciones en

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

campo tomando el programa de ingeniería de petróleos como medio directo, ya que no solo es importante estudiar los métodos de producción sino también incursionar en procesos de innovación de los métodos preventivos y así optimizar los mecanismos de producción y los procesos.

Por lo tanto, la escuela de ingeniería de petróleos y el laboratorio de fluidos podrá contar con un método de prueba nuevo que entra a aportar una solución importante mediante el estudio de una propiedad crítica principalmente en la producción, transporte, facilidades de superficie, y almacenamiento de crudo.

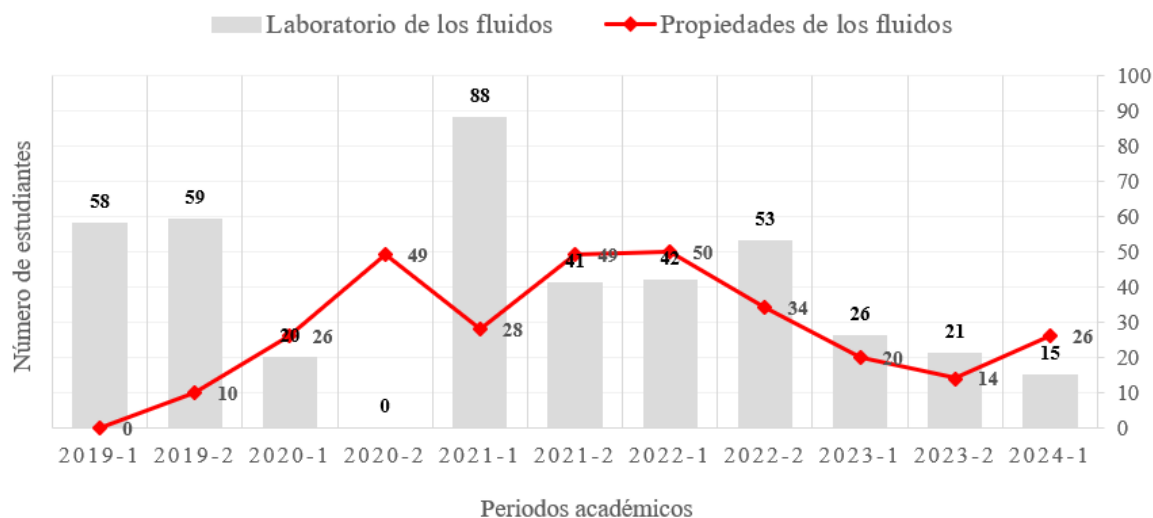
Tabla 7.

Estudiantes matriculados en las asignaturas propiedades y laboratorio de los fluidos

Año	Propiedades de los fluidos	Laboratorio de fluidos
	Cód. 28046	Cód.23183
2019-1	0	58
2019-2	10	59
2020-1	26	20
2020-2	49	0
2021-1	28	88
2021-2	49	41
2022-1	50	42
2022-2	34	53
2023-1	20	26
2023-2	14	21
2024-1	26	15

Nota. Elaboración propia con base en *dirección de admisiones de la Universidad Industrial de Santander*, 2024

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Figura 29.*Estudiantes matriculados en diferentes periodos*

Nota. Elaboración propia con base en *dirección de admisiones de la Universidad Industrial de Santander*, 2024

Es importante analizar a nivel regional y nacional la posible necesidad de instituciones educativas (Universidades) directamente relacionadas con el sector energético y la posibilidad de la prestación del servicio. Estas entidades, debido a sus operaciones en los diferentes puntos del país, podrían requerir el estudio de crudos y sus productos.

A su vez actuarían en el futuro como posibles clientes potenciales para el laboratorio de fluidos influyendo en el prestigio y reconocimiento de este. Por un lado se destacan las principales instituciones educativas mostradas en la Tabla 8, que además cuentan con la acreditación nacional.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Tabla 8.*Principales universidades relacionadas con el sector petrolero*

Entidad educativa	Tipo de programa ofrecido	Ubicación/Ciudad	Código SNIES
Escuela Superior de Empresa, Ingeniería y Tecnología (ESEIT)	Ingeniería de Petróleo y Gas	Distrito capital de Bogotá	103448
Universidad de América	Ingeniería de Petróleos	Bogotá	1335
Universidad Surcolombiana (USCO)	Ingeniería de Petróleos	Neiva	90309
Universidad Nacional de Colombia(UNALMED)	Ingeniería de Petróleos	Medellín	119
Universidad de los Andes	Maestría en Ingeniería de Petróleos	Bogotá	104304
Unidades Tecnológicas de Santander (UTS)	Tecnología en manejo de petróleo y gas en superficie	Bucaramanga	102596
Universidad de Santander (UDES)	Ingeniería petroquímica	Bucaramanga	105181

Nota. Las universidades mostradas son las más importantes del país en programas ofertados relacionados con el sector petrolero, con una demanda considerable de estudiantes que serían consumidores potenciales en el caso de no contar con el método de prueba DSC.

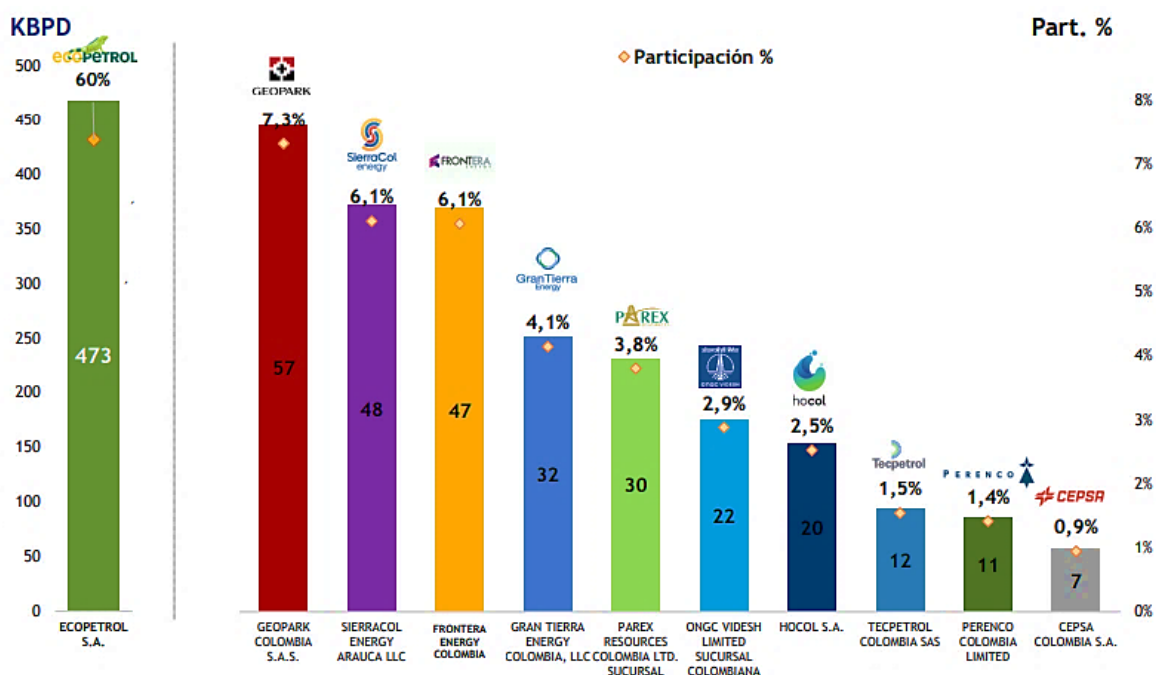
Por otro lado, es fundamental considerar las principales operadoras de crudo y derivados en Colombia. Según la Agencia Nacional de Hidrocarburos (2024) y sus estadísticas de producción mensual de hidrocarburos periodo 2023-2024, hasta el mes de julio del presente año se obtuvo una producción de crudo mínimamente superior al año anterior según la Figura 30.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Asimismo, para diciembre de 2023, el 96,5% de la producción de crudo estuvo concentrado en diez empresas operadoras de petróleo en el territorio nacional. La lista de las cinco primeras está conformada de la siguiente forma: Ecopetrol S.A (60%), Geopark (7,3%), SierraCol (6,1%), Frontera (6,1%) y Gran Tierra (4,1%), (Campetrol, 2024).

Figura 30.

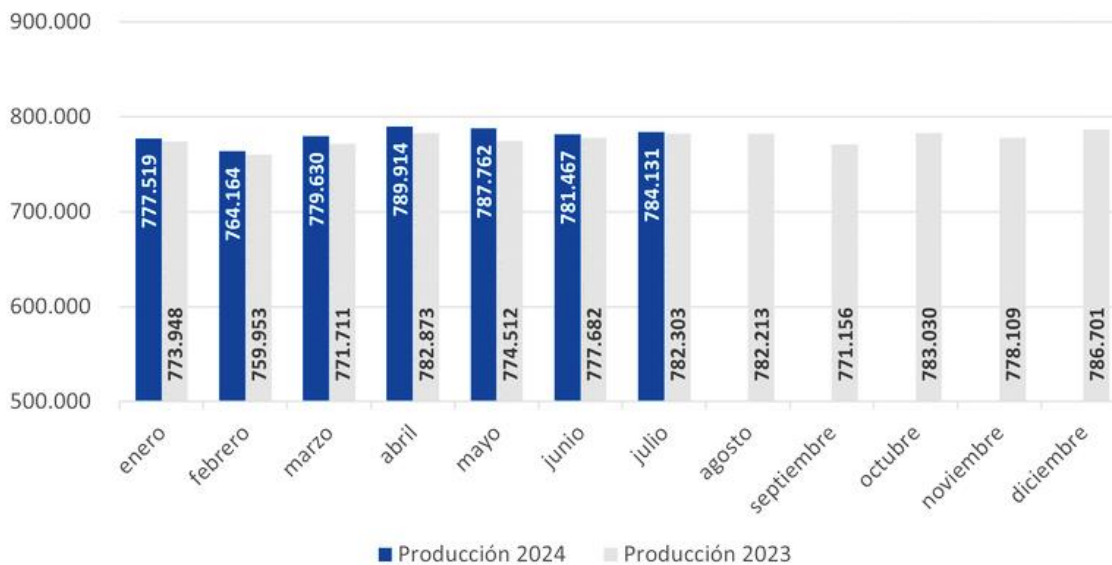
Producción fiscalizada de crudo por operadora – diciembre 2023



Nota. Tomado de *informe de taladros y producción: corte a diciembre de 2023*, por Campetrol, 2024

La Figura 31 representa también el comparativo en la producción de crudo 2023-2024 destacando también a Ecopetrol S.A como la principal operadora del país. Se tiene una demanda suficiente de producción de crudo, con potencial en precipitación de parafinas dada su composición en saturados y altas probabilidades de captación de muestras de dichos fluidos para analizarlas en el laboratorio de fluidos.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Figura 31.*Producción fiscalizada de petróleo BPD (2023-2024)*

Nota. Tomado de *Estadísticas de producción mensual*, por Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2024

Sumar a este análisis el demandante sistema de transporte junto con las principales transportadoras de crudos y derivados del país es de vital importancia. Actualmente, existen siete grandes oleoductos en Colombia que conectan puntos de perforación con refinerías; los más extensos son los de Caño Limón - Coveñas y el oleoducto de Ocesa como muestra la Figura 32. Se debe tener en cuenta que, a lo largo del territorio nacional, se transportan hidrocarburos por carretera, estadísticamente los productos principales son petróleo, diésel, gasolina, asfalto y productos petroquímicos y es allí donde se presentan grandes problemas de precipitación de parafinas (Castiblanco Urrego y Cárdenas Romay, 2023)

La importancia de los distintos medios de transporte de hidrocarburos crudos y refinados es evidente; en primer lugar, en la industria de petróleo y gas offshore cobran gran importancia los oleoductos, gasoductos y poliductos, debido a que son medios de transporte que sí tienen las

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

tecnologías necesarias para el control y el seguimiento de las tuberías por problemas como obstrucción por parafinas y demás , se minimizan la posibilidades de generar accidentes que involucren pérdidas financieras(Castiblanco Urrego y Cárdenas Romay, 2023). Empresas como CENIT 100% filial de Ecopetrol, maneja gran parte del sistema logístico y de transporte del país (oleoductos y poliductos) y juega un papel muy importante en el análisis de demanda ya que se podría conseguir por medio de esa entidad crudos y derivados a analizar con DSC.

Figura 32.

Sistema de oleoductos en Colombia



Nota. Tomado de *importancia del transporte de hidrocarburos y su realidad en Colombia*, (p.85), por Castiblanco Urrego y Cárdenas Romay, 2023

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

16.1.6 Estudio de la oferta

La oferta es la cantidad de productos que los diversos fabricantes, productores o prestadores de servicios ponen en los mercados a disposición de los consumidores para satisfacer sus necesidades (Morales, A y Morales, J., 2009).

