

PROPUESTA DE CREACIÓN DEL MÓDULO DE CARACTERIZACIÓN DE  
CRUDO, AGUA Y EMULSIONES DEL LABORATORIO DE OPTIMIZACIÓN DE  
OPERACIONES DE PRODUCCIÓN (LOOP) EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL  
DE SANTANDER

YANCARLOS ORDOÑEZ RUEDA  
MARÍA PAULA LAGOS VARGAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA

2019

PROPUESTA DE CREACIÓN DEL MÓDULO DE CARACTERIZACIÓN DE  
CRUDO, AGUA Y EMULSIONES DEL LABORATORIO DE OPTIMIZACIÓN DE  
OPERACIONES DE PRODUCCIÓN (LOOP) EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL  
DE SANTANDER

YANCARLOS ORDOÑEZ RUEDA  
MARÍA PAULA LAGOS VARGAS

Trabajo de grado para optar el título de  
Ingeniero de Petróleos

Director

Erik Giovany Montes Páez  
MSc. en Ingeniería de Petróleos

Codirector

Lennix Farley Vega Sepúlveda  
Especialista en Negocios Internacionales.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA

2019

## DEDICATORIA

*A Dios por llenarme a diario de tantas bendiciones y por permitirme llegar hasta este punto, a mis papás, Libardo y Martha, quienes son lo más valioso que tengo y el principal motivo para nunca rendirme; a mi hermano, Cristian, por ser mi apoyo incondicional, los amo demasiado y mil gracias por absolutamente todo.*

*A Sandra por ser la persona indicada en todo momento, sin ella este camino hubiese sido más largo.*

*A Juan, por su comprensión, cariño y compañía durante toda mi carrera.*

*A Arlon y a Victor, por su valiosa amistad durante este proceso.*

*A Yan, por ser el mejor compañero de tesis, y acompañarme durante todo el proyecto.*

*María Paula*

## DEDICATORIA

*A mi mamá, Ilce Rueda, a mi papá, José Edgar Ordóñez, a mi tía Libia Ordóñez, Óscar Vargas y Yeny Cortes, que con su apoyo e inspiración me ayudaron a formarme como profesional y persona.*

*A mis compañeros y colegas quienes siempre estuvieron en los momentos más difíciles y que fueron parte de mi crecimiento como persona.*

*A María Paula Ortiz por haberme acompañado durante este proceso y brindarme energía cuando más lo necesitaba.*

*A María Paula Lagos, quien con su apoyo y resiliencia desarrollamos este proyecto.*

*Yancarlos Ordoñez Rueda.*

## AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Industrial de Santander, que ha sido nuestro segundo hogar, y así mismo a cada uno de los profesores que ayudaron a formar nuestro camino como profesionales y mejores personas.*

*Al ingeniero Erik Montes, por la confianza hacia a nosotros, y por su dedicación durante el desarrollo de este proyecto, más que un director fue nuestro amigo.*

*Al Lennix por brindarnos su tiempo y ayuda.*

*A nuestros amigos y compañeros de carrera, sin ellos este camino se hubiese tornado más largo.*

*Muchas gracias, Yancarlos y María Paula.*

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                       | Pág. |
|-------------------------------------------------------|------|
| INTRODUCCIÓN                                          | 18   |
| 1. CONCEPTOS TEÓRICOS                                 | 20   |
| 1.1 HIDROCARBUROS                                     | 20   |
| 1.1.1 Clasificación de hidrocarburos                  | 20   |
| 1.1.4 Propiedades fisicoquímicas de los hidrocarburos | 22   |
| 1.1.5 Producción de petróleo en Colombia              | 26   |
| 1.2 AGUA DE PRODUCCIÓN                                | 28   |
| 1.2.1 Propiedades fisicoquímicas                      | 31   |
| 1.3 EMULSIONES                                        | 36   |
| 1.3.1 Agente emulsificante                            | 36   |
| 1.3.2 Estabilidad de la emulsión                      | 39   |
| 1.3.3 Proceso de separación de una emulsión           | 44   |
| 1.3.4 Métodos de caracterización de emulsiones        | 47   |
| 2. MÉTODOS DE MEDICIÓN                                | 49   |
| 2.1 PRUEBAS EN CRUDO                                  | 49   |
| 2.1.1 Densidad @15°C ASTM D5002                       | 50   |
| 2.1.2 Gravedad API ASTM D287                          | 50   |
| 2.1.3 Número de neutralización ASTM D664              | 51   |
| 2.1.4 Prueba de vapor Reid ASTM D323                  | 52   |
| 2.1.5 Punto de fluidez ASTM D97                       | 53   |
| 2.1.6 Punto de inflamación ASTM D93-18                | 53   |
| 2.1.7 Constante de visco gravedad ASTM D2501          | 54   |
| 2.1.8 Viscosidad saybolt (ASTM D88)                   | 55   |
| 2.1.9 Agua y sedimentos ASTM 96-88                    | 56   |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.10 Contenido de azufre ASTM D4294                                                     | 57 |
| 2.1.11 Residuo de carbono ASTM D4530                                                      | 58 |
| 2.1.12 Destilación simulada ASTM D5307                                                    | 59 |
| 2.1.13 Cenizas ASTM D482                                                                  | 60 |
| 2.1.14 Poder calorífico ASTM D240                                                         | 60 |
| 2.1.15 Contenido de sal ASTM D3230                                                        | 60 |
| 2.1.16 Determinación níquel, vanadio, hierro, sodio ASTM D5863                            | 62 |
| 2.1.17 Determinación de calcio, cloro, cobre, magnesio, fósforo, azufre y zinc ASTM D6443 | 63 |
| 2.1.18 Destilación atmosférica ASTM D2892                                                 | 64 |
| 2.1.19 Destilación al vacío ASTM D5236                                                    | 64 |
| 2.1.20 Nitrógeno Kjeldah ASTM D3228                                                       | 65 |
| 2.1.21 Análisis SARA ASTM D4124                                                           | 66 |
| 2.2 PRUEBAS EN AGUA DE PRODUCCIÓN                                                         | 66 |
| 2.2.1 pH SM-4500 H+ B                                                                     | 66 |
| 2.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO) SM-5520 D                                          | 67 |
| 2.2.3 Demanda bioquímica de oxígenos (DB05) SM-5510 B                                     | 68 |
| 2.2.4 Sólidos suspendidos totales (SST) SM-2540 D                                         | 69 |
| 2.2.5 Sólidos sedimentables (SSED) SM-2540 D                                              | 70 |
| 2.2.6 Grasas y aceites SM-5520 D                                                          | 71 |
| 2.2.7 Fenoles SM-5540 C                                                                   | 72 |
| 2.2.8 Sustancias Activas de azul de metileno (SAAM) SM-5530 B                             | 73 |
| 2.2.9 Cianuro total (CN-) SM-4500-CN- C                                                   | 74 |
| 2.2.10 Cloruros (Cl-) SM-4500-Cl- B                                                       | 75 |
| 2.2.11 Cloruros (Cl-) SM-4500-F- C                                                        | 75 |
| 2.2.12 Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) SM-4500-SO <sub>4</sub> 2- E             | 76 |
| 2.2.13 Sulfuros (S <sup>2-</sup> ) SM-4500-S <sup>2-</sup> F                              | 76 |
| 2.3 PRUEBAS EN EMULSIONES                                                                 | 76 |

|                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3.1 Evaluación del tipo y estabilidad viscoelástica de mezclas de agua en aceite formado a partir de crudo y productos a base de petróleo con agua (ASTM F3045)                 | 77  |
| 2.3.2 Método de prueba estándar para la separabilidad del agua de crudos y fluidos sintéticos (ASTM D1401)                                                                        | 79  |
| 2.3.3 Método de prueba estándar para la determinación de agua en productos del petróleo, aceites lubricantes, y aditivos por valoración coulométrica de Karl Fischer (ASTM D6304) | 80  |
| 2.3.4 Método de prueba estándar para la medición de tensión interfacial de aceite-agua por el método del anillo (ASTM D971)                                                       | 81  |
| 2.3.5 Sistemas coloidales- métodos para la determinación del potencial zeta- métodos ópticos (ISO 13099-2)                                                                        | 82  |
| 2.3.6 Análisis de tamaño de partícula por medio de método de difracción de luz (ISO 13320-1)                                                                                      | 83  |
| 2.3.7 Prueba de botella                                                                                                                                                           | 85  |
| 3. COSTO DE LA INVERSIÓN INICIAL                                                                                                                                                  | 88  |
| 3.1 DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO                                                                                                                                                      | 88  |
| 3.2 INSTALACIONES REQUERIDAS                                                                                                                                                      | 89  |
| 3.3 SEGURIDAD INDUSTRIAL REQUERIDA                                                                                                                                                | 92  |
| 3.4 EQUIPOS Y MATERIALES REQUERIDOS                                                                                                                                               | 93  |
| 3.4.1 Equipos y materiales para la caracterización de crudo                                                                                                                       | 94  |
| 3.4.2 Equipos y materiales para la caracterización de agua de producción                                                                                                          | 96  |
| 3.4.3 Equipos y materiales para la caracterización de emulsiones                                                                                                                  | 99  |
| 3.5 REACTIVOS NECESARIOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO                                                                                                                          | 100 |
| 3.6 RESUMEN INVERSIÓN INICIAL                                                                                                                                                     | 105 |
| 3.6.1 Gastos operacionales                                                                                                                                                        | 105 |
| 3.6.2 Oportunidades de servicio                                                                                                                                                   | 106 |
| 4. PROPUESTA DIRIGIDA A LA OFICINA DE PLANEACION UIS                                                                                                                              | 109 |
| 4.1 FICHAS EBI                                                                                                                                                                    | 109 |
| 4.2 FORMATOS PROYECTOS TIPO A                                                                                                                                                     | 113 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 5. CONCLUSIONES    | 123 |
| 6. RECOMENDACIONES | 125 |
| BIBLIOGRAFIA       | 126 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                 | <b>Pág.</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura 1. Perfil general la relación punto de burbuja y el número de carbonos.  | 24          |
| Figura 2. Producción total de petróleo en Colombia                              | 27          |
| Figura 3. Relación agua petróleo (RAP)                                          | 29          |
| Figura 4. Separador de fondo                                                    | 30          |
| Figura 5. Micela esférica                                                       | 37          |
| Figura 6. Clasificación de los surfactantes                                     | 39          |
| Figura 7. Porcentaje de separación de dos crudos emulsionados en función del pH | 42          |
| Figura 8. Estabilidad vs tensión interfacial de una emulsión                    | 44          |
| Figura 9. Separacion de la emulsión                                             | 46          |
| Figura 10. Potenciometro PH                                                     | 52          |
| Figura 11. Equipo Vapor Reid                                                    | 53          |
| Figura 12. Equipo Pensy Martens                                                 | 54          |
| Figura 13. Equipo Viscosidad Saybolt                                            | 56          |
| Figura 14. Centrifuga                                                           | 57          |
| Figura 15. Equipo flourescencia de rayos x                                      | 58          |
| Figura 16. Salinometro digital                                                  | 61          |
| Figura 17. Equipo destilación Kjeldahl                                          | 65          |
| Figura 18. pHmetro                                                              | 67          |
| Figura 19. Buretra digital                                                      | 68          |
| Figura 20. Bomba de vacío                                                       | 70          |
| Figura 21. Cono de Imhoff                                                       | 71          |
| Figura 22. Extractor de Soxhlet                                                 | 72          |
| Figura 23. Equipo de destilación                                                | 73          |