Para conocer la disponibilidad y la capacidad de producción de ceras parafínicas, es necesario analizar su oferta en el mercado. La evaluación de los principales proveedores y productores de la cadena de suministro permite identificar los puntos fuertes y débiles, así como las oportunidades para mejorar la eficiencia y la competitividad. La siguiente Tabla 9 muestra los principales actores en el suministro de equipo de calorimetría diferencial de barrido para estudiar la aparición de ceras parafínicas en crudos y derivados con información sobre sus capacidades de producción, ubicaciones y enfoques de mercado.

Tabla 9.

Análisis de los principales actores de competencia

Proveedor y Producto	Ubicación	Enfoque de mercado	Comentarios adicionales
Ecopetrol S.A.	Barrancabermeja, Colombia	Refinación de crudo y derivados	Principal productor de parafina en Colombia
Refinería de Cartagena (Reficar)	Cartagena, Colombia	Exportación y mercado local	Ofrece parafina para aplicaciones industriales y comerciales.
Mansarovar Energy	Bogotá y Puerto Boyacá, Colombia	Industria petrolera y petroquímica	Especialización en parafina de alta pureza para uso industrial
Esenttia S.A.	Cartagena, Colombia	Productos petroquímicos y plásticos	Focalización en parafina para embalaje y productos cosméticos.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Petrobras	Brasil (importación a Colombia)	Mercado de América Latina	Importaciones significativas hacia Colombia, cubriendo demanda local.
Eso Colombia S.A.	Bogotá, Colombia	Lubricantes y productos derivados	Producción enfocada en lubricantes con subproductos de parafina.
Laboratorios de Universidades	Bucaramanga, Bogotá	Investigación y desarrollo	Limitada capacidad de producción, mayor enfoque en investigación.

Nota. Elaboración propia

Complementado con lo anterior, de acuerdo con el registro mercantil de la cámara de comercio de Bucaramanga y según la Figura 33, existen 37 compañías que operan en el ámbito de la petroquímica. Estas empresas generaron un valor de ventas de \$14,2 mil millones en 2022, un aumento significativo del 39,3% en comparación con el año anterior. Este aumento demuestra el excelente desempeño de las empresas de la industria petroquímica, lo que destaca su relevancia para la economía regional y su capacidad para adaptarse a las fluctuaciones del mercado (Cámara de Comercio de Bucaramanga, 2022).

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Figura 33.*Comportamiento del mercado en Santander*

Nota. Esta figura explica el comportamiento del mercado en Santander y la importancia los autores para promover el estudio de prefactibilidad de equipos de calorimetría diferencial de barrido (DSC). Adaptado de

https://camaradirecta.com/imagenes/vdo_conexion/cone_fc289e012b4d8d9edbbe5655d220ba5b4a714530.pdf

Adicionalmente a esto, 16 empresas de la industria petroquímica de la región representan el impresionante 97,1% de las ventas totales del sector. La concentración de la oferta en un pequeño grupo de empresas, que también poseen el 94% del valor total de los activos del sector, se destaca en este dato. Estas cifras muestran un mercado muy concentrado donde una pequeña cantidad de empresas controlan la mayoría de las operaciones y el valor económico. Esto puede tener un impacto significativo en la dinámica competitiva y las estrategias de mercado en el área (Cámara de Comercio de Bucaramanga, 2022). En términos de sostenibilidad y experiencia

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

en el mercado, se destaca que el 18,8% de las empresas en este segmento tienen más de 10 años, lo que demuestra una base sólida y experiencia acumulada en la industria.

16.2 Estudio técnico

Tiene por objeto proveer información para cuantificar el monto de las inversiones y de los costos de operación pertinentes a esta área. Si el estudio de mercado indica que hay demanda suficiente de acuerdo a las características del producto o servicio, tamaño de la demanda y cuantificación del volumen de venta y precio de venta, hay necesidad de definir el producto en el estudio técnico. Este determina la necesidad de capital y de mano de obra (Córdoba, 2011).

16.2.1 Ubicación y dimensionamiento

Es necesario contar con una ubicación que sea fácilmente accesible para el personal y los usuarios, que minimice la probabilidad de crear cualquier tipo de riesgo y que cuente con la infraestructura y las circunstancias necesarias para garantizar el funcionamiento óptimo del proyecto.

El laboratorio de fluidos mostrado en la Figura 34 de la escuela de ingeniería de petróleos de la Universidad Industrial de Santander es la principal ubicación a tener en cuenta. Esto se debe a que el objetivo primordial de este proyecto es implementar la calorimetría diferencial de barrido dentro de este laboratorio, dando la oportunidad a los estudiantes de complementar los conocimientos teóricos aprendidos en el aula con la ayuda de profesores y auxiliares conocedores de fluidos y capacitados para el manejo de equipos de laboratorio.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Figura 34.*Sección del laboratorio de fluidos*

Nota. Imagen tomada por el autor

El Parque Tecnológico de Guatiguará (PTG) se podría considerar como la segunda opción para implementar el método de prueba dado que según su portafolio de servicios no cuenta con la calorimetría diferencial de barrido. Este es considerado el tecnológico más consolidado del país. Se encuentra ubicado en la sede UIS Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander sobre el conocido Valle de Guatiguará en el municipio de Piedecuesta, en Km 2 vía refugio sede UIS Guatiguará, a 20 minutos de la capital santandereana, a 48 minutos del Aeropuerto Internacional Palonegro. El Parque Tecnológico de Guatiguará con entrada principal según la Figura 35 es hoy el proyecto urbanístico, tecnológico y empresarial emblema del Nororiente Colombiano que propicia el trabajo articulado entre científicos y empresarios para favorecer el desarrollo de ciencia, tecnología e innovación (Parque Tecnológico de Guatiguará, s.f).

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Figura 35.*Entrada principal PTG*

Nota. Tomada de *portafolio*, por Parque Tecnológico de Guatiguará (PTG), s.f. https://convocatorias.uis.edu.co/wp-content/uploads/2023/03/Brochure_PTG.pdf

Por otro lado se hace también énfasis en la evaluación técnica del equipo de calorimetría diferencial de barrido (DSC) y búsqueda de proveedores. Para ello se realizó un sondeo general para recopilar una lista de 12 proveedores relacionados con la industria petrolera y petroquímica entre nacionales e internacionales por medio de páginas Web, vía correo electrónico y vía WhatsApp de los cuales se pudo obtener de 7 de ellos precios base, tiempos de entrega estimados, vida útil estimada, pero uno solo realizó la propuesta de un equipo de referencia y candidato del proceso de configuración para estudiar la WAT en crudos y derivados. De esto se incluyó su ubicación y precios aproximados del equipo con la valorización a la fecha del dólar (\$4100 COP) y así tener un estimado de cuánto cuesta en moneda nacional.

16.2.2 Evaluación técnica de proveedor

Álvarez y Ramos (2021) plasman en su trabajo una exhaustiva investigación que cuenta con las bases teóricas necesarias para la selección de proveedores con la información disponible y relevante encontrada en documentos científicos. Descubrieron indicadores que reflejan la importancia para la selección de proveedores y cuáles de estos poseen mayor incidencia. Desde este punto de vista y para efectos de este proyecto de investigación se tuvo en cuenta los siguientes criterios: calidad del equipo, precio, vida útil, soporte técnico, servicio postventa, tiempos de entrega y experiencia y reputación del proveedor.

A continuación, se describe algunas de las razones principales de los criterios de selección más importantes que resaltan su importancia al momento de seleccionar el proveedor del equipo de calorimetría diferencial de barrido:

Calidad del equipo DSC

Este criterio califica la tenencia de un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) y/o de productos que cumplan en su totalidad con las normas de especificaciones, avalados por un certificado de concordancia, lo que garantiza la conformidad de los productos con sus requisitos. De este criterio depende la seguridad en la prestación del servicio (Álvarez y Ramos ,2021, p.21).

Experiencia y reputación del proveedor

Este criterio califica el tiempo de permanencia del proveedor en el mercado. Si el proveedor conoce su mercado y las necesidades de sus clientes, se adapta rápidamente a los cambios y busca alternativas de mejora (Álvarez y Ramos ,2021, p.21).

Precio del equipo DSC

Este criterio evalúa la oferta económica del proveedor y es un elemento importante para determinar la relación costo-beneficio. Es la base del indicador de los presupuestos de las operaciones para las compras (Álvarez y Ramos ,2021, p.21).

Para dar inicio con este apartado se definen dos modelos de evaluación que permite contribuir al estudio esperado permitiendo elegir el proveedor que más se ajusta a los requerimientos de decisión establecidos de esta manera los modelos son los siguientes:

- **Modelo de selección de proveedor por factor de ponderación**

Se trata de determinar los factores determinantes principales en una ubicación, para otorgarles valores ponderados de peso relativo, en función de la relevancia que se les otorga. La relevancia relativa basada en una suma igual a uno, está fuertemente influenciada por el criterio y experiencia del evaluador.

- **Modelo de AHP (Análisis jerárquico de procesos)**

Algunos autores coinciden que una de las formas más efectivas en la selección de proveedores es la utilización de la metodología denominada Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) para la toma de decisiones por el método multicriterio. El mismo consiste en identificar los factores o criterios de evaluación, establecer la importancia relativa de los mismos con el uso de una escala valorativa que pondera el peso de cada uno, acumular la puntuación obtenida para el total de los criterios y finalmente seleccionar el o los proveedores con mayor puntuación o puntuaciones (Álvarez y Ramos ,2021, p.18, como se citó en Gómez, J.C., Cabrera J. P., 2008).

En otras palabras, el método AHP es una herramienta muy útil para eliminar de cierta forma la subjetividad en la toma de decisiones, encontrando en sí el comportamiento real de los proveedores y su desempeño a lo largo del tiempo.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a elegir los posibles proveedores que podrían ofrecer el equipo tomando como referencia las siguientes compañías que más posicionamiento y vanguardia tienen en el mercado nacional e internacional documentadas en la Tabla 10.

Tabla 10.

Proveedores seleccionados

Proveedor	Descripción	Sitio web de contacto
Intek Group	Es un proveedor nacional de equipos para laboratorio ubicado en Bogotá y Medellín, que manejan la marca alemana <i>Linseis Thermal Analysis</i> con más de 60 años de experiencia en el análisis térmico con equipos de laboratorio, incluyendo calorímetros DSC. Ofrecen el modelo STA PT1600, HP TG-DSC adaptado al estudio de aparición de ceras parafínicas, entre otros. Según la consulta directa con el proveedor, se ofrece el proceso de calibración.	https://intekgroup.com.co/equipos-especializados/calorimetros-dsc-pt1600/ http://www.linseis.com/en/products/differential-scanning-calorimeter-dsc
Mettler Toledo™	Multinacional con presencia en Colombia, ofrece una amplia gama de equipos de análisis térmico, incluyendo DSC 3: calorímetro diferencial de barrido. Cuenta con instrumentos DSC de alto rendimiento para la investigación académica y el desarrollo industrial	https://www.fishersci.com/shop/products/high-temp-differential-scanning-calorimeter-dsc/p-7139360
Infinitia Industrial Consulting	Es una empresa española que cuenta con la venta y distribución de con el DSC 214	https://www.infinitiaresearch.com/noticias/calorimetro

	<p>Polyma, que es un gran avance en la tecnología de calorimetría diferencial. Es una consultora especializada en análisis de fallos en materiales, con trabajos realizados con líquidos, que aporta soluciones innovadoras al sector industrial y da apoyo en las distintas fases del negocio, desde el concepto hasta la industrialización. No tiene sede en Colombia</p>	<p>rimetria-diferencial-de-barrido-dsc/</p>
<p>MQ instrumental solutions S.A.C.</p>	<p>Empresa peruana que cuenta con el modelo DSC 300 Caliris. Forma parte del Grupo MAQUITECH S.A.C., compañía peruana que cuenta con más 10 años en el mercado, posicionada en la comercialización de equipos electrónicos de medición. Es importante saber que cuenta con una gamma interesante de Socios Estratégicos como: <i>Linseis, Falc, PG instruments, Carver, entre otros.</i></p>	<p>ht https://www.mqperu.com/analitic/otro-equipo/</p>
<p>CCV -Perkin Elmer</p>	<p>Proveedor con sede en Colombia, ubicado en Bogotá y Medellín , con más de 40 años de experiencia en el suministro de instrumentación analítica, equipos, y soluciones integrales de alta calidad dirigidos a laboratorios de control de calidad, centros de investigación, plantas de producción y universidades y tiene enfoque en petróleo y energía. Ofrece el DSC 6000 y 8000</p>	<p>https://www.ccvgrupo.com.co/</p>

TA Instruments- Waters™	<p>Proveedor internacional, con gran prestigio, con sede más cercana en México y Estados Unidos. Los instrumentos se fabrican según rigurosas normas y con la última tecnología y procesos para obtener los datos más exactos, confiables y reproducibles disponibles. Ofrece los calorímetros: Discovery X3 DSC, DSC 25,250 y 2500 que cumplen el método estandarizado para la medición de Temperaturas de Transición de Ceras de Petróleo.</p>	<p>https://www.tainstruments.com/?lang=es</p>
Torontech	<p>Proveedor internacional con sede principal en Toronto , Canadá. Tiene enfoque en la industria petroquímica y otros. Cuenta con acreditación IAF e ISO 9001:2015. Ofrece el calorímetro de escaneo diferencial de baja temperatura TT-4419 para el estudio de ceras parafínicas.</p>	<p>https://torontech.com/es/Calor%C3%ADmetro-de-barrido-diferencial-de-baja-temperatura/</p>

Nota. Elaboración propia

Al finalizar con la lista de chequeo de los proveedores existentes se procede a evaluar los criterios necesarios para optar por la mejor elección estableciendo los siguiente:

- Calidad del equipo
- Soporte técnico
- Servicio postventa
- Tiempos de entrega
- Experiencia y reputación del proveedor

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Al definir los criterios se procede a realizar la evaluación con el método de modelo de selección de proveedor por factor de ponderación. La selección de proveedores para el equipo de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) requiere una evaluación exhaustiva de una variedad de elementos importantes que tienen un impacto en la calidad y eficacia del equipo que se ha comprado. Al asignar pesos específicos a cada criterio relevante y sustentando el porqué de los mismos en las páginas 92 y 93, el método de selección por factor de ponderación permite una evaluación medianamente objetiva, y el método AHP facilita la comparación inicial entre diferentes proveedores eliminando la subjetividad. Lo anterior se resume en la Tabla 11.

Tabla 11.

Criterio de selección de proveedores

Nombre del criterio	Peso (% de importancia)
Calidad del equipo	45
Experiencia y reputación del proveedor	20
Servicio postventa	15
Tiempo de entrega	10
Soporte técnico	10
Total	100

Nota. Elaboración propia

Los factores clave utilizados para la selección del proveedor del equipo DSC, junto con sus pesos asignados y la escala de evaluación, se muestran en la Tabla 11. El criterio de "calidad del equipo" tiene el mayor peso con un 45%, lo que demuestra su importancia para garantizar la continuidad operativa y la resolución de problemas. La "experiencia y reputación del proveedor" y el "servicio postventa" tienen un peso del 20 % y 15 %.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Por otro lado, el "tiempos de entrega" y "soporte técnico" completan la evaluación con pesos del 10% y 10%, respectivamente, destacando la necesidad de un proveedor confiable y oportuno. Los proveedores pueden clasificarse en una escala de 1 a 5, siendo 1 bajo, 3 es intermedio y 5 el mejor, esto a través de la escala de evaluación. Los resultados obtenidos son presentados en la siguiente Tabla 12.

Tabla 12.

Resultados de selección de proveedores

Proveedor	Modelo de Selección de Proveedores										R
	Calidad del equipo		Soporte técnico		Servicio Postventa		Experiencia y reputación		Tiempo de Entrega		
Intek Group	5	45%	4	10%	4	15%	5	20%	3	10%	4,55
Mettler Toledo	5	45%	4	10%	3	15%	4	20%	3	10%	4,20
Infinitia Industrial Consulting	3	45%	3	10%	3	15%	3	20%	3	10%	3,00
MQ instrumental solutions S.A.C.	3	45%	3	10%	3	15%	3	20%	3	10%	3,00
CCV Perkin Elmer	4	45%	3	10%	4	15%	4	20%	4	10%	3,90
TA INSTRUMENTS	5	45%	4	10%	3	15%	4	20%	3	10%	4,20
TORONTECH	4	45%	3	10%	3	15%	4	20%	1	10%	3,45

Nota. Elaboración propia. R simboliza los resultados obtenidos del modelo

El análisis de la selección de proveedores para el equipo de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) muestra diferencias significativas en las evaluaciones según los criterios establecidos. La puntuación más alta de 4,55 Intek Group muestra su sólida posición en términos de calidad del equipo, soporte técnico, servicio postventa, experiencia y reputación a nivel nacional. En comparación con otros proveedores, este proveedor ha obtenido calificaciones máximas en calidad del equipo, experiencia y reputación, con un excelente soporte técnico. MQ Instrumental Solutions SAC se destaca de forma intermedia en todos los criterios según el punto de vista del autor.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

La puntuación de Mettler Toledo es muy buena, con un puntaje de 4,20, Infinitia Industrial Consulting obtuvo un resultado de 3 que en realidad es algo baja. CCV -Perkin Elmer, un proveedor con sede en Colombia, obtuvo una puntuación de 3,90, tan solo por debajo de Mettler Toledo y TA Instruments, donde también se puede considerar como un proveedor importante con gran prestigio y experiencia en el mercado.

Finalmente, TA Instruments- WatersTM y Torontech son proveedores internacionales con un alto prestigio, avance en tecnología y que es importante considerarlos opción de compra dado sus altos índices de calidad. Cabe aclarar que los proveedores nacionales serían de principal interés dado que se evita los altos de costos de transporte, aspectos legales de importación, etc.

Luego de aplicar el primer modelo establecido se procede con la realización del modelo de Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) el cual fue utilizado para evaluar y comparar factores como el precio, la vida útil y el tiempo de entrega.

La Tabla 13 muestra las evaluaciones de los proveedores en dólares con valores promedio en el mercado según cada uno de los proveedores consultados, que permiten una comparación objetiva y directa entre las opciones disponibles. Hay que tener en cuenta que para aquellos proveedores internacionales el proceso de importación, almacenamiento y distribución aumentarían los costos. Determinar las cifras sería conveniente considerarlas en el caso donde se pretenda realizar la compra con algunos de los mencionados.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Tabla 13.*Criterios de selección de proveedores por el método AHP*

Proveedor	Precio aprox (\$US)	Vida útil	Aprox. tiempo de entrega(meses)
Intek Group	170.000	5	2-4
Mettler Toledo	160.000	5	3-4
Infinitia Industrial Consulting	145.000	5	4-5
MQ instrumental solutions S.A.C.	140.000	5	3-5
CCV -Perkin Elmer	125.000	5	1-2
TA Instruments- WatersTM	175.000	5	2-3
Torontech	180.000	5	3-4

Nota. Los datos mostrados de rango de precios y tiempos de entrega son estimaciones dadas por parte de los asesores comerciales contactados y visita en las respectivas páginas web. Cabe resaltar que los precios fluctúan de acuerdo a la variación del dólar en el tiempo y así mismo, los tiempos de entrega dependen crucialmente del tema de calibración y configuración del equipo para estudiar el punto de cristalización o de nube en crudos y derivados.

Siendo así y de acuerdo con la información recopilada del mercado, CCV -Perkin Elmer ofrece el rango de precios más competitivo como proveedor nacional y un tiempo de entrega de 1 a 2 meses. Los precios de Intek Group y MQ Instrumental Solutions S.A.C. son de \$170000 US y \$140.000 US, respectivamente, pero Intek Group tiene un tiempo de entrega mejor ajustado a la necesidad que Infinitia. Aunque Mettler Toledo tiene el precio \$160.000 US, se destaca en el tiempo de entrega en comparación con Infinitia. Todos los proveedores tienen una vida útil de 5 años, lo que garantiza uniformidad en este criterio. La relación entre el precio y el tiempo de

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

entrega debe ser considerada en la decisión final. De esta manera los resultados de los 3 criterios y el modelo final es descrito a continuación:

Tabla 14.

Criterio(precio) de selección de proveedores por el método AHP

	Intek Group	Mettler Toledo	Infinitia	MQ instrumental solutions S.A.C.	CCV-Perkin Elmer	TA instruments	Torontech
Intek Group	1,00	1,00	0,50	0,14	3,00	1,00	5,00
Mettler Toledo	3,00	1,00	7,00	1,00	0,14	1,00	1,00
Infinitia	2,00	0,14	1,00	1,00	7,00	0,33	3,00
MQ instrumental solutions S.A.C.	7,00	1,00	1,00	1,00	0,33	1,00	7,00
CCV-Perkin Elmer	0,33	7,00	0,14	3,00	1,00	1,00	9,00
TA instruments	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Torontech	1,00	1,00	0,33	0,14	0,11	1,00	1,00
Total	15,33	12,14	12,98	7,29	12,59	6,33	27,00
Matriz Normalizada							Vector Promedio
0,07	0,08	0,04	0,02	0,24	0,16	0,19	0,11
0,20	0,08	0,54	0,14	0,01	0,16	0,04	0,17
0,13	0,01	0,08	0,14	0,56	0,05	0,11	0,15
0,46	0,08	0,08	0,14	0,03	0,16	0,26	0,17
0,02	0,58	0,01	0,41	0,08	0,16	0,33	0,23
0,07	0,08	0,23	0,14	0,08	0,16	0,04	0,11
0,07	0,08	0,03	0,02	0,01	0,16	0,04	0,06
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Nota. Elaboración propia

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Generalmente todas las empresas o proveedores de equipos garantizan una vida útil de 5 años en equipos de este calibre. Se asegura que fábrica de garantía de calidad y bienestar de los equipos dado que existe una dinámica altamente competitiva y en ese sentido no es necesario comparar dicho parámetro entre los proveedores

Tabla 15.

Criterio (tiempo de entrega) de selección de proveedores por el método AHP

	Intek Group	Mettler Toledo	Infinitia	MQ instrumental solutions S.A.C.	CCV-Perkin Elmer	TA instruments	Torontech
Intek Group	1,00	1,00	0,50	1,00	0,11	1,00	5,00
Mettler Toledo	3,00	1,00	7,00	1,00	0,14	1,00	1,00
Infinitia	2,00	0,14	1,00	1,00	0,11	0,33	0,33
MQ instrumental solutions S.A.C.	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	1,00	7,00
CCV-Perkin Elmer	9,00	7,00	9,00	3,00	1,00	1,00	9,00
TA instruments	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Torontech	1,00	1,00	3,00	0,14	0,11	1,00	1,00
Total	18,00	12,14	24,50	8,14	2,81	6,33	24,33
Matriz Normalizada							Vector Promedio
0,06	0,08	0,02	0,12	0,04	0,16	0,21	0,10
0,17	0,08	0,29	0,12	0,05	0,16	0,04	0,13
0,11	0,01	0,04	0,12	0,04	0,05	0,01	0,06
0,06	0,08	0,04	0,12	0,12	0,16	0,29	0,12
0,50	0,58	0,37	0,37	0,36	0,16	0,37	0,39
0,06	0,08	0,12	0,12	0,36	0,16	0,04	0,13
0,06	0,08	0,12	0,02	0,04	0,16	0,04	0,07
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Nota. Elaboración propia

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Debido a la logística del transporte de mercancías de un país a otro y a la posibilidad de que los equipos sufran daños durante el envío, lo que prolonga el plazo estimado de entrega y dificulta el inicio del calendario de servicios por parte del laboratorio de fluidos, los proveedores internacionales se enfrentan a una mayor incertidumbre en cuanto al plazo de entrega respecto a los proveedores nacionales. Los resultados finales del modelo de evaluación se observan en la Tabla 16.

Tabla 16.*Resultados del modelo*

	Precio	Tiempo de entrega	Total
Intek Group	0,11	0,10	0,11
Mettler Toledo	0,17	0,13	0,16
Infinitia	0,15	0,06	0,13
MQ instrumental solutions S.A.C.	0,17	0,12	0,16
CCV-Perkin Elmer	0,23	0,39	0,27
TA instruments	0,11	0,13	0,12
Torontech	0,06	0,07	0,06
Importancia relativa	0,75	0,25	1,00

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con los dos métodos de análisis de selección de proveedores, el modelo de selección de proveedor por factor de ponderación destaca a dos proveedores con sede en Colombia, se destacan CCV-Perkin Elmer por su rápido tiempo de entrega y precio del equipo con una puntuación de 0,27. Por el modelo de AHP (Análisis jerárquico de procesos) y dándole principal énfasis a la calidad del equipo se destaca de igual forma Intek Group, que a pesar de un tiempo de

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

entrega considerable posee una gran experiencia en el mercado y con marcas que garantizan la confiabilidad del buen desempeño del equipo DSC en el tiempo. TA Instruments como proveedor internacional y ampliamente especializado en equipos DSC sería interesante que la Universidad Industrial de Santander lo tome en consideración. A continuación, se muestran algunas especificaciones de los equipos ofrecidos por dos proveedores prestigiosos nacional e internacional más destacados que se podrían calibrar para el estudio de parafinas en crudos y derivados.