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 24. Espectrofotómetro                                                                                                                                    | 74 |
| Figura 25. Clasificación de mezclas agua-aceite                                                                                                                 | 79 |
| Figura 26. Funcionamiento electrofóresis                                                                                                                        | 83 |
| Figura 27. Método de difracción de láser                                                                                                                        | 85 |
| Figura 28. Separabilidad de la emulsión                                                                                                                         | 87 |
| Figura 29. Parque tecnológico Guatiguara                                                                                                                        | 90 |
| Figura 30. Diseño básico de las instalaciones físicas que se requieren para la construcción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) | 91 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                                                  | Pág. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1. Balance hidrofílico/lipofílico (HLB)                                                                                                                                                                    | 37   |
| Tabla 2. Tabla de medición                                                                                                                                                                                       | 77   |
| Tabla 3. Tabla de descripción del servicio prestado en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).                                                                                       | 88   |
| Tabla 4. Tabla de costos que se deben asumir para la adecuación del lugar del laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP)                                                                    | 92   |
| Tabla 5. Tabla de costos que se deben asumir para la dotación de muebles del laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP)                                                                     | 92   |
| Tabla 6. Tabla de costos que se deben asumir para la dotación de equipos tecnológicos para la oficina del laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP)                                        | 92   |
| Tabla 7. Elementos necesarios para garantizar la seguridad de las personas presente en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).                                                       | 93   |
| Tabla 8. Equipos y materiales necesarios para garantizar el desarrollo de las diferentes pruebas de caracterización de crudo en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).              | 94   |
| Tabla 9. Equipos y materiales necesarios para garantizar el desarrollo de las diferentes pruebas de caracterización de agua de producción en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP). | 96   |
| Tabla 10. Equipos y materiales necesarios para garantizar el desarrollo de las diferentes pruebas de caracterización de emulsiones en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).        | 99   |

|                                                                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 11. Reactivos necesarios para garantizar el desarrollo de las diferentes pruebas de caracterización de crudo, agua y emulsiones en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).           | 101 |
| Tabla 12. Resumen de la inversión inicial (terreno, seguridad, muebles, equipos tecnológicos, equipos, materiales y reactivos) para la iniciación del laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP). | 105 |
| Tabla 13. Gastos operacionales (personal) mínimos para la iniciación del laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).                                                                              | 106 |
| Tabla 14. Costo por prueba                                                                                                                                                                                             | 107 |
| Tabla 15. Formato EBI 01 - Clasificación                                                                                                                                                                               | 109 |
| Tabla 16. Formato EBI 02 - Localizaciones                                                                                                                                                                              | 109 |
| Tabla 17. Formato EBI 03 - Justificación del proyecto                                                                                                                                                                  | 109 |
| Tabla 18. Formato EBI 04 - Descripción de la alternativa                                                                                                                                                               | 110 |
| Tabla 19. Formato EBI 05 - Fuente de financiación de la inversión del proyecto                                                                                                                                         | 110 |
| Tabla 20. Formato EBI 06 - Fuente de financiación de la operación del proyecto                                                                                                                                         | 111 |
| Tabla 21. Formato EBI 07 - Impacto del proyecto                                                                                                                                                                        | 111 |
| Tabla 22. Formato EBI 08 - Estudios que respaldan el proyecto                                                                                                                                                          | 112 |
| Tabla 23. Formato EBI 09 - Diligenciamiento                                                                                                                                                                            | 112 |
| Tabla 24. Formato EBI 09 - Observaciones del proyecto diligenciamiento                                                                                                                                                 | 112 |
| Tabla 25. Formato ID 01 - Descripción del problema o necesidad                                                                                                                                                         | 113 |
| Tabla 26. Formato ID 02 - Objetivos del proyecto                                                                                                                                                                       | 113 |
| Tabla 27. Formato ID 03 - Población afectada y/o zona afectada y población objetivo del proyecto                                                                                                                       | 114 |
| Tabla 28. Formato ID 04 - Descripción de la situación actual y su evolución                                                                                                                                            | 114 |
| Tabla 29. Formato ID 05 - Descripción y cuantificación de la necesidad o problema                                                                                                                                      | 114 |
| Tabla 30. Formato ID 06 - Cuantificación de la demanda y oferta del principal bien y/o servicio                                                                                                                        | 115 |
| Tabla 31. Formato ID 07 - Principales alternativas del proyecto                                                                                                                                                        | 116 |

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 32. Formato ID 08 - Descripción de la alternativa No.1                                                 | 116 |
| Tabla 33. Formato ID 08 - Cronograma de actividades                                                          | 116 |
| Tabla 34. Formato PE-01: Descripción y cuantificación de los principales beneficios del proyecto – Sección A | 117 |
| Tabla 35. Formato PE-01: Descripción y cuantificación de los principales beneficios del proyecto – Sección B | 117 |
| Tabla 36. Formato PE-02: Presupuesto de obra del proyecto – Sección A                                        | 118 |
| Tabla 37. Formato PE-02: Presupuesto de obra del proyecto – Sección B                                        | 118 |
| Tabla 38. Formato PE-03: Costos de inversión de las alternativas                                             | 119 |
| Tabla 39. Formato PE-04: Costos de operación de las alternativas                                             | 119 |
| Tabla 40. Formato PE-05: Capacidad instalada                                                                 | 119 |
| Tabla 41. Formato PE-06: Resumen de costos de la alternativa                                                 | 120 |
| Tabla 42. Formato PE-07: Efecto ambiental                                                                    | 120 |
| Tabla 43. Formato PE-08: Selección de la alternativa de mínimo costo                                         | 120 |
| Tabla 44. Formato PE-09: Marco institucional                                                                 | 121 |
| Tabla 45. Formato FS-01: Fuente de financiación de la inversión del proyecto                                 | 121 |
| Tabla 46. Formato FS-02: Fuente de financiación de la operación del proyecto                                 | 121 |
| Tabla 47. Formato FS-03: Sostenibilidad del proyecto                                                         | 122 |

## RESUMEN

**TÍTULO:** PROPUESTA DE CREACIÓN DEL MÓDULO DE CARACTERIZACIÓN DE CRUDO, AGUA Y EMULSIONES, DEL LABORATORIO DE OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES DE PRODUCCIÓN (LOOP) EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.<sup>1\*</sup>

**AUTORES:** MARÍA PAULA LAGOS VARGAS  
YANCARLOS ORDOÑEZ RUEDA<sup>2\*\*</sup>

**PALABRAS CLAVE:** Laboratorio, Producción, Caracterización, Emulsiones.

### DESCRIPCIÓN:

Caracterizar los fluidos de producción es fundamental para poder optimizar operaciones que permitan el correcto desarrollo de un campo, por esto es de suma importancia la creación de un módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones con el fin de conocer las propiedades de los fluidos de producción y con base en ello poder generar propuestas de optimización que suponen valor agregado tanto para la industria como para la comunidad universitaria en cuanto a la generación de conocimiento y desarrollo de la región.

Para esto, en el presente proyecto se elabora una propuesta para la creación de un módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial de Santander. Con este fin se estudian las propiedades de los fluidos de producción por medio de diferentes tipos de pruebas regidas por normas estandarizadas, a su vez se determina el costo de implementación del módulo; se establece la mejor ubicación dentro del Parque Tecnológico de Guatiguara teniendo en cuenta las especificaciones de los equipos implementados y se genera una propuesta frente a la Universidad Industrial de Santander para matricularla en el banco de proyectos con el fin de solicitar los recursos necesarios para su implementación.

---

<sup>1\*</sup> Trabajo de Grado

<sup>2\*\*</sup> Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Erik Giobany Montes Páez, MSc. en Ingeniería de Petróleos. Codirector: Lennix Farley Vega Sepúlveda, Especialista en Negocios Internacionales.

## ABSTRACT

**TÍTULO:** PROPOSAL CREATION OF MODULE OF CHARACTERIZATION OF CRUDE, WATER AND EMULSIONS, IN THE LABORATORY OF PRODUCTION OPTIMIZATION OPERATIONS (LOOP) IN INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER.<sup>3\*</sup>

**AUTHORS:** MARÍA PAULA LAGOS VARGAS  
YANCARLOS ORDOÑEZ RUEDA<sup>4\*\*</sup>

**KEYWORDS:** Laboratory, Production, Characterization, Emulsions.

### DESCRIPTION:

In order to optimize operations that leads in a correct development of the field its fundamental to characterize production fluids, a bad understanding of the fluids we produce could lead into serious problems such as equipment damage in facilities, because of that is important the creation of a module that allows to characterize crude, water and emulsions with the purpose of understand fluid properties and relying on that information generate new proposals of optimization that adds aggregated value not just for the industry but for the university community regarding the knowledge development and region incomes.

To do that, this project makes a proposal to create a module of characterization of crude, water, and emulsions in a laboratory of production optimization operations in Industrial University of Santander. With this objective the fluid properties are studied by different types of tests following standarized norms, at the same time the cost of the project is evaluated, the best place to the equipment to be installed in the technological park Guatiguará is selected having in consideration all the equipment specifications and a formal proposal is delivered to Industrial University of Santander with the purpose of being enlist in the bank of projects and ask for the necessary resources for it implementation.

---

<sup>3\*</sup> Bachelor thesis

<sup>4\*\*</sup> Facultad de Ingeniería Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Erik Giobany Montes Páez, MSc. en Ingeniería de Petróleos. Codirector: Lennix Farley Vega Sepúlveda, Especialista en Negocios Internacionales.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la caracterización de los fluidos de producción (crudo, agua y emulsiones) es de vital importancia en la industria de los hidrocarburos, ya que no entender las propiedades de los fluidos de producción y cómo estos reaccionan entre sí puede conllevar a enormes pérdidas, tanto de dinero como de producción; el mal diseño de facilidades de superficie debido a la mala caracterización de los fluidos producidos puede tener graves consecuencias en los equipos de separación y posteriormente en los mecanismos de transporte, es por esto que es el correcto desarrollo de un campo está ligado al entendimiento de los fluidos que produce y no debe ser ajeno a como estos se comportan después de ser producidos.

Según lo anteriormente mencionado, un laboratorio de caracterización de crudo, agua y emulsiones orientado a la optimización de procesos de producción ofrece grandes beneficios respecto al entendimiento de las propiedades y como estas se relacionan con los procesos de producción (separación, transporte, almacenamiento, y otros procesos de producción asociados). La creación de conocimiento y desarrollo tecnológico en la región y la comunidad universitaria respecto a la comprensión de los fluidos de producción se ve afectada positivamente ya que se tendrá un espacio diseñado para este propósito, con equipos de alta calidad y con la atención técnica requerida. La oferta actual de este tipo de módulos que permitan caracterizar agua, crudo y emulsiones en un mismo laboratorio es escasa, por lo que surge la necesidad de diseñar un módulo que lo permita, añadiendo un componente de integralidad al estudio de las muestras.

Para el diseño del módulo de caracterización de agua, crudo y emulsiones en el Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP), se tuvieron en cuenta una serie de propiedades fisicoquímicas fundamentales para poder caracterizar los fluidos de producción es decir, a partir de la medición de propiedades químicas y físicas puntuales, poder describir el comportamiento tanto del crudo como del agua y las emulsiones, todo esto bajo la normatividad que cada prueba requiere; estas pruebas descritas en el segundo capítulo del libro se rigen bajo las normas de ASTM y SMWW, dando lugar a la estandarización de los resultados y por consiguiente a la veracidad de los mismos. Las pruebas para desarrollar en el módulo de caracterización poseen procedimientos estrictos basados en la norma que en combinación con la experticia técnica a emplear puede dar buenos resultados.

El costo que conlleva la implementación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones es un factor importante en el desarrollo del proyecto mismo; se tuvieron en cuenta costos de equipos y materiales, elementos y dispositivos que permiten la medición de propiedades, reactivos, componentes químicos indispensables para el desarrollo de la prueba, ubicación del módulo, requisito fundamental para la instalación y almacenamiento de equipos y reactivos; además de esto se tuvo en cuenta la contratación de personal capacitado y administrativo para la correcta realización de las pruebas. Costos de las pruebas ofrecidas en el mercado son mostradas en el presente trabajo con el objetivo de poder realizar una evaluación mucho más profunda de la rentabilidad de este proyecto.

En consecuencia, en el presente trabajo se elabora una propuesta para la creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones

del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander. Con este fin, se estudian los diferentes métodos existentes para la caracterización de los fluidos de producción (crudo, agua y emulsiones) con el objetivo de seleccionar las pruebas más adecuadas para el laboratorio y se diligencian los documentos requeridos por Planeación UIS para matricular esta propuesta en el banco de proyectos con el fin de solicitar los recursos requeridos para su implementación.

## 1. CONCEPTOS TEÓRICOS

### 1.1 HIDROCARBUROS

Petróleo, que significa literalmente aceite de roca, es el término usado para describir una gran cantidad de fluidos ricos en hidrocarburos que se han acumulado en yacimientos subterráneos<sup>5</sup>. El petróleo varía dramáticamente en color, olor y propiedades de flujo que reflejan la diversidad de su origen, cuenta con cadenas moleculares complejas y largas. Este contiene un alto porcentaje de carbón (84-87%)<sup>6</sup>. El petróleo puede ser un fluido liviano como la gasolina o pesado como el asfalto. Adicionalmente, el petróleo tiene un pequeño porcentaje de azufre entre 0.06-2%.

**1.1.1 Clasificación de hidrocarburos en base a su composición química.** Los hidrocarburos son propensos a mostrar tendencias en su composición química, esto nos permite colocándolos en uno de los siguientes grupos<sup>7</sup>:

- Parafínicos: son hidrocarburos saturados con cadenas lineales o ramificadas, pero sin ninguna estructura de anillo.
- Nafténicos: son hidrocarburos saturados que contienen uno o más anillos, cada uno de los cuales puede tener una o más cadenas laterales parafínicas (más correctamente conocidas como hidrocarburos alicíclicos).
- Aromáticos: son hidrocarburos que contienen uno o más núcleos aromáticos, como los sistemas de anillo de benceno, naftaleno y fenantreno. Los cambios

---

<sup>5</sup> VTIHA, Mark. Chemical Analysis: A Series of Monographs on Analytical Chemistry and Its Applications. Hoboken, New Jersey: WILEY, 2015. ISBN 9781118985953

<sup>6</sup> HENRY. The Early and Later History of Petroleum. Vol. I & II. Philadelphia: Jas. B. Rodgers Co, 1873.

<sup>7</sup> McCAIN, William. Heavy Components Control Reservoir Fluid Behavior. [online database]. September 1994, Journal of Petroleum Technology, 46(9), 746 - 750. Available in: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-28214-PA>

generales en la composición de las fracciones de petróleo con punto o rango de ebullición son significativos.

#### Otros componentes

- **Resinas y asfaltenos:** Las resinas y los asfaltenos también pueden estar presentes en el petróleo crudo. Estos están compuestos de anillos aromáticos, policíclicos, polares de peso molecular relativamente alto. Los asfaltenos puros son polvos no volátiles, secos, sólido. Estos no se disuelven en el petróleo crudo, pero existen como una suspensión coloidal. Son solubles en compuestos aromáticos como el xileno, pero precipitan en presencia de compuestos parafínicos ligeros como el pentano. Las resinas son líquidos pesados o sólidos pegajosos, de alto peso molecular y tienden a ser de color rojo, mientras que las resinas más ligeras tienen menos color. Las resinas son fácilmente solubles en aceite.

#### **1.1.2 Clasificación de hidrocarburos en base a su composición densidad.**

- **Crudos livianos:** el petróleo liviano es generalmente rico en constituyentes de bajo punto de ebullición y moléculas cerosas. El petróleo liviano tiene una densidad API entre 35 a 45 grados<sup>8</sup>, es muy fluido, liviano y transparente. La producción de este tipo de petróleo es más fácil que la producción de crudos pesados y no necesita complejos procesos para su separación del agua de formación. Este petróleo es muy caro en el mercado debido a que es fácil de refinar. Sin embargo, las reservas de petróleo liviano han sido depletadas en los últimos años debido a su gran demanda.

---

<sup>8</sup> MOSES, Phillip. Engineering Applications of Phase Behavior of Crude Oil and Condensate Systems (includes associated papers 16046, 16177, 16390, 16440, 19214 and 19893). [online database]. July 1986, Journal of Petroleum Technology, 38(7), 715 - 723. Available in: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-15835-PA>

- **Crudo Pesado:** el petróleo pesado tiene una densidad API por debajo de los 25<sup>9</sup>. Este hidrocarburo es bastante viscoso y oscuro. El costo de la extracción de este petróleo es muy alto y si se asume un mercado en donde los precios de venta estén bajos este hidrocarburo no muy atractivo para las compañías petroleras. Hoy en día hay un alto potencial de extracción en esta clase de yacimientos debido a su gran oferta. Con el alto precio del crudo en el mercado y la tecnología más avanzada han hecho posible la explotación de estos reservorios.

### **1.1.3 Clasificación del crudo en base a su contenido de azufre.**

- **Petróleo dulce:** El petróleo dulce tiene menos que 1% de azufre. El azufre es muy corrosivo por lo que un crudo con bajo contenido de azufre es el más deseado para comercializar.
- **Petróleo agrio:** El petróleo agrio tiene más de 1% de azufre. Un crudo con alto porcentaje de azufre destruirá los oleoductos y las refinerías por eso esta clase de hidrocarburos son más costoso de producir<sup>10</sup>.

**1.1.4 Propiedades fisicoquímicas del crudo.** Es de vital importancia conocer las propiedades del crudo que se extrae y así poder obtener todos los beneficios de este recurso. Existen diferentes pruebas que permiten obtener un conjunto de características básicas con las que se logra comprender la clase del fluido que se tiene. En consecuencia, varias organizaciones de estándares, como la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) en América del Norte y el Instituto del Petróleo (PI) en Gran Bretaña han dedicado mucho tiempo y esfuerzo a la correlación y estandarización de métodos para la inspección y evaluación de Petróleo y productos del petróleo<sup>11</sup>. Es por estas razones que la comprensión de la

---

<sup>9</sup> McCain, William. The Properties of Petroleum Fluids. Tulsa, Oklahoma: PennWell Publishing Co, 1990.

<sup>10</sup> Ahmed, Tarek. Hydrocarbon Phase Behavior. Houston, Texas: Gulf Publishing Co, 1989. ISBN 0-87201-589-0

<sup>11</sup> VTIHA. Op cit.

composición del petróleo, así como las propiedades físicas y químicas de estas materias primas es extremadamente importante.

Ningún petróleo crudo se ha separado completamente en sus componentes individuales, aunque se pueden identificar muchos componentes. A pesar de esta complejidad, se pueden determinar varias propiedades relevantes para los ingenieros de petróleos. Las propiedades clave del petróleo que generalmente se necesitan para comprender un yacimiento y su capacidad de producción son:

- Relación gas- aceite en solución (GOR): la relación solución gas / aceite (GOR) es un término que hace referencia a la cantidad de gas disuelto en el aceite. Los hidrocarburos pesados (menor gravedad API) tienen menor capacidad para contener gas disuelto que los aceites más ligeros. El GOR en los sistemas de aceite negro generalmente varía de 0 a aproximadamente 2000 scf / bbl. Para la mayoría de los propósitos, el valor de GOR en el punto de burbuja es de gran interés.
  
- Viscosidad: La viscosidad absoluta proporciona una medida de la resistencia interna del fluido al flujo. Para líquidos. Cualquier cálculo que implique el movimiento de fluidos requiere un valor de viscosidad. Este parámetro es necesario conocer pues se ve afectado durante todo el proceso de extracción, desde el yacimiento hasta las facilidades de superficie. Se puede esperar que las correlaciones para el cálculo de la viscosidad evalúen la viscosidad para temperaturas que oscilan entre 35 y 300 ° F. Los principales factores que afectan la viscosidad son:
  - Composición del aceite.
  - Temperatura
  - Gas disuelto

- Presión
- Tensión interfacial<sup>12</sup>: la tensión interfacial o superficial existe cuando hay dos fases presentes. Estas fases pueden ser gas / aceite, aceite / agua o gas / agua. La tensión interfacial es la fuerza que mantiene unida la superficie de una fase particular y normalmente se mide en dinas / cm. La tensión superficial entre el gas y el petróleo crudo oscila entre casi cero a 34 dinas / cm. Es una función de la presión, la temperatura y la composición de cada fase.
- Gravedad específica: es un número adimensional que representa la relación entre la densidad del crudo y la del agua a 60°F. Sirve para diferenciar los crudos dependiendo de su composición química o base que pertenecen.
- Densidad<sup>13</sup>: la densidad de la propiedad física es la relación entre masa y volumen. Esta se puede determinar a partir de: Gravedad específica del petróleo crudo, solución de gravedad del gas, solución de la relación gas-petróleo, factor de volumen de formación del aceite (FVF).
- Gravedad API: es una escala arbitraria de valores para indicar la densidad del crudo, se da en grados y aumenta en sentido contrario a la densidad o gravedad específica. Varía de un crudo a otro (entre 11 a 45°API). El conocimiento de esta propiedad tiene un importante valor comercial ya que la cotización de crudos depende en parte de esta misma.
- BSW: cantidad de agua en emulsión y sedimentos que se encuentra asociados con el crudo. Un alto valor de BSW causa problemas en el transporte y tratamiento de crudos.

---

<sup>12</sup>. BAKER & SWERDLOFF. Calculation of Surface Tension 6—Finding Surface Tension of Hydrocarbon Liquids. Oil Gas J., p.125, January 2 of 1956.

<sup>13</sup> VAZQUEZ, Milton. & BEGGS. Correlations for Fluid Physical Property Prediction. [online database]. June 1980, Journal of Petroleum Technology, 32 6), 968 - 970. Available in: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-6719-PA>

- Punto de fluidez: es la temperatura a la cual el crudo deja de fluir cuando es sometido a bajas temperaturas.
- Compresibilidad isotérmica: la compresibilidad isotérmica es el cambio en el volumen de un sistema a medida que la presión cambia mientras la temperatura permanece constante.

**1.1.5 Producción de petróleo en Colombia.** Colombia ha vivido un aumento dramático en la producción de petróleo en los últimos años después de un período de constante declive. Colombia es el mayor productor de carbón de América del Sur y el tercer mayor productor de petróleo de la región después de Venezuela y Brasil. El país también es un importante exportador de petróleo, clasificándose como el sexto mayor exportador de petróleo crudo a los Estados Unidos en 2017<sup>14</sup>.

Según el Oil & Gas Journal, Colombia tenía 1,7 mil millones de barriles de reservas probadas de petróleo crudo a finales de 2017, bajó un 17% respecto al año anterior<sup>15</sup>. En 2018, la producción total de petróleo y otros líquidos de Colombia promedió 865,191 b / d como se observa en la figura 2. Gran parte de la producción de petróleo crudo de Colombia se produce en la cuenca de los llanos orientales en donde predominantemente se produce crudo pesado. El campo Rubiales ubicado en el Municipio de Puerto Gaitán, departamento del Meta se obtiene la mayor producción de crudo de País con un promedio de 119.468 b/d a 2018<sup>16</sup>.

El crecimiento futuro en la producción de petróleo requerirá de una mayor exploración y descubrimientos de petróleo para reponer y aumentar las reservas de Colombia, junto con mejoras en la seguridad y la infraestructura.

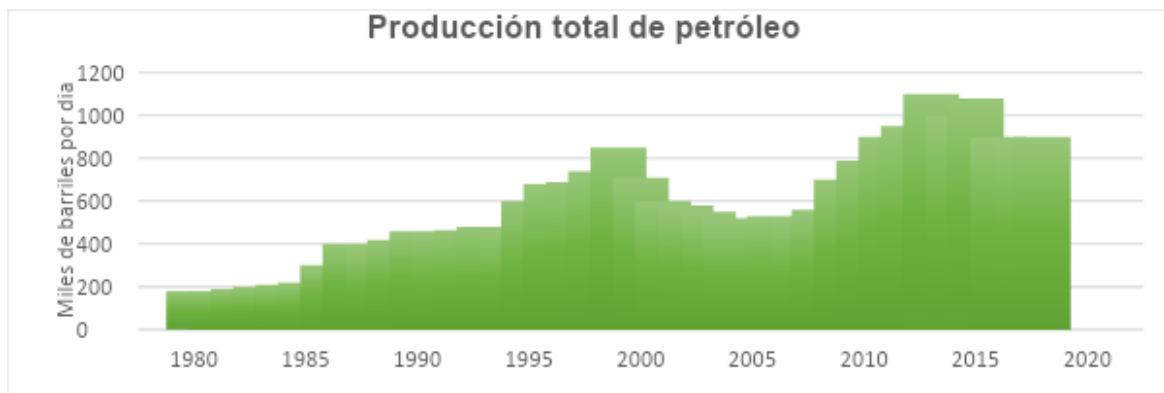
---

<sup>14</sup> U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. International energy statistics. [Online]. Washington. 2018. Available in: <https://bit.ly/2X7HiJ9>

<sup>15</sup> OIL & GAS JOURNAL. Worldwide Reserves. [Online]. January 1 of 2018. Available in: <https://www.ogj.com/exploration-development/reserves/article/17232353/worldwide-oil-natural-gas-reserves-exhibit-marginal-increases>

<sup>16</sup> AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Producción Fiscalizada de petróleo por campo (Barriles por día calendario - BPDC). Enero - Diciembre 2018.