Tabla 17.*Equipos DSC con TA Instruments*

Especificaciones	DSC25	DSC250	DSC2500
Estabilidad de la línea base (de -50 °C a 300 °C)	≤100 μW	≤10 μW	≤5 μW
Repetibilidad de la línea base (de -50 °C a 300 °C)	<40μW	<20μW	<10μW
Rango de temperatura	-180°C a 725°C	-180°C a 725°C	-180°C a 725°C
Exactitud de temperatura	±0.1°C	±0.05°C	±0.025°C
Precisión de temperatura	±0.01°C	±0.008°C	±0.005°C
Precisión de entalpía	±0.1%	±0.08%	±0.04%
Tecnología			
software TRIOS™ EasyMass			
Accesorios			
Sistemas de enfriamiento			
Sistema de enfriamiento de aire con aletas (FACS)			
Accesorio de bomba de nitrógeno líquido Discovery (LN2P)			
Recipientes Tzero			
Fotocalorímetro			
Kit de accesorios ópticos			

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Nota. adaptada de la página Web de TA Instruments

Como se mencionó anteriormente, la temperatura es uno de los principales factores que influyen en la precipitación de parafinas en crudos y derivados. Estos equipos, según las especificaciones técnicas, manejan un alto rango de temperaturas, lo que permite evidenciar de mejor forma los cambios de fase. Ambos proveedores suministran equipos de esas características.

Tabla 18.

Equipos DSC PT 1600 con Intek Group*

Parámetros	Descripción
Rango de temperaturas	-150°C hasta 700°C, RT hasta 1600/1750°C
Gama de precios	Depende del uso y su calibración
Sensores	E/K/S/B
Tipos de sensores	DTA / DSC / DSC – Cp
Tasas de calentamiento	0.001 K/min ... 50 K/min
Tasas de enfriamiento	0.001 K/min ... 50 K/min
Rango de medición	+/- 2.5 mW up to +/- 250 mW
Sensor	flujo de calor
Modulación de la temperatura	Sí
Atmósferas	reductor, oxidante, inerte (estático, dinámico)
El vacío	10-5mbar
Interfaz para PC	USB

Nota. Las especificaciones dependen de las configuraciones y dependiente de la temperatura*

Intek Group dentro del catálogo de sus equipos ofrece este modelo adaptable al estudio de cristalización de parafinas, incluyendo los porta muestras, materiales de referencia, registrador de energía y el reactivo.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

16.2.3 Personal capacitado

Es necesario que personal cuente con experiencia, conceptos y que esté familiarizado con el trabajo en laboratorio, además es indispensable contar con un auxiliar de laboratorio que reciba la capacitación respectiva por parte del proveedor. Es necesario también que cuente con conocimientos intermedios en manejo de programas , reportes de datos, y conocimientos del manejo de las muestras a analizar. Asimismo, no es obligatorio contar con algún tipo de certificación o acreditación para el manejo de la prueba, ya que cada proveedor suele suministrar las instrucciones de operación del equipo.

16.2.4 Procedimiento del uso del equipo DSC

Dado que a nivel nacional según el sondeo de mercado realizado, no se encontró un laboratorio acreditado o entidad privada que brinde en específico la prueba no estandarizada para la determinación del punto de cristalización en petróleo crudo y derivados usando la calorimetría diferencial de barrido, ni por parte del proveedor seleccionado un procedimiento que garantice la fiabilidad de los resultados dado que su enfoque es proporcionar una guía de uso del equipo. De acuerdo a esto , se propone como guía inicial el procedimiento citado en la norma ASTM D4419-90 “Standard Test Method for Measurement of Transition Temperatures of Petroleum Waxes by Differential Scanning Calorimetry (DSC)” o “Método de ensayo normalizado para la medición de las temperaturas de transición de ceras de petróleo por calorimetría diferencial de barrido (DSC)”. En el Apéndice A se realiza un resumen de dicha prueba.

17. Estudio Financiero y Económico

El análisis financiero es el último paso en la evaluación de un proyecto; consiste en cuantificar y comparar los beneficios esperados con las inversiones direccionadas a la prestación del servicio con la calorimetría diferencial de barrido. Para ello se tienen en cuenta factores relacionados con la estructura financiera del proyecto, como las inversiones necesarias para ponerlo en marcha, los costos de producción, la venta y financiación de los servicios y los ingresos por la prestación del servicio del laboratorio de fluidos. Para el análisis financiero se tienen en cuenta los siguientes factores:

17.1 Presupuesto de Inversiones

Comprende la inversión inicial constituida por todos los activos fijos, tangibles e intangibles necesarios para operar y el capital de trabajo. Las decisiones que se adoptan en el estudio técnico corresponden a una utilización que debe justificarse de diversos modos desde el punto de vista financiero (Córdoba, 2011).

17.1.1 Inversiones Fijas

Son activos tangibles, Es conveniente especificar y clasificar los elementos requeridos para la implementación del proyecto (capital fijo). Se incluye la inversión de los bienes necesarios para la producción y los servicios y que en este caso las inversiones fijas serían, los equipos y materiales necesarios para prestar el servicio(Córdoba, 2011, p.191).

17.1.2 Inversiones preoperativas o diferidas

Los activos intangibles están referidos al conjunto de bienes propiedad de la empresa, necesarios para su funcionamiento, e incluyen investigaciones preliminares, gastos de estudio, adquisición de derechos, patentes de invención, licencias, permisos, marcas, asistencia técnica, gastos preoperativos y de instalación, puesta en marcha, estructura organizativa, entre otros,

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

(Córdoba, 2011). En este proyecto no se tiene en cuenta esta variable dado que el proveedor ofrece servicio postventa que incluye capacitación , entrenamiento de personal , asistencia técnica , por ende, ese costo no es asumido por la universidad Industrial de Santander.

17.1.3 Capital de trabajo

El capital de trabajo, se define como la diferencia entre el activo circulante y pasivo circulante, está representado por el capital adicional necesario para que funcione una empresa, es decir, los medios financieros necesarios para la primera producción mientras se perciben ingresos: materias primas, sueldos y salarios, cuentas por cobrar, almacén de productos terminados y un efectivo mínimo necesario para sufragar los gastos diarios de la empresa. La inclusión del capital de trabajo inicial en las inversiones se justifica en aquellos proyectos donde el proceso de producción es largo(Córdoba, 2011, p.192).

Para el caso de este proyecto, el capital de trabajo no es contemplado, debido a que la compra del equipo de calorimetría diferencial de barrido se realiza principalmente por razones académicas. Además, la implementación de la prueba no requiere inversiones grandes de dinero durante su desarrollo fuera del costo inicial del equipo que si implica una inversión alta, y los ingresos obtenidos a razón de la prestación del servicio a terceros será el valor agregado que presenta el proyecto con el fin de mostrar la factibilidad de implementar la prueba en cuestión.

En la Tabla 19 se puede observar el presupuesto aproximado con el que se puede iniciar la adquisición del equipo .

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Tabla 19.*Presupuesto de las inversiones a realizar*

Tipo de inversión	Precio (\$COP)
Inversiones fijas	
Equipo DSC con los elementos necesarios (porta muestras , materiales de referencia, registrador de energía y el reactivo)	\$697.000.000
Inversiones diferidas	
Gastos de montaje e instalación	\$0
Gastos de inducción y capacitación	
Capital de trabajo	
Activos corrientes	\$0
Flujo de inversión	\$697.000.000

Nota. El valor corresponde al proveedor Intek Group Colombia donde incluye el precio de los elementos necesarios para la ejecución de la prueba. Cabe resaltar que el valor del dólar fluctúa por muchos factores , que a su vez influyen en que el precio del equipo y demás variables no sea estable en el tiempo.

17.2 Costos de producción

Los costos de producción representan todas las erogaciones realizadas desde la adquisición de la materia prima hasta su transformación en artículos finales para el consumo. También incluyen a los servicios que se venden a los consumidores, como es el caso de la energía eléctrica, servicio de telefonía, entre otros (Córdoba, 2011). Estos se dividen en:

17.2.1 Gastos de administración

Incluyen los costos y gastos que se requieren para dirigir y operar la empresa. Entre los renglones que se incluyen se encuentran salarios de directores, gerentes, secretarias, mensajeros, el material necesario para realizar la actividad de administración (papelería, gastos de vehículos

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

de transporte que usan los administrativos, gastos de mantenimiento de los equipos de oficina, así como la depreciación de los equipos utilizados en la administración (Morales Castro & Morales Castro, 2009, p.164). En este caso no es necesaria la contratación de nuevo personal para prestar el servicio dado que la misma escuela EIP tiene su propio personal contratado, lo que evita que la Universidad genere algún desembolso por ello.

17.2.2 Gastos de fabricación

En este proyecto incluyen las materias primas, como son reactivos(nitrógeno), muestras de crudo y de derivados del petróleo a analizar para aplicar la prueba como práctica académica y otros insumos de ser necesarios. Se incluye también materiales indirectos como lo es la papelería (entrega de informes) y elementos de protección personal (EPP). Finalmente se incluyen otros gastos como por ejemplo el mantenimiento o reparación de los equipos además los servicios públicos, así como de también incluir el personal responsable de la práctica académica

17.2.3 Gastos de ventas

Corresponden a los gastos derivados de la distribución y comercialización que se realizan para generar las ventas; por ejemplo, sueldo del personal que las supervisa, sueldo de vendedores, viáticos, gastos de publicidad y promoción, gastos de mantenimiento de los equipos utilizados para la actividad de venta de los productos, entre otros (Morales Castro & Morales Castro, 2009, p.165). En este proyecto estos gastos no se consideran ya que se trata de la prestación de un servicio. Otros costos importantes para considerar son los de producción mostrados en la Tabla 20

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Tabla 20.*Costos de producción*

Concepto	Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Mantenimiento Anual	Costo de mantenimiento y soporte técnico anual	1.500.000	1	1.500.000
Insumos y Consumibles	Materiales de prueba específicos para el DSC (anuales) y EPP	1.300.000	1	1.300.000
Energía y Utilidades	Costos de energía para operación del equipo (anuales)	2.000.000	1	2.000.000
Seguro del Equipo	Seguro anual para protección contra daños	2.500.000	1	2.500.000
Depreciación del Equipo	Valor estimado de depreciación anual	1.500.000	1	1.500.000
Gastos Administrativos	Costos indirectos (personal administrativo, logística)	0		0
Total de costos de producción anuales				8.800.000

Nota. Estos datos fueron tomados a través de internet por distintas entidades con la idea de simular el total de los costos en la operación. En la Tabla 21 se evidencian los costos totales (inversiones y costos de producción).

Tabla 21.*Costos totales*

Costo	Precio (\$COP)
Inversión equipo	\$697.000.000
Costos de producción	\$8.800.000
Total	\$705800000

17.3 Ingresos por la prestación del servicio

Debido a la fluctuación del mercado por sus altas y bajas se presenta incertidumbre con el futuro por ende en esta parte estudio se proponen dos posibles escenarios: el académico y el comercial, a través de este proceso, se busca identificar de manera más precisa a quiénes y cómo

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

se les ofrecerá el servicio para la prueba específica de determinación del punto de nube y de cristalización en crudos y derivados usando calorimetría diferencial de barrido, llevado a cabo en el laboratorio de fluidos de la escuela de ingeniería de petróleos.

17.3.1 El escenario académico

Está enfocado principalmente en el aprendizaje y la adquisición de conocimientos por parte de los estudiantes en propiedades de los fluidos y laboratorios de los fluidos. Tanto estudiantes como investigadores y tesisistas son los principales clientes que por sus funciones de extensión y misionales del programa se podrían beneficiar de la prueba.

Con estimaciones futuras considerando que la Universidad Industrial de Santander siga posesionada como la mejor en el programa de ingeniería de petróleos y atraiga clientes, que la industria petrolera siga teniendo inversión y movimiento competitivo en el mercado, que el número total de estudiantes inscritos en el curso de laboratorio de fluidos sea de aproximadamente 50 por semestre, divididos en 10 grupos de trabajo para realizar las pruebas correspondientes al curso, lo que requeriría 10 pruebas DSC por semestre y 20 pruebas por año en total.

El costo de realizar las 20 pruebas sería de \$27,000,000 COP, considerando que según la investigación abordada en este proyecto no existe un laboratorio acreditado o universidad que brinden la prueba no estandarizada usando DSC, se establece un valor inicial de \$1.350.000 por prueba, con el fin de analizar la sensibilidad de ventas y prestación del servicio en el tiempo.