Figura 2. Producción total de petróleo en Colombia



Fuente: U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. International energy statistics. [Online]. Washington. 2018. Disponible en: <https://bit.ly/2X7HiJ9>

## 1.2 AGUA DE PRODUCCIÓN

En la actualidad, los campos petroleros del mundo tienen una característica en común: la alta producción de agua. Se estima que en el mundo por cada barril de petróleo que se produce, se está generando como mínimo 3 barriles de agua. Adicionalmente se estima que la industria del petróleo anteriormente producía aproximadamente 210 millones de barriles de agua por día<sup>17</sup>. Al día de hoy, se puede decir que se gasta más de 40.000 millones de dólares por año, para tratar todos los problemas indeseados que conllevan el agua de producción<sup>18</sup>.

El agua de producción afecta todas las etapas de la vida de un campo petrolero, desde la exploración, -contacto agua petróleo- (CAP), es un factor importante para determinar el petróleo en sitio, hasta cuando se decide abandonar un pozo, pasando por el desarrollo y la producción de este<sup>19</sup>.

<sup>17</sup> ARNOLD, Richard. Manejo de la producción de agua: de residuo a recurso. Oilfield review, 2004.

<sup>18</sup> BAILEY, Bill, et al. Control del Agua. [En línea]. Oilfield review, 2000. Disponible en: [https://www.academia.edu/28686701/Control\\_del\\_agua](https://www.academia.edu/28686701/Control_del_agua)

<sup>19</sup> ARNOLD. Op cit.

El agua de producción se encuentra presente en todos los campos petroleros y es el fluido más abundante en el campo<sup>20</sup>. Si bien es cierto que ningún operador quiere producir agua, se puede decir que hay aguas que son mejores que otras. Con respecto a la producción de petróleo, es importante distinguir entre el agua de barrido, el agua buena (aceptable) y el agua mala (o excesiva).

- a) Agua de barrido: proviene de un pozo inyector o de un acuífero activo que ayuda al desplazamiento o barrido del petróleo del yacimiento. El manejo de este tipo de agua es una parte fundamental en el manejo del yacimiento y puede constituir un factor determinante en la productividad de los pozos y las reservas finales<sup>21,22</sup>.
- b) Agua buena: se refiere al agua producida dentro del hueco a una tasa menor al límite económico de la relación agua/petróleo (RAP), como se evidencia en la figura 3, a relación agua/petróleo (RAP) se obtiene dividiendo la tasa de producción de agua por la tasa de producción de petróleo y puede oscilar entre 0 (100% petróleo) e infinito (100% agua). También se utilizan habitualmente los términos corte de agua o flujo fraccional de agua definidos como la tasa de producción de agua dividida por la tasa total de producción, expresadas en porcentaje o fracción, respectivamente. El límite económico de RAP es la RAP a la cual el costo del tratamiento y eliminación del agua es igual a las ganancias derivadas del petróleo. La producción por encima de este límite provoca un flujo de fondos negativo.

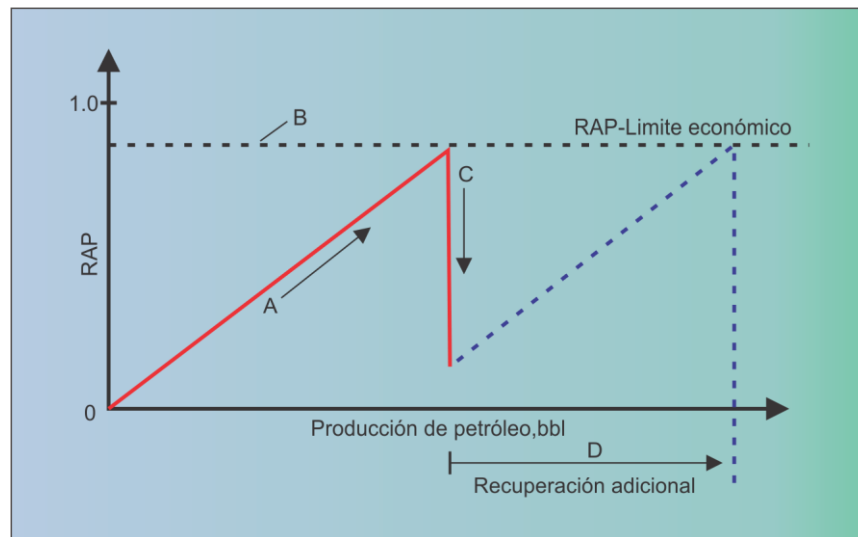
Figura 3. Relación agua petróleo (RAP)

---

<sup>20</sup> KUCHUK, Fikri; SENGUL, Mahmut & ZEYBEK, Murat. Oilfield Water: A Vital Resource. [online database]. January 1999, Middle East Well Evaluation Review, (22), 4-13. Available in: [https://www.researchgate.net/publication/271074743\\_Oilfield\\_Water\\_a\\_Vital\\_Resource](https://www.researchgate.net/publication/271074743_Oilfield_Water_a_Vital_Resource)

<sup>21</sup> KUCHUK, Fikri, *et al.* Water Watching. 1999. Middle East Well Evaluation Review, (22),14-23

<sup>22</sup> KUCHUK, Fikri & SENGUL, Mahmut. The Challenge of Water Control. [online database]. 1999. Middle East Well Evaluation Review, (22), 24-43. Available in: [https://www.academia.edu/20389083/The\\_Challenge\\_of\\_Water\\_Control](https://www.academia.edu/20389083/The_Challenge_of_Water_Control)

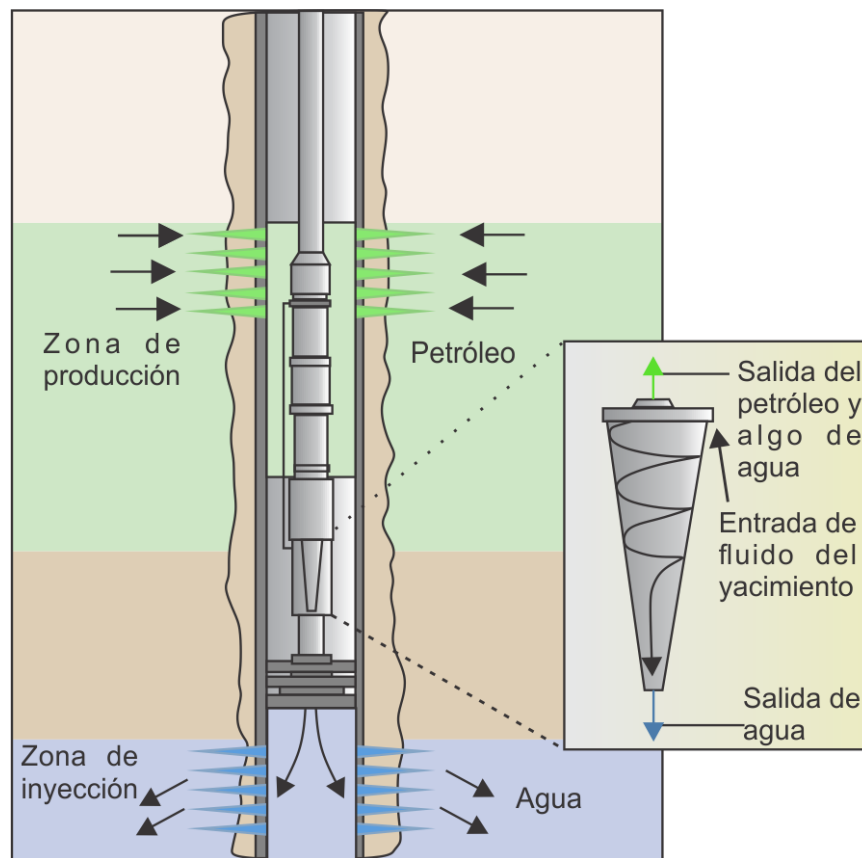


Fuente: BAILEY, Bill, *et al.* Control del Agua. [En línea]. Oilfield review, 2000. Disponible en: [https://www.academia.edu/28686701/Control\\_del\\_agua](https://www.academia.edu/28686701/Control_del_agua)

Este se puede aproximar por la ganancia neta obtenida de producir una unidad adicional de volumen de petróleo, dividida por el costo de una unidad adicional de volumen de agua. Dado que el agua buena, por definición, produce petróleo junto con ella, se debería tratar de maximizar su producción. Para reducir los costos implícitos, el agua debería eliminarse tan pronto como fuese posible; en forma ideal mediante un separador de fondo (ver figura 4). Estos dispositivos, junto con las bombas electrosomergibles, permiten separar hasta el 50% del agua e inyectarla en el fondo, con lo cual se evitan los costos de levantamiento y la separación del agua en superficie <sup>23</sup>.

Figura 4. Separador de fondo

<sup>23</sup> BAILEY. Op cit.



Fuente: BAILEY, Bill, *et al.* Control del Agua. [En línea]. Oilfield review, 2000.  
 Disponible en: [https://www.academia.edu/28686701/Control\\_del\\_agua](https://www.academia.edu/28686701/Control_del_agua)

c) Agua mala: se puede definir como el agua producida dentro del hueco, que no produce petróleo, o cuando la producción de petróleo no es suficiente para compensar el costo asociado con el manejo del agua, es decir, es agua producida por encima del límite económico de la RAP <sup>24</sup>

**1.2.1 Propiedades fisicoquímicas.** El agua producción está compuesta principalmente por sustancias orgánicas e inorgánicas, como: bacterias, ácidos orgánicos, sales, aditivos químicos, metales pesados e hidrocarburos solubles e

<sup>24</sup> ELPHICK & SERIGHT. A Classification of Water Problem Types. Presentando en la CONFERENCIA DE LA RED EDUCATIVA DE LA 3RA. CONFERENCIA INTERNACIONAL ANUAL SOBRE MODIFICACIÓN CONCORDANTE DEL YACIMIENTO, CEGADO DEL AGUA Y EL GAS. (6 – 8 AGOSTO, 1997: Houston, Texas, EE.UU)

insolubles<sup>25</sup>. Se debe tener en cuenta que estas propiedades son función de la profundidad, edad geológica y geoquímica que tenga la formación donde se encuentre almacenado el hidrocarburo. Y así mismo, también dependerá de la composición del aceite y gas<sup>26</sup>.

- Sabor y olor: tanto el sabor como el olor son parámetros de determinación subjetiva, y se debe aclarar que no existen unidades de medida, ni instrumentos que puedan determinarlos<sup>27</sup>. Los compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diferentes hidrocarburos, cloro, materiales orgánicos son las causas de los y sabores muy fuertes en el agua, aunque estos se encuentren en pequeñas concentraciones.
- Color: el color de un agua de producción se debe a la presencia de sustancia coloreadas, pueden estar disueltas o en suspensión; tales como: materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como también de diferentes minerales. Es importante tener en cuenta que el color puede llegar a ser un indicador de peligrosidad y/o contaminación del agua de producción<sup>28</sup>.
- Turbidez: se define como la dificultad del agua para transmitir la luz, y se mide a través del grado de oscuridad del agua. Se puede presentar en algunas aguas, especialmente en las superficiales; se debe a materiales insolubles en

---

<sup>25</sup> ZHENG, Jisi, *et al*, Offshore produced water management: A review of current practice and challenges. [online database]. March 15 of 2016, Marine Pollution Bulletin, 104(1-2), 7 - 19. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X16300042>

<sup>26</sup> LEE, Kenneth, NEFF, Jerry & DEBLOIS, Elisabeth. Produced Water: Overview of Composition, Fates, and Effects. [online database]. July 2011. Produced Water Environmental Risks and Advances in Mitigation Technologies, New York, pp. 3-57. Available in: [https://www.researchgate.net/publication/225911658\\_Produced\\_Water\\_Overview\\_of\\_Composition\\_Fates\\_and\\_Effects](https://www.researchgate.net/publication/225911658_Produced_Water_Overview_of_Composition_Fates_and_Effects)

<sup>27</sup> BENAVIDES MURCIA, Jhon Javier & JAIMES BELTRAN, Yureynis Michelle. Factibilidad Técnico - Financiera de los usos alternativos del agua de producción en varios campos colombianos. Tesis de pregrado, Mención en Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, Santander: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisico-químicas, 2014.

<sup>28</sup> JAIMES CAMPO, Diana Marcela & PICO JIMENEZ, María Isabel. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras- aplicación campo colorado. [En línea]. Tesis de pregrado, Mención en Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, Santander: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisico-químicas, 2009. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/129404.pdf>

suspensión, coloides o partículas muy finas que son difíciles de decantar y de filtrar; y que pueden presentar en la mayoría de los procesos.