17.3.2 Escenario económico

Ecopetrol y otras empresas del sector son clientes potenciales en la industria petrolera, que evalúan la calidad, pureza y facilidad de transporte y producción de petróleo crudo y derivados utilizando el método presentado en este proyecto. Organizaciones privadas y públicas reconocerían al laboratorio de fluidos de la EIP como una institución proveedora de este tipo de prueba bajo el

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

método de calorimetría diferencial de barrido. Comercialmente se establecen dos focos que pretenden atrapar una porción de la demanda del servicio mostrados en la Tabla 22.

- Contar con la fidelización de 8 organizaciones que requieran el servicio de determinación del punto de cristalización y de nube en crudos y derivados usando calorimetría diferencial de barrido y que contraten el servicio en el laboratorio de fluidos de la EIP por su gran reconocimiento a nivel nacional.
- Se venderá 1 prueba por organización mensual, es decir 12 pruebas al año por empresa y para un total de 96 pruebas en los dos semestres.

Tabla 22.

Escenario comercial

Demanda	Academia	Terceros	Total por semestre	Total por año
Número de pruebas a realizar	10	48	58	116

Nota. El costo de realizar los 96 servicios a terceros tendría un valor de \$129.600.000 COP, los 20 académicos con un valor de \$ 27.000.000 COP y un total de venta del servicio de \$156.600.000. Además, se considera que, por su ubicación geográfica y presencia en el mercado petrolero la UIS puede captar de las compañías presentes en la región la prestación del servicio.

17.4 Indicadores de Evaluación Financiera

La rentabilidad de un proyecto de prefactibilidad se puede medir de muchas formas distintas: en unidades monetarias, en porcentaje o en tiempo que demora la recuperación de la inversión. Todas ellas se basan en el concepto del valor del dinero en el tiempo, que considera que siempre existe un costo asociado a los recursos que se utilizan en el proyecto, ya sea de oportunidad (otros usos) o financiero (préstamo) (Córdoba, 2011,p.231).

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

17.4.1 Valor presente neto (VAN)

El valor presente neto es simplemente la suma actualizada al presente de todos los beneficios, costos e inversiones del proyecto. A efectos prácticos, es la suma actualizada de los flujos netos de cada período. A su vez es el método más conocido y el más aceptado. Mide la rentabilidad del proyecto en valores monetarios que exceden a la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión (Córdoba, 2011,p.236).

Tabla 23.*Interpretación del VAN*

Valor	Significado	Decisión a tomar
VAN > 0	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto puede aceptarse
VAN < 0	La inversión produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto debería rechazarse
VAN = 0	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores

$$VAN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

Fórmula

FNE_n: Flujo neto de efectivo en el período n

P: Inversión inicial en el año cero

i: Tasa de descuento

Nota. Adaptado de *formulación y evaluación de proyectos*, por Córdoba. M, 2011

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

A continuación, se presentan los cálculos realizados para el escenario comercial en donde se establece que el proyecto tendrá una TIR de 5% anual y recuperará la inversión en tres diferentes escenarios:

- El optimista donde la universidad industrial de Santander se ha posicionado de manera competitiva y participativa dentro del mercado de compañías que prestan este servicio de determinación del punto de cristalización en crudos y derivados con DSC, lo cual permitiría que se recuperará la inversión en 8 años.
- El intermedio donde la aceptación de la universidad industrial de Santander como compañía que presta el servicio de determinación del punto de cristalización en crudos y derivados con DSC dentro del mercado no fue considerablemente alta dando lugar a que la inversión se recuperará en 10 años
- El pesimista donde la universidad industrial de Santander como compañía que presta el servicio de determinación del punto de cristalización en crudos y derivados con DSC, no se posicionó de manera adecuada y tuvo poco reconocimiento generando que la inversión se recuperará en 12 años.

17.4.2 Cálculos para los valores del VPN de cada escenario

Con una tasa interna de retorno del 5% anual en los 3 escenarios planteados el VAN es igual a cero . Este procedimiento permite determinar el número mínimo de pruebas para recuperar la inversión y el movimiento de dinero anualmente. Para el caso de este proyecto de investigación se establece que el Valor Presente Neto sea igual a cero, asumiendo recuperar la inversión inicial en los primeros años tal como se muestra a continuación.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

- En el escenario optimista se muestra el siguiente cálculo

$$-\$705.800.000 + \frac{\$121.500.000}{(1 + 0,05)^1} + \frac{\$121.500.000}{(1 + 0,05)^2} + \frac{\$121.500.000}{(1 + 0,05)^3} + \frac{\$121.500.000}{(1 + 0,05)^4} + \frac{\$121.500.000}{(1 + 0,05)^5} + \frac{\$121.500.000}{(1 + 0,05)^6} + \frac{\$121.500.000}{(1 + 0,05)^7} + \frac{\$121.500.000}{(1 + 0,05)^8} \cong 0$$

- En el escenario intermedio se muestra el siguiente cálculo

$$-\$705.800.000 + \frac{\$94.500.000}{(1 + 0,05)^1} + \frac{\$94.500.000}{(1 + 0,05)^2} + \frac{\$94.500.000}{(1 + 0,05)^3} + \frac{\$94.500.000}{(1 + 0,05)^4} + \frac{\$94.500.000}{(1 + 0,05)^5} + \frac{\$94.500.000}{(1 + 0,05)^6} + \frac{\$94.500.000}{(1 + 0,05)^7} + \frac{\$94.500.000}{(1 + 0,05)^8} + \frac{\$94.500.000}{(1 + 0,05)^9} + \frac{\$94.500.000}{(1 + 0,05)^{10}} \cong 0$$

- En el escenario intermedio se muestra el siguiente cálculo

$$-\$705.800.000 + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^1} + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^2} + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^3} + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^4} + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^5} + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^6} + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^7} + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^8} + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^9} + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^{10}} + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^{11}} + \frac{\$81.000.000}{(1 + 0,05)^{12}} \cong 0$$

Importante resaltar que la igualación del VAN a cero no significa que la Universidad Industrial de Santander no va a tener beneficios, significa sí que no va a generar riqueza dado que la tasa de oportunidad del 5% solo alcanzará para compensar el capital que se decida invertir en el equipo de Calorimetría Diferencial de Barrido. Dado que el propósito de este proyecto es netamente con fines académicos se permite dicha igualación del VAN a cero. Es importante aclarar que el VAN implícitamente supone que la tasa a la cual pueden ser reinvertidos los flujos de efectivo es la tasa de oportunidad (Álvarez, 2017).

17.5 Resultados del análisis de escenarios

El costo del equipo de calorimetría diferencial es bastante alto de forma general en todos los proveedores existentes en el mercado. Al ser un equipo costoso la prestación del servicio implica grandes retos de captación de clientes y de estrategias internas por parte de la escuela de ingeniería de petróleos. Se quiere de un alto número de pruebas para recuperar la inversión, destacando el tiempo y pruebas de laboratorio anuales presentados en la Tabla 24.

Tabla 24.

Resultados escenarios comerciales

Escenario	Tiempo (años)	Cantidad de pruebas mínimas anuales	Valor anual (COP)
Optimista	8	90	\$121.500.000
Intermedio	10	70	\$94.500.000
Pesimista	12	60	\$81.000.000

18. Implementación del sistema de gestión en el laboratorio de fluidos

Con el establecimiento de políticas y procedimientos que les permitan proporcionar bienes y servicios que satisfagan los requisitos, así como dar confianza a sus clientes y sostenibilidad a las organizaciones, éstas pueden planificar, llevar a cabo, supervisar y mejorar continuamente las actividades necesarias para cumplir su misión y sus objetivos. Esto se conoce como sistema de gestión de calidad y por sus siglas SGC. Toda la información aquí presentada se tomó de la ONAC en su página web siguiendo la ruta de acreditación y sus controles requeridos.

En este capítulo se documentan los controles requeridos para la implementación del sistema de gestión de calidad basado en la NTC-ISO/IEC 17025:2017 para ensayos de laboratorio, con el propósito de garantizar la calidad de las pruebas y la veracidad de sus resultados.

Así, el laboratorio de fluidos la Universidad Industrial de Santander podrá competir en el mercado ofreciendo el servicio de la determinación del punto de cristalización de parafinas en crudos y derivados usando DSC , cumpliendo todos los requisitos y normas de calidad, fiabilidad y eficacia en todas las operaciones realizadas en sus instalaciones gracias a la implantación del SGC. Esto también aumentará el prestigio regional y nacional de la escuela de ingeniería de petróleos en su proceso de acreditación al obtener el reconocimiento de un organismo autorizado (ONAC) por poseer los conocimientos técnicos necesarios para llevar a cabo las tareas asignadas.

18.1 Norma Técnica Colombiana ISO/IEC 17025:2017

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) es un organismo nacional de normalización de Colombia que se encarga de reproducir las normas técnicas en todo el país, así como de certificar productos y servicios para empresas o terceros. INCOTEC representa a Colombia en grupos internacionales de normalización, incluida la ISO.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

La NTC-ISO/IEC 17025:2017 especifica una serie de requisitos que los laboratorios deben cumplir para satisfacer las normas de calidad. Estos requisitos hacen hincapié en cinco áreas clave: requisitos generales, requisitos relacionados con la estructura, requisitos relacionados con los recursos, requisitos del proceso y requisitos del sistema de gestión. Los requisitos de la norma NTC-ISO/IEC 17025:2017 se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25.

Requisitos de la NTC ISO/IEC 17025:2017

Requisitos	Descripción
Requisitos generales	Imparcialidad
	Confidencialidad
Requisitos relativos a la estructura	Requisitos legales
	Requisitos de los clientes y partes interesadas
	Personal de laboratorio
Requisitos relativos a los recursos	Instalaciones y condiciones ambientales
	Equipamiento
	Trazabilidad metrológica
	Productos y servicios suministrados externamente
	Revisión de solicitudes, ofertas y contratos
Requisitos del proceso	Selección, verificación y validación de métodos
	Muestreo
	Manipulación de los ítems de ensayo y calibración
	Registros técnicos

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

	Evaluación de la incertidumbre de medición
	Aseguramiento de la validez de los resultados
	Informe de resultados
	Quejas
	Trabajo no conforme
	Control de los datos y gestión de la información
Requisitos del sistema de gestión	Opción A: requisitos de gestión
	Opción B: cumplimiento de ISO 9001

Nota. Elaboración propia con base a la información de la NTC ISO/IEC 17025:2017 Fuente: (ICONTEC, 2017)

Antes de pasar por el proceso de acreditación, se sugiere establecer una tabla de comprobación para evaluar si el laboratorio de fluidos de la escuela de ingeniería de petróleos cumple los requisitos de la norma NTC ISO/IEC 17025:2017 según la Tabla 26. Se definieron cinco criterios para cumplir los requisitos, que se muestran a continuación:

- **Estado 1:** el requisito no posee ningún desarrollo
- **Estado 2:** el requisito ha sido desarrollado, pero no está documentado
- **Estado 3:** el requisito se encuentra documentado, pero no implementado
- **Estado 4:** el requisito se encuentra en alguno de estos procesos: análisis, revisión, aprobación, auditoría interna o en acciones correctivas
- **Estado 5:** el requisito es cumplido en su totalidad

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Tabla 26.