- Temperatura: es un parámetro importante de control por su efecto en la vida acuática y en la aplicabilidad del agua a usos industriales. Esta propiedad afecta los mecanismos por medio de los cuales se forman las escamas, además puede alterar el valor del pH y la gravedad específica.
- Gravedad Específica: indica la cantidad de sales disueltas en el agua. Éstas se determinan dividiendo el peso de un volumen determinado entre el peso de un volumen igual de agua destilada.<sup>29</sup>
- Sólidos de producción: los sólidos de producción son un amplio grupo de materiales que incluyen arcillas, sólidos precipitados, bacterias, carbonatos, arenas y limos, productos de corrosión y escamas, sólidos de la formación, ceras y asfaltenos<sup>30</sup>, y pueden ser incorporados al agua por diversas actividades industriales y domésticas.

Los sólidos pueden conllevar consecuencias cuando se obtiene el agua de producción, por ejemplo, los sólidos de grano fino pueden reducir la eficiencia de remoción en los separadores agua-aceite, lo que lleva a sobrepasar los límites de descarga de grasas y aceites en el agua producida descargada<sup>31</sup>. Sus mayores inconvenientes están asociados al taponamiento de las líneas de flujo, la formación de lodos aceitosos, y de emulsiones que son muy difíciles de romper<sup>32</sup>.

---

<sup>29</sup> BENAVIDES MURCIA & JAIMES BELTRAN. Op. Cit.

<sup>30</sup> AHMADUN, Fakhru'l-Razi, *et al.* Review of technologies for oil and gas produced water treatment. Journal of Hazardous Materials, 170(2-3), October 30 of 2009.

<sup>31</sup> CLARK, Corrie & VEIL, John. Produced water volumes and management practices in the United States: National Energy Technology Laboratory, September 2009.

<sup>32</sup> *Ibíd*

- pH: el valor de pH o potencial de hidrogeno es usado en cálculos de dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno y la tendencia a la formación de incrustaciones<sup>33</sup>. Es importante resaltar que la presencia de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> disuelto en el agua tienden a disminuir el pH. Un agua es neutra cuando su valor de pH es igual a 7 a 25<sup>0</sup> C. la mayoría de las aguas en los campos petroleros presentan en pH que oscila entre 4 y 8<sup>34</sup>.
- Minerales disueltos: se encuentran usualmente en altas concentraciones, y son clasificados como cationes y aniones, materiales radioactivos que ocurren naturalmente y metales pesados, la concentración de estos varían dependiendo de la formación geológica, de su edad y el tipo del yacimiento<sup>35</sup>.

Los cationes y aniones afectan la química del agua producida en términos de la conductividad, la salinidad, y el potencial de formación de escamas. El Sodio (Na<sup>+</sup>) y el Cloro (Cl<sup>-</sup>) son responsables de la salinidad, que va desde unos pocos miligramos por litro (mg/L) a 300,000 mg/L. El Cl<sup>-</sup>, los Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), los Carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), los Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Na<sup>+</sup>, el Potasio (K<sup>+</sup>), el Calcio (Ca<sup>2+</sup>), el Bario (Ba<sup>2+</sup>), el Magnesio (Mg<sup>2+</sup>), el hierro (Fe<sup>2+</sup>) y el Estroncio (Sr<sup>2+</sup>) afectan la conductividad y el potencial de formación de escamas<sup>36</sup>.

- Materiales radioactivos (NORM): los NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials) son originados a partir de las formaciones geológicas y pueden ser llevados a la superficie junto con el agua producida. Los compuestos NORM más abundantes en el agua producida son el Radio-226 (<sup>226</sup>Ra) y el Radio-228

---

<sup>33</sup> Ibid.

<sup>34</sup> JAIMES CAMPO & PICO JIMENEZ, Op cit.

<sup>35</sup> AHMADUN, *et al.* Op. Cit.

<sup>36</sup> IGUNNU, Ebenezer & CHEN, George. Produced water treatment technologies. [Online databases]. September 2014. International Journal of Low-Carbon Technologies, 9(3). Available in: <https://academic.oup.com/ijlct/article/9/3/157/807670>

(<sup>228</sup>Ra), los cuales se constituyeron de la desintegración radiactiva del uranio y el torio que estaban asociados con ciertas rocas y arcillas en los yacimientos de hidrocarburos<sup>37</sup>.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): es la medida de la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica presente en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es el parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable a las aguas de producción que supone la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos a condiciones de incubación, durante un lapso dado para alcanzar la oxidación biodegradable presente en el agua<sup>38</sup>. Los datos de la prueba de la DBO se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Determinación demanda bioquímica de oxígeno disuelto en el agua. Norma: SM 5210-B<sup>39</sup>

- Demanda química de oxígeno (DQO): corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica y otras sustancias reductoras presentes en el agua. Su valor es más alto que la DBO, pero se puede correlacionar para un mismo sistema<sup>40</sup>. Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo en solución fuertemente ácida con un exceso conocido de dicromato de potasio, en presencia de sulfato de plata que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercúrico adicionado para remover la interferencia de los cloruros después de la digestión.

---

<sup>37</sup> Ibíd.

<sup>38</sup> JAIMES CAMPO & PICO JIMENEZ. Op cit.

<sup>39</sup> STANDARD METHODS. Test for the Chemical Oxygen Demand COD, 1999.

<sup>40</sup> JAIMES CAMPO & PICO JIMENEZ. Op cit.

La materia orgánica oxidable se calcula en términos de oxígeno equivalente<sup>41</sup>. Para determinar la demanda química de oxígeno disuelto en el agua, se puede evaluar con la siguiente norma:

Determinación demanda bioquímica de oxígeno disuelto en el agua. Norma: SM 5220-B<sup>42</sup>.

- Químicos de producción: los productos químicos utilizados para el tratamiento del agua con fines de movilización y recuperación de crudo incluyen a los biocidas, rompedores inversos de emulsión, secuestrantes de oxígeno e inhibidores de corrosión y plantean una de las mayores preocupaciones de toxicidad para los ecosistemas acuáticos. Los efectos asociados a los productos químicos utilizados van a depender enteramente del tipo de químico en particular y de la cantidad utilizada<sup>43</sup>. Además, durante el proceso de producción de petróleo se utilizan algunos compuestos químicos adicionales ya sea para recobro mejorado o para mitigar problemas operacionales<sup>44</sup>.

Algunas de estas sustancias químicas llegan a ser letales a niveles tan bajos como 0.1 mg/L a pesar de sufrir reacciones que reducen sus efectos tóxicos antes de ser descargadas o inyectadas. Un ejemplo de lo anterior son los biocidas, los cuales al reaccionar químicamente tienden a perder su nivel de toxicidad<sup>45</sup>.

### 1.3 EMULSIONES

---

<sup>41</sup> SAWYER, Cleir; MCCARTY, Perry & PARKIN, Gene. Chemistry for Environmental Engineering. McGraw Hill. 5th Edition, 2003.

<sup>42</sup> STANDARD METHODS. Op. Cit.

<sup>43</sup> AHMADUN, *et al*, Op. Cit.

<sup>44</sup> IGUNNU & CHEN. Op. Cit.

<sup>45</sup> AHMADUN, *et al*, Op. Cit.

Una emulsión es un sistema líquido heterogéneo termodinámicamente inestable (es necesaria la aplicación de energía para la formación de la misma) constituido por dos líquidos inmiscibles, en donde uno de estos está disperso (fase dispersa) en forma de gotas pequeñas en el otro (fase continua), sin embargo para la formación de una emulsión es necesario la presencia de un agente emulsificante (tensoactivos o surfactantes) capaz de disminuir la tensión interfacial en la interfase de las gotas de la fase dispersa y el cual determinara la forma y la estabilidad de una emulsión

<sup>46</sup>.

**1.3.1 Agente emulsificante.** Los agentes emulsificantes son sustancias químicas que facilitan la formación de emulsiones, la naturaleza de este agente emulsificante afecta directamente la emulsión haciéndola más fuerte o al contrario más fácil de separar; estas sustancias poseen una composición bipolar, un componente lipofílico y otro hidrofílico, donde el componente hidrofílico está en contacto con el crudo y el componente lipofílico en contacto con el agua como lo muestra la figura 5 en donde se puede observar una estructura compleja llamada micela la cual es responsable por las interacciones entre las gotas emulsionadas<sup>47</sup>.

Ya que este tipo de emulsificantes en su mayoría surfactantes presentan este tipo de estructuras con dos afinidades, al agua y al aceite, es necesario determinar cuál de estas afinidades predomina en el emulsificante ya que afecta la estabilidad de la emulsión y a su vez define qué tipo de emulsión es, es decir, agua en aceite o aceite en agua; la determinación de esta afinidad predominante se conoce como balance

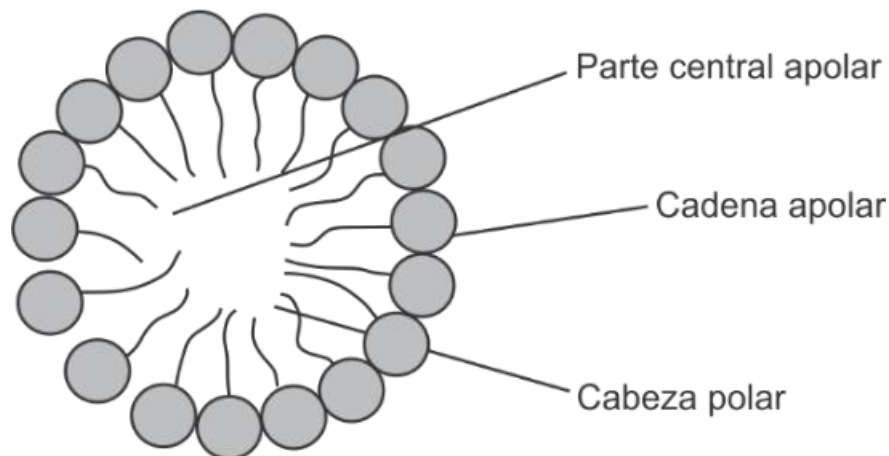
---

<sup>46</sup> ARANBERRI, *et al.* Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos. [Base de datos en línea]. Agosto 2006, Revista Iberoamericana de Polímeros, 7(3). Disponible en: <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/AGO06/aranberri.pdf>

<sup>47</sup> TADROS, Tharwat. Emulsions, formation, stability, industrial applications. Berlín: Walter de Gruyter GmbH, 2016. ISBN 978-3-11-045217-4

hidrofílico/lipofílico (HLB) primeramente introducido por Griffin y es una escala-semi empírica del porcentaje relativo entre los componentes del emulsificante<sup>48</sup>.

Figura 5. Micela esférica



Fuente: ARANBERRI, et al. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos. [Base de datos en línea]. Agosto 2006, Revista Iberoamericana de Polímeros, 7(3). Disponible en: <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/AGO06/aranberri.pdf>

Para una emulsión agua en aceite el componente hidrofílico del emulsificante permanece en la gota de agua sin embargo si el balance es diferente puede llevar a una emulsión aceite en agua, en la tabla 1 se muestra el rango de HLB y sus aplicaciones.

Tabla 1. Balance hidrofílico/lipofílico (HLB)

| Rango HLB | Aplicación        |
|-----------|-------------------|
| 3-6       | Emulsificador W/O |
| 7-9       | Agente humectante |
| 8-18      | Emulsificador O/W |
| 13-15     | Detergente        |
| 15-18     | Solubilizante     |

<sup>48</sup> HUBBARD, Arthur. Emulsions and emulsion stability. Segunda Edición. Boca Raton: Taylor & Francis group LLC, 2006.

Fuente: TADROS, Tharwat. Emulsions, formation, stability, industrial applications. Berlín: Walter de Gruyter GmbH, 2016. ISBN 978-3-11-045217-4

Este balance solo ofrece un semicuantitativo de carácter hidrofílico/lipofílico y no ofrece el estudio de características más profundas.

Los agentes emulsificantes se pueden dividir entre iónicos y no iónicos, donde los iónicos se dividen dependiendo de la carga en catiónicos, aniónicos y anfóteros, en la figura 6 se muestra la clasificación de los emulsificantes, donde los emulsificantes más fuertes encontrados son los surfactantes no iónicos como por ejemplo los alcoholes etoxilados los cuales presentan una formula química general  $C_xH_{2x+1} - O - (CH_2 - CH_2 - O)_n$  <sup>49</sup>, este agente emulsificante forma una película en la interfaz agua/aceite lo que impide que las gotas de agua se unan entre sí.