Lista de chequeo de requisitos NTC ISO/IEC 17025:2017

Requisitos	Estado					Descripción
	1	2	3	4	5	
Requisitos Generales	Imparcialidad					Se garantiza que el personal o las actividades del laboratorio se realicen sin presiones indebidas (comerciales, financieras u otras), sin conflictos de interés.
	Confidencialidad					Se garantiza que la información del cliente, la información técnica del laboratorio este salvaguardada, para ellos se establecen unos acuerdos legalmente ejecutables para garantizar la confidencialidad de la información
Requisitos Relativos a la Estructura	Requisitos legales					Se identifica los requisitos legales que el laboratorio debe cumplir
	Requisitos de los clientes y partes interesadas					Se define las funciones y las autoridades del personal que tienen que ver con las actividades críticas del sistema de gestión.
Requisitos Relativos a los Recursos	Personal					Se garantiza que el personal cuenta y mantiene la competencia necesaria para el desarrollo de las actividades que afectan la confiabilidad de los resultados.
	Instalaciones y condiciones					Las instalaciones y las condiciones ambientales del laboratorio son las adecuadas para las actividades que se desarrollan dentro de él y no afectan adversamente la validez de los resultados.
	Equipamiento					Se tiene acceso al equipamiento idóneo, incluidos, pero sin limitarse a, instrumentos de medición, software, patrones de medición, materiales de referencia, datos de referencia, reactivos, consumibles y aparatos auxiliares que se requieran para el desarrollo de las actividades y puedan influir en sus resultados.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

	Trazabilidad metrológica	Se establece y mantiene la trazabilidad metrológica de los resultados de las mediciones por medio de una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medición, vinculándolos con la referencia apropiada.
	Productos y servicios suministrados externamente	Se asegurará de que los productos y servicios suministrados externamente ya sea por parte de proveedores o subcontratistas, que afectan a las actividades del laboratorio, son adecuados y utilizados únicamente cuando estos productos y servicios: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Están previstos para la incorporación a las actividades propias de laboratorio. ▪ Son suministrados, parcial o totalmente, directamente al cliente por el laboratorio, como se reciben del proveedor externo. ▪ Son usados para apoyar la operación del laboratorio.
Requisitos del proceso	Revisión de solicitudes, ofertas y contratos	Antes de comprometerse con un servicio el laboratorio evalúa, revisa y garantiza que cuenta con la competencia necesaria y recursos para aplicar correctamente el procedimiento a ofertar
	Selección, verificación y validación de métodos	Se cuenta con los siguientes tres procedimientos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Un procedimiento para el desarrollo de la actividad ▪ Un procedimiento para evaluar la incertidumbre. ▪ Un Procedimiento para el análisis estadístico de los datos
	Muestreo	Se garantiza que la muestra que se tomo es una muestra representativa y se puede demostrar al especificar que tiene un procedimiento de muestreo
	Manipulación de los ítems de ensayo o calibración	Se cuenta con un procedimiento para el transporte, recepción, manipulación, protección, almacenamiento, conservación, disposición y devolución de los ítems de ensayo o calibración

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

	Registros técnicos	Se asegura que los registros técnicos para cada actividad de laboratorio contienen los resultados, el informe y la información suficiente para facilitar, si es posible, la identificación de los factores que afectan al resultado de la medición y su incertidumbre de medición asociada
	Evaluación de la incertidumbre de medición	Se incluye todas las posibles fuentes significativas o que afecten la incertidumbre, para ello cuantifica y compara las fuentes con los demás elementos.
	Aseguramiento de la validez de los resultados	Se cuenta con un procedimiento para hacer seguimiento a la validez de los resultados a través del registro de los datos obtenidos para detectar tendencias y aplicar técnicas estadísticas cuando sea posible a la revisión de los resultados.
	Informe de resultados	Se presentan los resultados de manera exacta, clara, inequívoca y objetiva, normalmente en un informe, y se incluye toda la información acordada con el cliente y la necesaria para la interpretación de los resultados y toda la información exigida en el método utilizado.
	Quejas	Se establece un procedimiento documentado para recibir, evaluar y tomar las decisiones acerca de las quejas, además debe estar disponible para que el cliente lo pueda consultar.
	Trabajo no conforme	Se establece un procedimiento para el trabajo no conforme
	Control de los datos y gestión de la información	Se tiene acceso a los datos y a la información que sea necesaria para llevar a cabo las actividades.
Requisitos del Sistema de Gestión	Opción A: Requisitos de gestión	Además de los requisitos anteriores también debe contar con un control de la documentación del sistema de gestión, un control de registros, tomar acciones para abordar riesgos y oportunidades, identificar y seleccionar oportunidades de mejora, tomar acciones correctivas, realizar auditorías internas y revisiones por parte de la dirección.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Nota. Elaboración propia con base a la información de la NTC ISO/IEC 17025:2017

Fuente: (ICONTEC, 2017)

19. Guía del proceso de acreditación del laboratorio

La ONAC representa al Organismo Nacional de Acreditación de Colombia, el cual fue establecido en 2009 y funciona bajo la supervisión del gobierno colombiano. Su principal misión es asegurar que los organismos encargados de evaluar la conformidad (tales como laboratorios, entidades de certificación y de inspección) cumplan con los estándares de calidad internacionales. Este propósito se logra mediante el proceso de "acreditación".

La acreditación es un instrumento estratégico que apoya el crecimiento económico al respaldar los hallazgos o certificaciones producidas por laboratorios certificados, certificadores o inspectores en diversos sectores industriales para las empresas, ofreciendo así un sello de aprobación de la seguridad y calidad de los productos o servicios. El Decreto Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria y Turismo reconoció a ONAC como la única autoridad nacional de acreditación en Colombia.

La Organización Nacional de Acreditación de Colombia, en su rol de entidad externa, certifica que los Organismos de Evaluación de la Conformidad (OEC) que afirman poseer la competencia correspondiente, llevan a cabo eficazmente las actividades incluidas en el alcance acreditado, cumpliendo con los requisitos establecidos en normas internacionales. Esto se realiza con el propósito de garantizar la confianza en los productos y servicios ofrecidos en el mercado.

La certificación es una tarea esencial, junto con la metrología y la normalización, para salvaguardar los intereses de los consumidores en lo que respecta a la calidad y seguridad. Cuando un laboratorio u organización obtiene la acreditación de ONAC, significa que ha pasado por un riguroso proceso de evaluación para determinar si cumple con normas internacionales específicas,

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

como la ISO/IEC 17025 o la ISO 15189. Estas normas incluyen desde aspectos técnicos, como la precisión y exactitud de los equipos, hasta elementos administrativos, como la formación y capacitación del personal.

19.1 Alcance de la acreditación

Los límites de la acreditación deben estar claramente establecidos, precisos y sin ambigüedades, de modo que brinden a los clientes del Organismo de Evaluación de la Conformidad (OEC) acreditado y a otras partes interesadas información específica y precisa sobre la competencia técnica demostrada.

Al solicitar la acreditación, el Organismo Evaluador de la Conformidad (OEC) debe proponer el alcance para el cual solicita ser acreditado. Este será revisado por ONAC y, de ser necesario, se solicitarán ajustes o modificaciones al OEC para cumplir con las normas de acreditación. Al aceptar y pagar la cotización del servicio de acreditación, el OEC reconoce como definitivo el ámbito con los ajustes sugeridos por ONAC. Esta, llevará a cabo las evaluaciones únicamente dentro de lo acordado con el OEC y la decisión de acreditación estará basada en el ámbito aprobado en el informe final.

El alcance se definirá con referencia a:

- El tipo de OEC.
- El propósito de la evaluación de la conformidad
- Los documentos de referencia utilizados para llevar a cabo la evaluación de la conformidad pueden ser normas nacionales o internacionales, reglamentos técnicos u otros documentos autorizados.
- Áreas económicas, industriales o técnicas de ensayo y calibración pertinentes
- Clases o sistemas de certificación, según corresponda

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

- Lugares donde se llevan a cabo las actividades de verificación de cumplimiento

19.2 Mecanismos normativos de verificación (Acreditación)

Estos son los criterios que los Organismos de Evaluación de la Conformidad (OEC) deben satisfacer para obtener la acreditación de la Organización Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) y para garantizar la validez continua de su acreditación.

19.2.1 Criterios generales

Los lineamientos generales para la obtención de la acreditación se establecen conforme al sistema de acreditación descrito en los documentos normativos descritos en la Tabla 27.

Tabla 27.

Criterios generales por esquema de acreditación ISO/IEC¹²

Documento normativo	Enfoque
ISO/IEC 17021-1	Requisitos para los organismos que realizan la auditoría y la certificación de sistemas de gestión.
ISO/IEC 17065	Requisitos para organismos que certifican producto, procesos y servicios
ISO/IEC 17024	Requisitos generales para organismos que realizan certificación de personas
ISO/IEC 17020	Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de organismos que realizan la inspección.
ISO/IEC 17025	Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración
ISO/IEC 17043	Requisitos generales para ensayos de aptitud
ISO/IEC 17029	Principios generales y requisitos para los organismos de validación y verificación

¹² Organización Internacional de Normalización/ Comisión Electrotécnica Internacional

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

Nota. Dentro de los requisitos generales la ONAC adopta y aplica los requisitos establecidos en los documentos mandatorios establecidos por las organizaciones : Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC), Foro Internacional de Acreditación (IAF), Cooperación Interamericana de Acreditación (IAAC). Adaptada de *Reglas del servicio de acreditación, RAC-3.0-01 Versión 10* , (p.02), por Organización Nacional de Acreditación de Colombia , s.f.

19.2.2 Criterios específicos

Para atender requerimientos particulares de un sector, los lineamientos de acreditación generales pueden ser enriquecidos con criterios particulares para una industria o tarea de evaluación de conformidad, detallados en documentos conocidos como "Criterios Específicos de Acreditación (CEA)" descritos en la Tabla 28 que son aprobados por la ONAC. Este organismo solicitará la colaboración de las partes involucradas para contribuir en la elaboración de los CEA.

Con el fin de satisfacer los estándares de acreditación a nivel nacional, es decir, aquellos que no se rigen por normativas internacionales, ONAC establece los "Criterios Específicos de Acreditación / Lineamientos de Acreditación (CEA/LA)", los cuales actúan como pautas o estándares para la acreditación y aplicación en el laboratorio de fluidos de la escuela de ingeniería de petróleos.

Tabla 28.

Criterios específicos de Acreditación / Lineamiento de acreditación

Documento normativo	Enfoque
CEA-3.0-02	Criterios específicos de acreditación trazabilidad metrológica
CEA-3.0-04	Política para la participación en ensayos de aptitud (EA) en laboratorios
CEA-3.0-06	Criterios específicos para la estimación y declaración de la incertidumbre de medición en la calibración

CEA-3.0-16	Criterios específicos de acreditación para proveedores de ensayos de aptitud-PEA
------------	--

Nota. Es crucial destacar que estos criterios pueden ser ampliados o actualizados según lo requieran los programas de acreditación . Adaptada de *Reglas del servicio de acreditación, RAC-3.0-01 Versión 10 , (p.03)*, por Organización Nacional de Acreditación de Colombia , s.f.

20. Proceso para la solicitud de acreditación

El proceso de solicitud de acreditación en un laboratorio puede variar dependiendo de la normativa y los requisitos específicos de acreditación que se deban cumplir. Sin embargo, continuación se presentan algunos pasos generales que suelen estar involucrados en el proceso de solicitud de acreditación:

20.1 Documentos complementarios

Además de cumplir con las regulaciones vigentes, el OEC debe respetar las obligaciones establecidas en las versiones más recientes de los siguientes documentos:

- Reglamento de uso de los símbolos de acreditado y/o asociado
- Criterios generales y específicos, de acuerdo con el esquema de acreditación solicitado
- Las tarifas de los servicios de acreditación
- Los documentos normativos de referencia utilizados en los esquemas de acreditación.
- Los lineamientos del esquema de acreditación para el que está solicitando se otorgue o amplíe la acreditación.

Otros documentos complementarios, en su versión vigente:

- Los estatutos de ONAC.
- Código de buen gobierno de ONAC

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

- Procedimiento de revisión de solicitudes para la prestación de los servicios de acreditación de OEC
- Procedimiento para programar los servicios de evaluación a OEC
- Entre otros descritos en reglas del servicio de acreditación, RAC-3.0-01 Versión 10

20.2 Solicitud de acreditación

Para solicitar acreditación en los esquemas cubiertos por SIPSO¹³, se debe acceder al micrositio de SIPSO en la página web de ONAC y seguir las instrucciones proporcionadas en los materiales de apoyo disponibles. Para esquemas no incluidos en SIPSO, la solicitud se realiza enviando el formulario correspondiente diligenciado y firmado por el representante legal a través de correo electrónico a onac@onac.org.co, adjuntando los documentos necesarios y realizando el pago correspondiente.

Al presentar la solicitud, el representante legal se compromete a cumplir con las reglas de acreditación de ONAC y del Decreto 1074 de 2015, proponer el alcance de la acreditación, cumplir con los criterios de acreditación, colaborar con el equipo evaluador, asumir los costos de evaluación y acreditación, y seguir las tarifas establecidas. Si se solicita acreditación en varios esquemas, cada solicitud debe ser separada. Es responsabilidad del solicitante asegurarse de que el alcance de acreditación solicitado cumpla con los requisitos de la autoridad competente en caso de implicaciones legales o regulatorias.

¹³ Sistema de Información de Prestación del Servicio ONAC

21. Procedimiento de Acreditación

El proceso hace referencia a la serie de pasos y condiciones que una entidad debe seguir para obtener la acreditación, la cual es el reconocimiento oficial de su competencia para llevar a cabo actividades específicas. Este proceso es esencial para asegurar la fiabilidad y calidad de los resultados de pruebas realizadas en laboratorios, especialmente en determinaciones críticas como el punto de nube y de cristalización en el petróleo y sus productos.

21.1 Revisión de la solicitud

El proceso de solicitud de acreditación implica el pago de una tarifa inicial y el cumplimiento de requisitos de revisión por parte de ONAC. Una vez recibida la solicitud y verificado el pago, ONAC revisará la documentación para comprobar si la actividad es susceptible de ser acreditada, si cumple con el esquema solicitado y si la documentación está completa. En casos especiales, se puede solicitar información adicional.

Si la documentación no está completa, se pedirá al solicitante que la complete antes de avanzar en el proceso. El OEC tiene 10 días hábiles para responder a observaciones; de lo contrario, se entenderá desistida la solicitud. Si en cualquier fase del proceso el OEC no responde a un requerimiento de información dentro de los plazos establecidos, se considerará desistida la solicitud. Es fundamental que el solicitante cumpla con los requisitos y plazos establecidos para evitar el rechazo de la solicitud de acreditación por parte de ONAC.

21.2 Cotización de la acreditación

Una vez que se cuente con toda la información necesaria para comenzar el servicio, se le enviará al solicitante una estimación de los gastos asociados al proceso inicial de evaluación, la cual estará basada en las tarifas establecidas en el documento de precios de los servicios de acreditación, para que sea aprobada.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

El precio del servicio incluye los siguientes aspectos:

- El equipo evaluador revisará los documentos dentro del alcance de la solicitud de acreditación para evaluar su conformidad con los criterios correspondientes, y elaborará un plan de evaluación en el lugar indicado.
- El equipo evaluador (liderado por un líder de equipo y/o expertos técnicos) dedica durante la evaluación en las instalaciones de un Organismo de Evaluación de la Conformidad (OEC). Este proceso implica evaluar la competencia técnica, el sistema de gestión y realizar atestiguamiento para confirmar la capacidad del OEC de llevar a cabo con éxito las actividades especificadas en su alcance de acreditación y en los lugares donde se desarrollan dichas actividades.
- La revisión del Plan de Correcciones y Acciones Correctivas (PCAC) propuesto por el OEC implica analizar las medidas propuestas para abordar las no conformidades identificadas. Este proceso incluye evaluar la efectividad y pertinencia de las acciones correctivas para garantizar que se resuelvan adecuadamente las deficiencias detectadas. La revisión del PCAC es un paso crucial en el proceso de mejora continua de la organización.
- La tarifa no cubre los tiquetes ni los desplazamientos entre la sede del evaluador, el OEC y el regreso, tampoco los gastos de alojamiento si fueran necesarios. Una vez aceptada la cotización, el solicitante debe abonar la cantidad estipulada en la cotización para la evaluación inicial y enviar a ONAC el contrato para la prestación del servicio de evaluación de acreditación, firmado por el representante legal. Una vez recibido el pago y el contrato debidamente firmado, ONAC procederá a programar la evaluación según el procedimiento para programar los servicios de evaluación a OEC.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

21.3 Designación del equipo evaluador y programación de la evaluación

ONAC designa a un equipo evaluador de profesionales técnicos competentes para llevar a cabo la evaluación de acreditación. El número de integrantes dependerá del alcance solicitado, con un líder de equipo responsable y otros evaluadores necesarios. El solicitante conocerá previamente a los evaluadores y las fechas de evaluación. Si el OEC objeta a algún miembro por posibles conflictos de interés, debe hacerlo por escrito y fundamentar su objeción. En tal caso, ONAC analizará y comunicará su decisión al solicitante.

21.4 Proceso de evaluación

El procedimiento de evaluación se llevará a cabo de la siguiente manera:

21.4.1 Revisión de la documentación y los registros

18.4.1.1 Evaluaciones de otorgamiento. Consiste en la revisión de la documentación y registros presentados por el Organismo de Evaluación de la Conformidad (OEC) para evaluar si su sistema cumple con las normas y requisitos de acreditación de REG. El equipo evaluador sigue el procedimiento para evaluar y los instructivos específicos de cada esquema de acreditación. Durante esta fase, se pueden identificar no conformidades que podrían llevar a la decisión de no continuar con la evaluación in situ. En tal caso, se informarán las no conformidades al OEC por escrito. Por lo general, esta etapa se lleva a cabo en la sede de la entidad acreditadora o del líder de equipo, pero en circunstancias excepcionales, como la complejidad del alcance o la cantidad de información recibida, se puede realizar en las instalaciones del OEC, previa autorización de la Coordinación Sectorial.

18.4.1.2 Evaluaciones de seguimiento. En esta etapa, el líder de equipo revisará el informe de evaluación de otorgamiento y las recomendaciones del comité de acreditación, así como informes de evaluaciones anteriores, quejas contra el OEC, reportes de cambios en el OEC

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

y otra información relevante, con el fin de evaluar posibles cambios que hayan afectado las condiciones de acreditación. Esta revisión se llevará a cabo en la sede de ONAC o en la ubicación del líder de equipo, salvo autorización de la Coordinación Sectorial para realizarla en las instalaciones del OEC.

18.4.1.3 Reevaluaciones. En esta etapa se revisa la documentación y registros del Organismo de Evaluación de la Conformidad (OEC) para asegurar que su sistema cumple con las normas y requisitos de acreditación. Se examinan informes de evaluación anteriores, quejas, cambios en el OEC y otra información relevante. Esta revisión se lleva a cabo en la sede de la ONAC o en la ubicación del líder del equipo evaluador, aunque con autorización puede realizarse en las instalaciones del OEC. El objetivo es corroborar que el OEC opera de acuerdo con los estándares establecidos y las recomendaciones previas.

Existen otras etapas previas en el proceso de acreditación que no serán detalladas en este trabajo , pero si es deseo del lector profundizar en las mismas puede dirigirse a las referencias de bibliografía donde encontrará el título: *Reglas del servicio de acreditación, RAC-3.0-01 Versión 10* , dirigiéndose a las páginas 7,8 y 9 del documento. Las etapas son: evaluación in situ, respuesta del OEC ante no conformidades detectadas en la evaluación, verificación (evaluación) complementaria e informe de la evaluación.

21.5 Decisión sobre la acreditación

El comité de acreditación revisará toda la información recopilada durante el proceso de evaluación, reevaluación o ampliación del alcance acreditado, así como los informes de seguimiento y cualquier otra información relevante de acuerdo con el procedimiento de toma de decisión sobre la Acreditación de OEC. También considerará cualquier otra información pertinente

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

recibida en ONAC, como reclamaciones o denuncias de incumplimiento de los requisitos de acreditación presentadas contra el OEC y confirmadas por ONAC.

Con base en la información recopilada, el comité de acreditación adoptará una de las siguientes decisiones:

- Conceder la acreditación
- Renovar la acreditación
- Conservar la acreditación
- Pausar la acreditación
- Revocar la acreditación
- Ajustar, extender o disminuir el alcance de la acreditación

21.6 Certificado de acreditación

Después de una aprobación del Comité de Acreditación, ONAC emitirá un Certificado de Acreditación al Organismo Evaluador de la Conformidad (OEC) una vez que este haya firmado los contratos y pagado los costos respectivos. El certificado confirma la concesión de la acreditación al OEC e incluirá al menos la siguiente información:

- El nombre de la Organización de Evaluación de la Conformidad (OEC) y el número de la acreditación otorgada.
- Estándar nacional, internacional o criterio específico de acreditación bajo el cual se concede la acreditación.
- Alcance de la acreditación concedida
- Ubicación tanto de la sede central del OEC como de los lugares incluidos en la acreditación
- La fecha de aprobación de la acreditación y referencia a su periodo de vigencia

21.7 Vigencia de la acreditación

La ONAC otorga acreditaciones iniciales por tres años y renovaciones por cinco años. La validez de la acreditación depende de las evaluaciones de seguimiento anuales. El ciclo de acreditación comienza desde la fecha de publicación del Certificado. Es importante resaltar que los requisitos de acreditación, tanto a nivel internacional como los aplicados por ONAC, pueden cambiar con el tiempo para mantenerse actualizados y garantizar la adecuación de las acreditaciones. Los Organismos de Evaluación de la Conformidad (OEC) acreditados por ONAC deben ajustarse a los nuevos requisitos y criterios durante su acreditación.

La ONAC notificará a los OEC con anticipación sobre los cambios, estableciendo condiciones y periodos de transición según la naturaleza de las modificaciones. Esto asegura que las acreditaciones sean pertinentes y estén alineadas con los estándares internacionales en todo momento.

22. Conclusiones

El estudio de mercado y el modelo financiero desarrollados demuestran que la inversión en la tecnología DSC es viable y rentable dependiente de un gran número de clientes. Además, el impacto positivo en la calidad y rapidez de los análisis justifica la inversión inicial y los gastos operativos. La selección cuidadosa de proveedores asegura que el equipo y el soporte técnico sean de alta calidad, garantizando así la sostenibilidad y eficacia a largo plazo del proyecto.

Este proyecto representa un avance notable para el Laboratorio de Fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos y para la industria petrolera en Bucaramanga. La implementación de la tecnología DSC no solo mejora la capacidad de análisis del laboratorio, sino que también contribuye al desarrollo tecnológico y científico en la región. Este es un paso hacia adelante en la búsqueda de métodos más eficientes, precisos y confiables en el análisis de las propiedades del petróleo, un recurso crucial para la economía local y global.

Se propone tres posibles escenarios comerciales (optimista, intermedio y el otro pesimista) en el que se propone para cada caso durante cierto tiempo 8, 10 y 12 años con el fin de evidenciar valores realistas y confiables con respecto a la rentabilidad del proyecto. En el escenario comercial, la viabilidad del proyecto se evidencia a través del valor 0 del VPN para los diferentes casos, lo cual demuestra que es posible recuperar toda la inversión por completo en los periodos de tiempos propuestos y a partir de haber superado tiempo supuesto o realizado el mínimo de pruebas para cada caso.

El estudio de mercado y el estudio técnico del proyecto arroja resultados algo desfavorables respecto al número de proveedores nacionales en el suministro de equipos de laboratorio como la calorimetría diferencial de barrido y enfocada al estudio de la aparición de ceras parafínicas en crudos y derivados.

23. Recomendaciones

Ampliar el estudio del mercado y costos de equipos de análisis térmico que generen resultados fiables en el análisis de la WAT y así compararse en términos de eficiencia y configuración con el equipo de calorimetría diferencial de barrido.

Realizar un estudio de factibilidad para la implementación de la prueba no estandarizada usando la calorimetría diferencial de barrido , basado en el estudio presentado en este proyecto, con el fin de corroborar su viabilidad en caso de ejecutarse.

El sistema de calorimetría diferencial de barrido hace parte de los equipos utilizados por un estándar lo cual, puede funcionar como guía y base para la implementación como método no estandarizado en el laboratorio de fluidos.

24. Referencias bibliograficas

- Ariza León, E. (2008). Determinación del umbral de cristalización de las parafinas en el crudo del campo colorado [*recurso electronico*]
- Ariza León, E. (2011). De la caracterización de crudos qué es clave para diagnosticar la precipitación de parafinas. *Fuentes: El reventón energético*, 9(1), 33–39.
- Tiab, D., & Donaldson, E. C. (2015). *Petrophysics* (4th ed.). Elsevier Science
- Bacon, M. M., Romero-Zeron, L. B., & Chong, K. (2009). Using cross-polarized microscopy to optimize wax-treatment methods. Paper presented at the <https://doi.org/10.2118/124799-MS> <https://onepetro.org/conference-paper/SPE-124799-MS>
- Phase technology.(s.f). *An automatic test method with improved precision for wax appearance temperature (WAT) of crude oils.*<https://www.phase-technology.com/pdf/phase-technology-white-paper-WAT-of-crude-oils.pdf>
- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2024). *Producción mensual de hidrocarburos.* <https://www.anh.gov.co/es/operaciones-y-regal%C3%ADAs/sistemas-integrados-operaciones/estad%C3%ADsticas-de-producci%C3%B3n/>
- Ahmadi Khoshooei, M., Fazlollahi, F., & Maham, Y. (2019). A review on the application of differential scanning calorimetry (DSC) to petroleum products. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138(5), 3455–3484. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08244-2>
- Alcazar Vara, L. A., & Buenrostro González, E. (2013). Liquid-solid phase equilibria of paraffinic systems by DSC measurements. *InTech eBooks* (). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/54575>
- Amaya, F. (2014). *Influencia de solidos de la formación productora en la precipitación de parafinas*[*tesis de pregrado, universidad industrial de santander*]
- Bec, K., & Huck, C. (2023). Analytical advantages of near-infrared (NIR) spectroscopy : An economical alternative to conventional analytics. <https://N9.cl/n1j45>.
- Bordalo, S. N., & Oliveira, R. D. (2007). Experimental study of oil/water flow with paraffin precipitation in submarine pipelines. Paper presented at the <https://doi.org/10.2118/110810-MS> <https://onepetro.org/conference-paper/SPE-110810-MS>