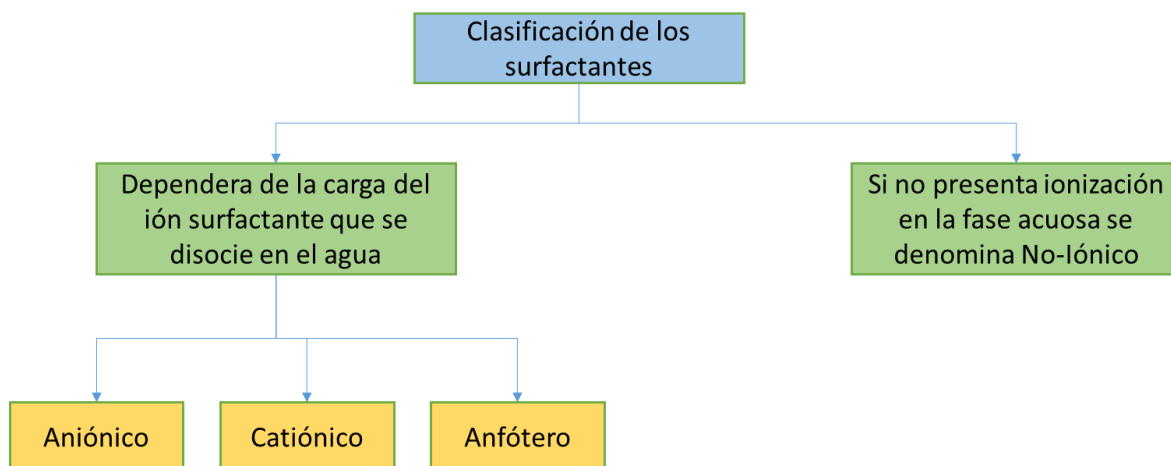
Las emulsiones crudo/agua (O/W) se producen a lo largo de las diferentes etapas de producción del petróleo y esto es debido a que el crudo y el agua bajo ciertas condiciones de presión y agitación forma las emulsiones, es decir, en secciones donde hay un aumento de agitación o energía hay más probabilidad de que se genere una emulsión, esto ocurre generalmente en reducciones de diámetro, en la tubería de producción e incluso al pasar por válvulas, donde el fluido es obligado a atravesar espacio restringido<sup>50</sup>.

---

<sup>49</sup> TADROS. Op cit.

<sup>50</sup> GOODARZI, Fatemeh & ZENDEHBOUDI, Sohrab. A Comprehensive Review on Emulsions and Emulsion Stability in Chemical and Energy Industries. [online database]. January 2019. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 97. Canada. Available in: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cjce.23336>

Figura 6. Clasificación de los surfactantes



Fuente: MAFISI VALLADARES, Shirley. Estabilidad de emulsiones relacionada con el proceso de deshidratación de crudos. [En línea]. Tesis Doctoral en Ciencias Aplicadas, Mención en Ingeniería Química. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería, 2005, p. 6 - 8. Disponible en: [https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/07/05\\_DR\\_Marfisi\\_S.pdf](https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/07/05_DR_Marfisi_S.pdf)

**1.3.2 Estabilidad de la emulsión.** Las emulsiones representan en su mayoría un problema para la industria de los hidrocarburos ya que el crudo proveniente de los centros de tratamiento debe llevar ciertas especificaciones de venta como lo es el BSW (Basic Sediment and Water) y la salinidad; en crudos emulsionados estos parámetros son mayores debido al contenido de agua disperso en el crudo en forma de pequeñas gotas llamadas emulsiones, el agua al tener sales inmersas en las gotas de la fase dispersa aumenta la salinidad del crudo bajándole así su precio de venta. Es por esto que las emulsiones necesitan eliminarse al mayor porcentaje posible sin embargo la separación depende de las propiedades del crudo y del agua además de la estabilidad de la emulsión<sup>51</sup>.

<sup>51</sup> STEWART, Maurice & ARNOLD, Ken. Emulsion and oil treatment equipment Selection, sizing and troubleshooting. USA: Elsevier, 2009.

El grado de estabilidad de una emulsión determina que tan difícil es separar la fase dispersa de la fase continua de dicha emulsión y es uno de los problemas fundamentales en cuanto al estudio de las emulsiones; que tan dispersas están las gotas de la fase dispersa es una variable en cuanto a la medición de la estabilidad de la emulsión y está asociada al tamaño de gota, al tener un menor tamaño de gota se tendrá una emulsión más estable y dispersa<sup>52</sup>. Como se mencionó anteriormente otro factor fundamental en la estabilidad de una emulsión es la presencia del agente emulsificante el cual le va a dar a la fase dispersa la suficiente tensión interfacial para que no se separe de la fase continua. Otros factores ya propios del crudo y del manejo de este como la salinidad, edad de la emulsión, cantidad de agitación, temperatura, densidad afectan la estabilidad de la emulsión.

- **Tamaño de gota:** el tamaño de gota es uno de los factores fundamentales en cuanto a la estabilidad de una emulsión y que determina que tan rápido se mueve la gota de agua través de la fase aceitosa, a un mayor tamaño de gota se tiene que existirá una separación mucho más eficaz en los separadores ya que la gota se moverá mucho más rápido debido a su peso, esto se puede observar en la ley de Stokes, la cual determina la velocidad de asentamiento de una gota de la fase dispersa, es decir, que tan rápido se separa la emulsión, está en función de la diferencia de densidades, la viscosidad de la fase continua y el tamaño de gota, por lo tanto una alta velocidad de asentamiento infiere una menor estabilidad de la emulsión, se puede observar la relación entre el tamaño de gota y la ley de Stokes<sup>53</sup> en la eq 1 donde son directamente proporcionales, es decir, al existir un mayor tamaño de gota existirá una mayor velocidad de asentamiento. El tamaño de gota depende de la cantidad y tipo de agitación que se le aplique al fluido,

---

<sup>52</sup> STEWART, Maurice & ARNOLD, Ken. Surface production operation: design of oil handling systems and facilities. 3<sup>rd</sup> edition. USA: Elsevier, 2008.

<sup>53</sup> GOODARZI & ZENDEHBOUDI. Op cit.

generalmente el tamaño de gota que se produce en los campos petroleros es de alrededor de  $0.1\mu\text{m}$ - $50\mu\text{m}$ <sup>54</sup>.

Ley de Stokes

$$V_t = \frac{1.78 \times 10^6 (\Delta SG)(d_m)^2}{\mu} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- $V_t$ =Velocidad de asentamiento de la gota de agua en relación con la fase continua ft/s.
  - $d_m$ =Diámetro de la gota de agua, micrones.
  - $\Delta SG$ =Diferencia de gravedad específica entre al agua y el aceite
  - $\mu$ =viscosidad dinámica de la fase continua
- 
- pH de la emulsión: el pH del agua de formación tiene un gran impacto en la estabilidad de la emulsión, como se nombró anteriormente existe una película entre las dos fases de la emulsión la cual evita que la fase dispersa se separe; esta película contiene ácidos orgánicos, asfaltenos con diferentes grupos y sólidos<sup>55</sup>. El contenido de la película intergota puede cambiar la ionización de esta y por tanto cambiar las fuerzas interfaciales entre las gotas. La figura 7 muestra el porcentaje de separación de dos crudos emulsionados en función del pH de estas y se observa que hay una mayor separación de agua para crudos con pH alto<sup>56</sup>, se tiene en cuenta también la salinidad del crudo la cual va a ser explicada más adelante en este capítulo.

---

<sup>54</sup> STRASSNER, Jacob. Effect of pH on Interfacial Films and Stability of Crude Oil-Water Emulsions. [online database]. March 1968. Journal of Petroleum Technology, 20(3). Available in: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-1939-PA>

<sup>55</sup> MOLLAKHALILI MEYBODI, Neda; MOHAMMADIFAR, Mohammad Amin & NASERI, Alireza. Effective Factors on the Stability of Oil-in-Water Emulsion Based Beverage: A Review. [online]. August 2014. Journal of food quality & Hazards Control. Available in: <http://jfqhc.ssu.ac.ir/article-1-68-en.pdf>

<sup>56</sup> LIYANA, et al. Stabilization and characterization of heavy crude oilin-water (o/w) emulsions. February 2014. International Journal of Research in Engineering and Technology, 3(2). Available in: [https://pdfs.semanticscholar.org/36d3/51e7a151e65eec1013e6c9f36932971ef9ee.pdf?\\_ga=2.194686760.486307656.1571331552-1723791528.1571331552](https://pdfs.semanticscholar.org/36d3/51e7a151e65eec1013e6c9f36932971ef9ee.pdf?_ga=2.194686760.486307656.1571331552-1723791528.1571331552)

Los asfaltenos debido a sus grupos funcionales pueden darle un carácter ácido a la emulsión, este carácter ácido (bajo pH) hace que la película intergota sea más fuerte y la estabilidad de la emulsión aumente. Además de esto el pH puede determinar el tipo de emulsión formada, emulsiones ácidas producen generalmente emulsiones de agua en aceite por otro lado, las emulsiones con carácter básico producen emulsiones de agua en aceite<sup>57</sup>.

- Salinidad del agua de producción: la salinidad del agua es una medida de la cantidad de sólidos disueltos en la fase acuosa la cual posee iones, ciertos iones presentes en el agua de producción pueden afectar e influenciar sobre la película intergota de la emulsión, iones de sodio y cloro se encuentran generalmente en aguas con altas concentraciones de salinidad, estos iones actúan activamente sobre la interfaz de la película intergota, sobre la porción hidrofílica formando así sales insolubles<sup>58</sup>.

El efecto directo de la sal inmersa en el agua de producción es debilitar la película intergota haciendo la emulsión menos estable, es decir aumenta la tensión interfacial permitiéndole a las gotas de la fase dispersa unirse unas con otras.<sup>59</sup>

- Viscosidad: la viscosidad se define como la resistencia de un fluido a fluir y afecta directamente la estabilidad de la emulsión, al existir una alta viscosidad de la fase continua, generalmente crudo en campos petroleros, la fase dispersa le será mucho más difícil moverse a través de la matriz del crudo debido a la red viscoelástica que se forma en el crudo, esto obedece a la ley de asentamiento de Stokes. La viscosidad de la fase continua (crudo) depende de la composición de esta, los componentes pesados del crudo al tener mayor tamaño de partícula y

---

<sup>57</sup> STRASSNER. Op cit.

<sup>58</sup> GUZMÁN LÓPEZ, Daniel Jose. Análisis del comportamiento de las emulsiones y su influencia en la cadena de producción de hidrocarburos. [En línea]. Trabajo de pregrado, Mención en ingeniería de petróleos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, 2018. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173272.pdf>

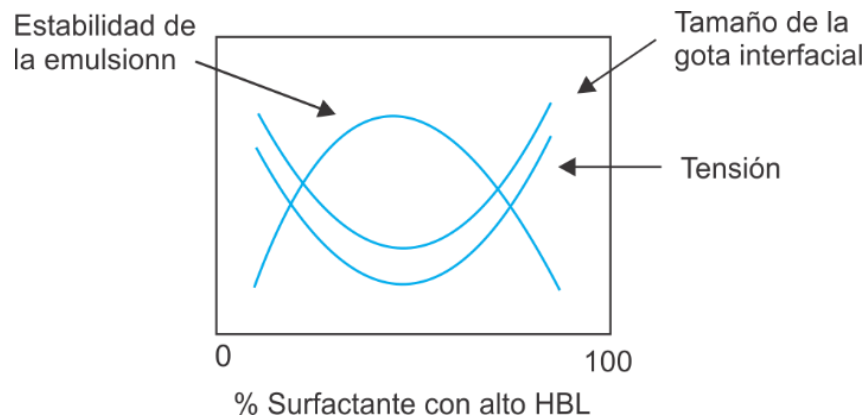
<sup>59</sup> STEWART & ARNOLD. Emulsion and oil treatment equipment Selection, sizing and troubleshooting. Op cit.

una complejidad mayor en cuanto a su estructura generan redes viscoelásticas mucho más complejas y viscosas, por tanto, las emulsiones creadas en este tipo de crudos son bastante estables y muy difíciles de separar<sup>60</sup>.