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

- Campetrol. (2024). *Informe de taladros y producción(corte a diciembre de 2023)*. Retrieved 5 de abril de 2024, from <https://campetrol.org/documentos/Informe%20de%20Taladros%20Diciembre%202023.pdf>
- Castiblanco Urrego, O., & Cárdenas Romay, D. J. (2023). Importancia del transporte de hidrocarburos y su realidad en Colombia. *Inventum Ingeniería, Tecnología E Investigación*, 18(34), 79-89. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.18.34.2023.79-89>
- Córdoba, M. (2011). Evaluación y formulación de proyectos (2nd ed.). *Ecoe ediciones*.
- Álvarez, Félix . (2017). Técnicas para evaluar financieramente proyectos de inversión. *Universidad ICESI*.
- Cortés, C. (2017). *Técnicas para mejorar el transporte de crudos pesados por oleoductos(tesis de pregrado)*. Escuela Politécnica Nacional.
- Coutinho, J. A. P., & Daridon, J. (2005). The limitations of the cloud point measurement techniques and the influence of the oil composition on its detection. *Petroleum Science and Technology*, 23(9-10), 1113–1128. <https://doi.org/10.1081/LFT-200035541>
- The Brainy Insights. (2023). Request for customization - paraffin wax market. The Brainy Insights. <https://www.thebrainyinsights.com/enquiry/request-customization/12514>
- Cámara de Comercio de Bucaramanga (2022) Desempeño sectorial por producción de petróleo en Santander.https://camaradirecta.com/imagenes/vdo_conexion/cone_fc289e012b4d8d9edb_be5655d220ba5b4a714530.pdf
- Ecopetrol.(2015). *Manual de descripción de procesos de la unidad de materias primas y productos -u146 refinería de cartagena (plantilla 007).[archivo PDF]*. Disponible en <https://n9.cl/nf071>
- Ferworn, K. A., Hammami, A., & Ellis, H. (1997). Control of wax deposition: An experimental investigation of crystal morphology and an evaluation of various chemical solvents. Paper presented at the <https://doi.org/10.2118/37240-MS> <https://onepetro.org/conference-paper/SPE-37240-MS>
- Guns, W. (2021). NIR spectroscopy in the petrochemical and refinery industry: *The ASTM compliant tool for QC and product screening - part 1*.<https://N9.cl/sdjup>

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

- Hammami, A., & Raines, M. A. (1999). Paraffin deposition from crude oils: Comparison of laboratory results with field data. *SPE Journal (Society of Petroleum Engineers (U.S.))* : 1996), 4(1), 9–18. <https://doi.org/10.2118/54021-PA>
- Hammami, A., Ratulowski, J., & Coutinho, J. A. P. (2003). Cloud points: Can we measure or model them? *Petroleum Science and Technology*, 21(3-4), 345–358. <https://doi.org/10.1081/LFT-120018524>
- Hsu, C. S., & Robinson, P. R. (2019). *Petroleum science and technology. Springer International Publishing.* <https://doi.org/10.1007/978-3-030-16275-7>
- Ichard, M., & Raviculé, M. (2014). Técnicas de fluidodinamica computacional aplicadas al estudio de la deposición de parafinas en tuberías. *Mecánica Computacional, XXXIII*, 2581–2593. <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/download/4853/4783>
- ICONTEC. (2017). *Norma técnica colombiana ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.* bogotá: Instituto colombiano de normas técnicas y certificación
- ONAC.(2024). *Acreditación de Laboratorios de Ensayo.* <https://onac.org.co/>
- Álvarez, V., y Ramos, A. (2021). Selección de proveedores, factor de éxito en la gestión de compras del producto restauración. *Reicomunicar*, 4(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.46296/rc.v4i7.0022>
- Julio Cesar L. Alves, & Ronei J. Poppi. (2015). Near-infrared spectroscopy in analysis of crudes and transportation fuels. *Encyclopedia of analytical chemistry* (). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a1817.pub2>
- Kiyingi, W., Guo, J., Xiong, R., Su, L., Yang, X., & Zhang, S. (2022). Crude oil wax: A review on formation, experimentation, prediction, and remediation techniques. *Petroleum Science*, 19(5), 2343–2357.
- Kraus, R. S. (2012). Petróleo: Prospeccion y perforacion. *Capítulo 75 petróleo: Prospección y perforación. en: Enciclopedia de la OIT* (). D - INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).
- Lara Bravo, A. C. (2018). Modelado de la precipitación y formación de parafinas en aceites pesados[tesis de maestría, instituto politécnico nacional]. <https://onx.la/bab46>

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

- Leontaritis, K. J., & John D. Leontaritis. (2003). Cloud point and wax deposition measurement techniques „SPE 80267 ." paper presented at the international symposium on oilfield chemistry. <https://doi.org/https://doi-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/10.2118/80267-MS>
- McCain, W. D. (1990). *Properties of petroleum fluids (2nd edition)*. PennWell.
- Mmata, B., & Onyekonwu, M. (2018). Measurement of the wax appearance temperature of a gas condensate using high pressure microscopy technique. Paper presented at the <https://doi.org/10.2118/193459ms>
- Morales Castro, A., & Morales Castro, J. A. (2009). *Proyectos de inversion, evaluación y formulación* (1st ed.). *MC Graw Gill Mex*.
- Organismo Nacional de Acreditación de Colombia, - ONAC.(2024). *Ruta de acreditación* . <https://onac.org.co/acreditate-con-onac/>
- Paris de Ferrer, M. (2009). *Fundamentos de ingeniería de yacimientos* (1st ed.). Astro Data S.A.
- Parque Tecnológico de Guatiguará. *Portafolio*. (s.f). *Parque tecnológico de guatiguará. obtenido de https://Convocatorias.uis.edu.co/wp-content/uploads/2023/03/Brochure_PTG.pdf* ().
- Patiño Mesa, J. D. (2015). *Un modelo de daño de formación por precipitación de componentes parafínicos de un fluido de yacimiento*. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/51357/>
- Pérez mares, A. (28 de octubre de 2019). precipitación de parafinas. obtenido de linkedin: <https://N9.cl/qrb9>
- Reddy, H., Sathis, D., Srisudharson, Parthiban, N., Ghosh, S., & Banji, D. (2011). Near infra red spectroscopy- an overview. *International Journal of ChemTech Research*, 3(2), 825–836.
- Rodríguez, L., & Castaneda, M. (2001). Estudio de los fenómenos de cristalización de parafinas en el comportamiento fluidodinámico de crudos parafínicos-fase1. *C T & F : ciencia, tecnología y futuro*, 2(2), 65–79.
- Sánchez Caba, J. (2003). *Purificación de parafinas de petróleo por hidrogenación catalítica*[Tesis de Doctorado, Universidad Complutense de Madrid]. Retrieved from <http://www.madrimasd.org/madrid-ciencia-tecnologia/e-ciencia>
- Sanjay, M., Simanta, B., & Kulwant, S. (1995a). Paraffin problems in crude oil production and transportation: A review. *SPE Production & Facilities*, 10(1), 50–54. <https://doi.org/10.2118/28181-PA>

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

- Sapag Xhain, N., Sapag Xhain, R., & Sapag Puelma, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos (6a. ed.)*. McGraw-Hill Interamericana.
- Schlumberger energy glossary (s.f). *Crudo asfáltico*. Recuperado el 27 de julio de 2023 de https://glossary.slb.com/es/terms/a/asphaltic_crude
- Soliman, F. S. (2020). *Introductory chapter: Petroleum paraffins*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87090>
- Taheri-Shakib, J., Rajabi-Kochi, M., Kazemzadeh, E., Naderi, H., & Shekarifard, A. (2018). A comprehensive study of the impact of wax compositions on the wax appearance temperature (WAT) of some iranian crude oils: An experimental investigation. *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 165, 67–80. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.02.002>
- Uche, C., Eremiokhale, O., Uche, J., Kuku, O., Sanusi, S., & Omisore, A. (2020). Production improvement through wax management strategy in offshore niger delta field, nigeria.SPE-203612-MS.
- Moncayo-Riascos, I., Guerrero-Benavides, C., Giraldo, J., Ramírez-Jaramillo, Ó., Rojas-Ruiz, F. A., Orrego-Ruiz, J. A., Cundar, C., Cañas-Marín, W. A., & Osorio Gallego, R. (2022). Integrated Machine Learning Model for Predicting Asphaltene Damage Risk and the Asphaltene Onset Pressure. *Energy and Fuels*, 36(23), 14243–14252. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c03319>
- Vasquez, E. (2014). Etudes des transitions de phases paraffiniques dans les fluides pétroliers sous pression[Tesis doctoral]. Retrieved from <http://www.theses.fr/2014PAUU3006/document>
- Vinci technologies.(2024). Análisis de fluidos: Catálogo de productos [archivo PDF]. <https://Www.vinci-technologies.com/medias/documentation/catalog-FLUIDS-es.pdf>.
- American Society for Testing and Materials. (2018). Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels. United States: ASTM D2500-17a.
- American Society for Testing and Materials. (2021). Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels (Mini Method). United States: ASTM D7689-21.
- American Society for Testing and Materials. (2021). Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels (Small Test Jar Method). United States: ASTM D7683-21.

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

American Society for Testing and Materials. (2021). Standard Test Method for Cloud Point of petroleum products and liquid Fuels(Constant Cooling Rate Method). United States: ASTM D5773-21.

American Society for Testing and Materials. (2021).Standard Test Method for Measurement of Transition Temperatures of Petroleum Waxes by Differential Scanning Calorimetry (DSC): ASTM D4419-90

25. Apéndices

Apéndice A. Resumen de guía del estudiante en el laboratorio para la determinación del punto de nube y de cristalización en petróleo crudo y derivados usando el procedimiento de la norma ASTM D4419 – 90

A.1 Definición de la calorimetría diferencial de barrido

Técnica en la que la diferencia de entradas de energía en una sustancia y un material de referencia se mide en función de la temperatura, mientras que la sustancia y un material de referencia se someten a un programa de temperatura controlada. El registro es la curva DSC se distingue de dos modos, DSC de compensación de potencia y DSC de flujo térmico, en función del método de medición utilizado.

A.2 Resumen del método

Muestras separadas de cera de petróleo y un material de referencia o blanco (recipiente de muestra vacío) se calientan a una velocidad en una atmósfera inerte. Un sensor supervisa continuamente la diferencia de flujo de calor hacia las dos muestras. La curva DSC es un registro de esta diferencia en función de la temperatura. La transición en la cera implica la absorción de energía en relación respecto a la referencia, lo que da lugar a un pico endotérmico en la curva DSC. Mientras que la transición se produce en el intervalo de temperaturas la base del pico, la temperatura asociada al vértice del pico se denomina temperatura nominal de transición.

A.3. Equipo, reactivos y materiales necesarios

Calorímetro diferencial de barrido, funcionando en modo de compensación de potencia o de flujo térmico, capaz de calentar a $10\text{ °C}/\text{min} \pm 1\text{ °C}/\text{min}$ de 15 °C a 150 °C .

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

La capacidad de enfriamiento controlado es preferible pero no esencial. El calorímetro debe ser capaz de registrar automáticamente la señal diferencial (WE o WT) frente a la temperatura con una repetibilidad de temperatura de $\pm 0,5$ °C. Si el registro diferencial está en función del tiempo, el calorímetro debe tener la capacidad de realizar un registro simultáneo de la temperatura en función del tiempo.

Porta muestras, de aluminio u otro metal de alta conductividad térmica, excepto el cobre y sus aleaciones.

Material de referencia, perlas de vidrio, polvo de alúmina, carburo de silicio o cualquier material conocido que no se vea afectado por el calentamiento y enfriamiento repetidos y esté libre de transiciones que interfieran. La capacidad calorífica específica de la referencia debe ser lo más cercana posible a la de la muestra de ensayo.

Registrador, capaz de registrar el flujo de calor en función de la temperatura.

Reactivo, generalmente se suministra nitrógeno, u otro gas inerte seco para lavar el compartimento de muestra

A4. Preparación de la muestra

Para garantizar la homogeneidad, fundir completamente toda la muestra calentándola a 10 °C por encima de la temperatura a la que la cera está completamente fundida. Utilizando un cuentagotas limpio transferir algunas gotas a la superficie de una hoja limpia de papel de aluminio para formar una fina película de cera. Separe la cera de la lámina y romperla en trozos

A5. Importancia y uso

Dado que la cera de petróleo es una mezcla de hidrocarburos con diferentes pesos moleculares, sus transiciones se producen en un rango de temperaturas. Este rango es un factor que influye en la anchura, expresada en °C, de los picos DSC. La transición es una transición de

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA CRISTALIZACIÓN DE PARAFINAS

primer orden. Si, para una serie de ceras, existen pruebas que demuestren que la transición de temperatura más alta de cada cera es la transición principal de primer orden, su anchura relativa debería correlacionarse con la anchura relativa de la distribución del peso molecular de la cera.