- Tensión interfacial: la tensión interfacial se define como la fuerza de contracción por unidad de longitud paralela a la interfase de un sistema no gaseoso, en otras palabras, la separación de una emulsión es la cantidad de trabajo requerido para romper la película intergota que se forma debido a la acción del agente emulsificante en la interfaz de la emulsión<sup>61</sup>.

La figura 8 muestra una relación entre la estabilidad y la tensión interfacial de una emulsión en presencia de cierto agente surfactante y en la cual se observa que hay una mayor estabilidad de la emulsión en el pico más bajo de la tensión interfacial<sup>62</sup>.

Figura 8. Estabilidad vs tensión interfacial de una emulsión



Fuente: TADROS, Tharwat. Emultions, formation, stability, industrial aplicacions. Berlín: Walter de Gruyter GmbH, 2016. ISBN 978-3-11-045217-4

Además de afectar la estabilidad de la emulsión la tensión interfacial también afecta otros factores que inciden también directamente a la estabilidad de la emulsión

<sup>60</sup> STEWART & ARNOLD. Surface production operation design of oil handling systems and facilities. Op cit.

<sup>61</sup> MOLLAKHALILI MEYBODI; MOHAMMADIFAR, & NASERI. Op cit.

<sup>62</sup> TADROS. Op cit.

como lo es el tamaño de gota, se tiene un menor tamaño de gota cuando la tensión interfacial es mínima<sup>63</sup> y esto es debido a que la presión y la fuerza necesaria para romper una gota disminuye. El grosor de la película intergota también está determinado por la tensión interfacial.

### **1.3.3 Proceso de separación de una emulsión.**

- Acercamiento microscópico de las gotas: consiste en el acercamiento de dos o más gotas con un tamaño de gota relativamente grande debido al fenómeno de asentamiento gravitacional introducido por la ley de Stokes en donde asume que las gotas son totalmente redondas y rígidas. Este acercamiento se basa en la asunción de que las gotas de la fase dispersa (agua) se mueven en la matriz del crudo, así que gotas más grandes tendrán pesos mayores y por efecto gravitatorio se asientan, esto ayuda a que haya una mayor probabilidad de colisión entre las gotas de la fase dispersa, esta probabilidad de colisión puede ser aumentada aumentando la temperatura del fluido ya que disminuiría la viscosidad de la fase continua y así las gotas de agua podrían moverse con mayor facilidad<sup>64</sup>.
- Drenaje de la película intergota: cuando las gotas de agua se acercan demasiado ocurre un proceso llamado floculación el cual consiste en la agregación de las gotas de la fase dispersa sin que exista ruptura de la película intergota, es decir, sin que pierda las propiedades físicas y químicas de la misma; la floculación puede ser fuerte o débil dependiendo del grado de reversibilidad del proceso en sí y dependen de las fuerzas dentro de la gota las cuales son las fuerzas de van der Waals, fuerzas de repulsión electrostáticas y fuerzas de repulsión esférica<sup>65</sup>.

---

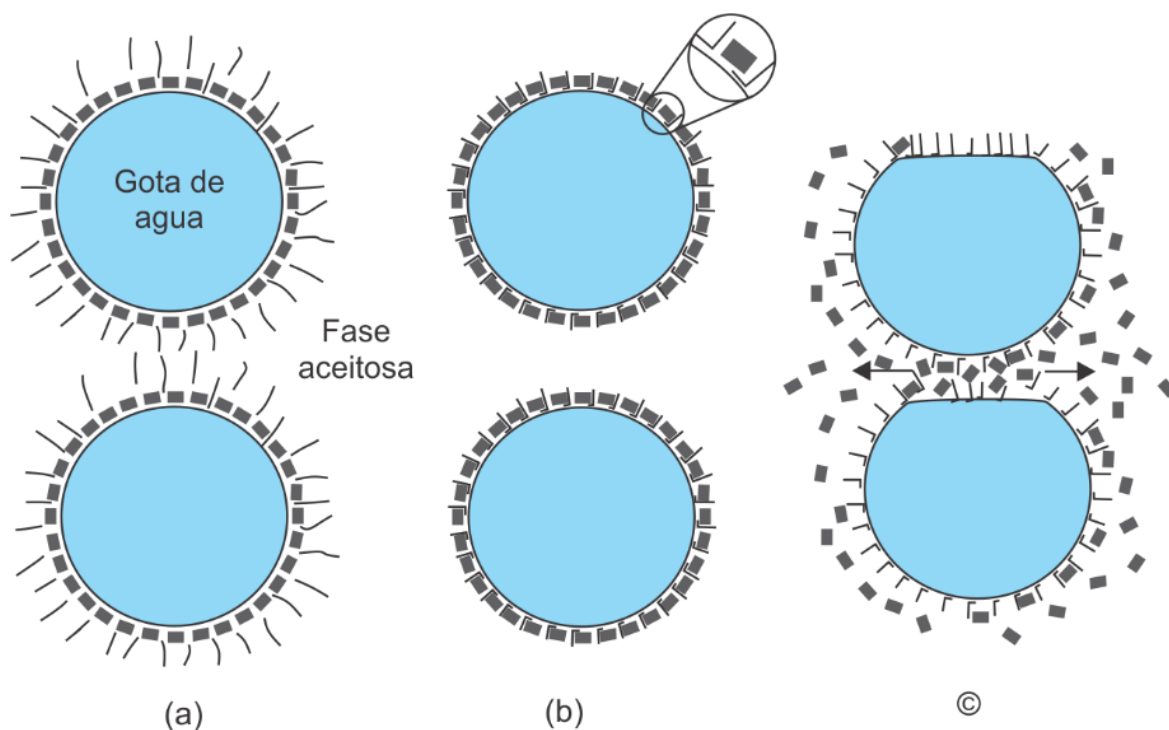
<sup>63</sup> MOLLAKHALILI MEYBODI, Neda, *et al.* Physical Stability of Oil in Water Emulsions in the Presence of Gamma Irradiated Gum Tragacanth. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 38(6), 2017.

<sup>64</sup> MARSIFI VALLARADES. *Op cit.*

<sup>65</sup> GOODARZI & ZENDEHBOUDI. *Op cit.*

Después del proceso de floculación prosigue la ruptura de la película intergota en la cual las gotas se deforman y ocurre un desplazamiento de fluido entre las fases de las dos gotas ya sea fuerzas gravitacionales, debido a convección térmica o agitación, la velocidad de drenaje de este líquido dependerá de las fuerzas que actúen sobre la gota. Este líquido lleva consigo cierta concentración de agente emulsificante de la emulsión lo cual ocasiona una redistribución de la concentración en la interfaz de la gota de agua lo que ocasiona un debilitamiento de la película intergota y posteriormente una ruptura de esta<sup>66</sup>.

Figura 9. Separación de la emulsión



Fuente: BATISTA, João; RAMALHO; LECHUGA, Fernanda & LUCAS, Lizabete. Effect of the structure of commercial poly (ethylene oxide-b-propylene oxide)

<sup>66</sup> BATISTA, João; RAMALHO; LECHUGA, Fernanda & LUCAS, Lizabete. Effect of the structure of commercial poly (ethylene oxide-b-propylene oxide) demulsifier bases on the demulsification of water-in-crude oil emulsions: elucidation of the demulsification mechanism. January 2010, Química nova 33(8).

demulsifier bases on the demulsification of water-in-crude oil emulsions: elucidation of the demulsification mechanism. January 2010, Química nova 33(8).

La figura 9 muestra el proceso de separación de la emulsión hasta el drenaje de la película intergota donde ocurre la deformación de la interfaz y el cambio de concentración de los agentes emulsificantes.

- **Coalescencia:** la coalescencia se define como un proceso irreversible en donde las gotas de agua se deforman a tal punto en el que forman una más grande, su área interfacial se reduce y también la energía libre del sistema (condición termodinámica de estabilidad). Ocurre únicamente cuando la película intergota se rompe en su totalidad. Para que dos gotas lleguen a coalescer es porque las condiciones de estabilidad de la emulsión lo permitieron, es decir, factores como la tensión interfacial, tipo de surfactante, la viscosidad de la fase continua favoreció a la coalescencia<sup>67</sup>.

**1.3.4 Métodos de caracterización de emulsiones.** La separación de emulsiones es un problema y un desafío para la industria de los hidrocarburos, este tipo de sistemas requieren la utilización de diferentes para determinar factores que cumplan el objetivo final el cual es la separación, factores como el tamaño de gota, la estabilidad de la emulsión son fundamentales para tratar este tipo de sistemas. Técnicas como microfotografía, escaneo de calorimetría diferencial, turbidimetría, dispersión de luz estática y dinámica, ultrasonido y resonancia magnética nuclear. En la microscopia óptica se utiliza un microscopio el cual puede ser usado en diferentes configuraciones, manual, semiautomática y automática las cuales tendrán al menos 6 lecturas de tamaño de gota de diferentes diámetros para obtener una buena distribución del tamaño de gota de la emulsión, este suele ser la técnica menos precisa sin embargo la más fácil de llevar a cabo<sup>68</sup>.

---

<sup>67</sup> MARSIFI VALLARADES. Op cit.

<sup>68</sup> SJÖBLOM, Johan. Encyclopedic handbook of emulsion technology. 1<sup>st</sup> Edition. New York: Marcel Decker, 2010.

El microscopio de electrones utiliza un rayo de electrones el cual ilumina la muestra, su principal ventaja es la alta resolución en la toma de imágenes y usualmente es 10 veces más preciso que el microscopio óptico, aunque también presenta desventajas como la preparación de la muestra, selección del área estudiada y una buena interpretación de los datos obtenidos<sup>69</sup>.

Otra técnica muy usada en la industria de los hidrocarburos es la medición del tamaño de gota por dispersión de luz, aunque también da una aproximación bastante cercana de la forma de la gota de la fase dispersa; esta técnica se divide en varias clases: dispersión estática, medición de turbidez llevada a cabo por un espectrofotómetro, técnica de difracción de luz, dispersión de luz dinámica, técnicas de dispersión en reversa, la utilización de diferentes métodos dependerá de la información requerida<sup>70</sup>.

---

<sup>69</sup> FERNÁNDEZ ARTEAGA, Alejandro. Preparacion, caracterización y estabilidad de emulsiones y microemulsiones W/O. Tesis doctoral. Granada: Universidad de granada. Facultad de ciencias, 2006.

<sup>70</sup> GOODARZI & ZENDEHBOUDI. Op cit.

## **2. MÉTODOS DE MEDICIÓN**

En este capítulo se presentan los principales procedimientos experimentales para la caracterización de crudo, agua y emulsiones.

Estas mediciones proporcionan los datos necesarios para caracterizar específicamente cada uno de los fluidos.

Las mediciones se podrán llevar a cabo de manera satisfactoria, si se cuentan con los equipos, materiales y reactivos necesarios para cada una de ellas, así mismo se debe tener cuidado en seguir correctamente el paso a paso de los procedimientos escogidos (teniendo en cuenta cada una de las normas).

Antes de realizar cualquier prueba de laboratorio, es útil plantear las siguientes preguntas: ¿Cuál es el objetivo de la prueba? ¿Qué norma es la más adecuada para cumplir este objetivo? ¿Qué técnica es la más adecuada para cumplir este objetivo? ¿Qué procedimiento operativo se debe seguir para obtener los datos con la precisión deseada? y ¿Qué equipos, materiales y reactivos son necesarios para llevar a cabo los procedimientos establecidos?.

### **2.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL CRUDO**

La selección de los métodos de medición para la caracterización del crudo se basó primeramente en los manuales de transporte para los principales oleoductos del país, etapa fundamental en la explotación del crudo, además de esto también se tuvo en cuenta medición de metales pesados, indispensable para los procesos de

crackeo del crudo ya que estos afectan la temperatura de crakeo del mismo<sup>71</sup>; se dividió en propiedades químicas y físicas con el fin de discretizar la medición de las propiedades según su consecuencia en los procesos de producción. Para el desarrollo de pruebas de laboratorio existen normas estandarizadas como las ASTM (American Society for Testing and Materials) o las API (American Petroleum Institute), las cuales son instituciones y organizaciones creadas con el fin de integrar a nivel mundial un criterio generalizado para describir propiedades de crudos o de sus derivados, dichas normas son las más utilizadas en la industria petrolera en Colombia y es por esto que en la selección de métodos de medición se utilizarán las normas ASTM Y API para la caracterización de crudo.

### **2.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS**

**2.1.1.1 Densidad @15°C ASTM D5002<sup>72</sup>.** La densidad es una propiedad física fundamental que se puede usar junto con otras propiedades para caracterizar la calidad de los aceites crudos. La densidad o densidad relativa de los aceites crudos se utiliza para la conversión de volúmenes medidos a volúmenes a las temperaturas estándar de 15 ° C o 60 ° F y para la conversión de medidas de masa cruda en unidades de volumen.

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad, la densidad relativa y la gravedad API de los aceites crudos que se pueden manejar de manera normal como líquidos a temperaturas de prueba entre 15 ° C y 35 ° C utilizando equipos de inyección de muestras manuales o automáticos. Este método de prueba se aplica a los aceites crudos con altas presiones de vapor siempre que se tomen las precauciones adecuadas para evitar la pérdida de vapor durante la transferencia de la muestra al analizador de densidad.

---

<sup>71</sup> F. JAMES HOLLER, STANLEY R. CROUCH, FUNDAMENTOS DE QUÍMICA ANALÍTICA, Novena edición, México: Cengage Learning, 2014.

<sup>72</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D5002-18e1. Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Crude Oils by Digital Density Analyzer. [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

Este método de prueba se evaluó en la prueba de round robin utilizando aceites crudos en el rango de 0.75 g / mL a 0.95 g / mL. El petróleo crudo más ligero puede requerir un manejo especial para evitar pérdidas de vapor. Los crudos más pesados pueden requerir mediciones a temperaturas más altas para eliminar las burbujas de aire en la muestra.

**2.1.1.2 Gravedad API ASTM D287<sup>73</sup>.** El método para determinar la gravedad API se basa en el principio de que la gravedad de un líquido varía directamente con la profundidad de inmersión de un cuerpo flotante en el mismo. El cuerpo flotante está graduada en unidades API y se denomina Hidrómetro (instrumento utilizado para medir la gravedad específica de los líquidos). La gravedad API se lee observando la graduación más cercana a la intersección aparente del plano horizontal de la superficie del líquido con la escala vertical del hidrómetro, luego de que la temperatura de equilibrio se ha alcanzado. La temperatura de la muestra se lee de un termómetro ASTM. Luego se hacen los ajustes por temperatura.

**2.1.1.3 Prueba de vapor Reid ASTM D323<sup>74</sup>.** Este método es usado para determinar la presión de vapor a 37.8° C (100° F) de productos del petróleo y crudos con un punto de ebullición superior a 0° C (32° F), el equipo principal para su determinación se puede observar en la Figura 11. La importancia de esta prueba radica en que este dato es importante para la producción, almacenamiento del crudo y los tratamientos iniciales de refinería. Este valor es un parámetro importante para el diseño de tanques, puesto de que cuanto más alta es este valor el tanque debe ser más seguro para impedir escape de livianos.

Figura 11. Equipo Vapor Reid

---

<sup>73</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D287-12b. Standard Test Method for API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum Products (Hydrometer Method). [Online]. West Conshohocken, 2012. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

<sup>74</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D323-15a. Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method). [Online]. West Conshohocken, 2015. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)



Fuente: \_\_\_\_\_. Presión de Vapor de (Reid) para los productos del petróleo ASTM D 323 reid presión de vapor equipo de prueba RVP. [En línea]. En: Alibaba.com. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/vapor-pressure-tester-reid-method-for-petroleum-products-astm-d-323-reid-vapor-pressure-test-equipment-rvp-60791547156.html>

**2.1.1.4 Punto de fluidez ASTM D97<sup>75</sup>.** El recipiente de prueba se somete a un enfriamiento gradual, se examina la apariencia del aceite cuando la temperatura esté 9 °C por encima del punto de fluidez esperado, estos se expresan como enteros positivos ó negativos múltiplos de 3 °C, luego se inclina el recipiente o suficientemente para determinar si hay algún movimiento del aceite en el recipiente de prueba, si no fluye, se ha encontrado el punto de congelamiento, si no, se continúa disminuyendo la temperatura hasta encontrar este estado.

---

<sup>75</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D97-17b. Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products. [Online]. West Conshohocken, 2017. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

**2.1.1.5 Punto de inflamación ASTM D93-18<sup>76</sup>.** Esta prueba no se realiza a aceites secos o ceras, o asfaltos. La muestra es calentada a una tasa baja y constante de temperatura con continua agitación (ver Figura 12). Una pequeña flama se introduce dentro de la copa a intervalos regulares con interrupción simultánea de la agitación. El punto de relampagueo será la temperatura más baja a la cual la aplicación de la flama de prueba cause que el vapor sobre la superficie de la muestra de pruebas de ignición.

Figura 12. Equipo Pensy Martens



Fuente: \_\_\_\_\_. PM-93 Pensky-Martens Flash Point Tester - 35000-0. [En línea]. En: Stanhope – seta. Disponible en: <https://www.stanhope-seta.co.uk/product/pm-93-pensky-martens-flash-point-tester/>

**2.1.1.6 Constante de visco gravedad ASTM D2501<sup>77</sup>.** La constante de viscosidad-gravedad (VGC) es una función útil para la caracterización aproximada de las fracciones viscosas del petróleo. Es relativamente insensible al peso molecular y está relacionado con una composición de fluidos como se expresa en términos de

---

<sup>76</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D93-18. Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester. [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

<sup>77</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D2501-14. Standard Test Method for Calculation of Viscosity-Gravity Constant (VGC) of Petroleum Oils. [Online]. West Conshohocken, 2019. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ciertos elementos estructurales. Los valores de VGC cerca de 0.800 indican muestras de carácter parafínico, mientras que los valores cercanos a 1.00 indican una preponderancia de estructuras aromáticas. Al igual que otros indicadores de composición de hidrocarburos, el VGC no debe aplicarse indiscriminadamente a aceites residuales, materiales asfálticos o muestras que contengan cantidades apreciables de no hidrocarburos.

Este método de prueba cubre el cálculo de la constante de viscosidad-gravedad (VGC) de los aceites de petróleo<sup>2</sup> que tienen viscosidades superiores a 5,5 mm<sup>2</sup> / s a 40 ° C (104 ° F) y superiores a 0,8 mm<sup>2</sup> / s a 100 ° C (212 ° F).

**2.1.1.7 Viscosidad saybolt (ASTM D88)<sup>78</sup>.** Este método se basa en el principio de flujo por gravedad de un volumen determinado de líquido que pasa a través de un orificio calibrado. La prueba se hace para temperaturas entre 70 °F y 210 °F en un equipo como se ve en la Figura 13.

El tiempo de flujo se mide para el paso de 60 ml de muestra fluyendo a través de un cilindro con un orificio calibrado en la parte inferior bajo condiciones controladas de temperatura. El tiempo se corrige por un factor de temperatura del orificio y se toma como la viscosidad Saybolt de la muestra a esa temperatura.

Figura 13. Equipo Viscosidad Saybolt

---

<sup>78</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D88 / D88M-07e1. Standard Test Method for Saybolt Viscosity. [Online]. West Conshohocken, 2019. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)



Fuente: \_\_\_\_\_. Baño de Viscosidad Saybolt SV4000. [En línea]. En: Petroleum Total Equipment. Disponible en: [http://www.ptec.com.co/esp/aplicaciones/derivados-del-petroleo-y-biocombustibles/viscosidad/bano-de-viscosidad-saybolt-sv4000\\_15](http://www.ptec.com.co/esp/aplicaciones/derivados-del-petroleo-y-biocombustibles/viscosidad/bano-de-viscosidad-saybolt-sv4000_15)

**2.1.1.8 Agua y sedimentos ASTM 96-88<sup>79</sup>.** Esto se determina mediante el método de la centrifuga, es un procedimiento que no siempre da los resultados más precisos, pero que es considerado el método más práctico. Conociendo los volúmenes de crudo y solvente se colocan en un tubo de centrífuga y se calientan a  $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , luego de la centrifugación (ver Figura 14) se lee el volumen de la capa de agua y sedimentos en el fondo del tubo. El crudo debe agitarse vigorosamente para homogenizar antes de colocarse en el tubo y debe estar detalladamente reseñado, que haya sido correctamente muestreado y a su vez la muestra a usar sea representativa.

Figura 14. Centrifuga

---

<sup>79</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D96-88. Standard Test Methods for Water and Sediment in Crude Oil by Centrifuge Method (Field Procedure) (Withdrawn 2000). [Online]. West Conshohocken, 1998. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)



Fuente: \_\_\_\_\_. Centrifuga determinación de agua y sedimentos en petróleos, ASTM D91, D1796 Calefaccionada. [En línea]. En: Vimaróni. Disponible en: [http://www.vimaróni.cl/home/index.php?option=com\\_virtuemart&view=productdetails&virtuemart\\_product\\_id=287&virtuemart\\_category\\_id=41](http://www.vimaróni.cl/home/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=287&virtuemart_category_id=41)

## 2.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

**2.1.2.1 Contenido de azufre ASTM D4294<sup>80</sup>.** El método consiste en quemar una muestra dentro de un recipiente sellado al que se le ha introducido oxígeno a una determinada presión (ver Figura 15). Después de la combustión se lava el interior del recipiente de donde se obtiene sulfato de bario, de allí se separa el azufre después de un largo proceso de evaporación filtrado y reducción de la solución en un horno. Este método abarca la determinación de azufre en productos de petróleo, incluidos los aceites con aditivos, aditivos concentrados y grasas lubricantes que no se pueden quemar totalmente en una lámpara de mecha. El método de prueba se aplica a cualquier producto de petróleo con una volatilidad lo suficientemente baja y que pueda ser pesado con precisión en un recipiente de pesada abierto y que contenga por lo menos 0,1 % de azufre.

---

<sup>80</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D4294-16e1. Standard Test Method for Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry. [Online]. West Conshohocken, 2016. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

Este método no se puede utilizar en muestras con elementos que dejan residuos además del sulfato de bario; éste es insoluble en ácido clorhídrico diluido y podría interferir en el paso de la precipitación. Entre los elementos que interfieren están el hierro, aluminio, calcio, silicio y plomo que muchas veces están presentes en las grasas, aditivos de aceites lubricantes o aceites aditivos. Otros materiales ácidos insolubles que interfieren son: sílice, disulfuro de molibdeno, asbestos, mica y otros. El método tampoco se aplica para los aceites usados que contienen metales de desgaste y plomo o silicatos provenientes de contaminación.

Figura 15. Equipo fluorescencia de rayos x



Fuente: \_\_\_\_\_. Espectrómetros de fluorescencias de rayos X por dispersión de longitud de onda. [En línea]. En: Direct industry. Disponible en: <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/espectrometro-fluorescencia-rayos-x-por-dispersion-longitud-onda-80795.html>

**2.1.2.2 Residuo de carbono ASTM D4530<sup>81</sup>.** El valor del residuo de carbono de los diversos materiales derivados del petróleo sirve como una aproximación de la tendencia del material a formar depósitos de tipo carbonoso en condiciones de degradación similares a las utilizadas en el método de prueba, y puede resultar útil

---

<sup>81</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D4530-15. Standard Test Method for Determination of Carbon Residue (Micro Method). [Online]. West Conshohocken, 2015. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

como guía para la fabricación de determinadas materias primas. Sin embargo, se debe tener cuidado al interpretar los resultados.

Este método de prueba abarca la determinación de la cantidad de residuos de carbono que se formó después de la evaporación y pirólisis de materiales derivados del petróleo en determinadas condiciones, y tiene por finalidad proporcionar alguna indicación de la tendencia relativa de dichos materiales a formar coque.

Este método de prueba es aplicable a productos derivados del petróleo que se descomponen parcialmente en la destilación a presión atmosférica, y fue evaluado para valores de residuo de carbono del 0,10 % al 30 % (m/m). Las muestras para las que se prevé un residuo menor al 0,10 % de peso (m/m) se deben destilar para eliminar 90 % (V/V) de la carga del matraz (consulte la Sección 9). El 10 % de residuo de fondo restante se analiza para detectar residuo de carbono por medio de este método de prueba.

**2.1.2.3 Destilación simulada ASTM D5307<sup>82</sup>.** La destilación simulada por cromatografía en fase gaseosa es un método reproducible para analizar un corte de petróleo; es aplicable a fracciones con punto final inferior a 500 °C y donde el intervalo de ebullición (Boiling Range) es superior a 50 °C. Los resultados de este ensayo se presentan en forma de una curva de temperatura en función del % destilado en masa, equivalente a una TBP (true boiling point) atmosférica.

El proceso consiste básicamente en diluir la muestra de crudo con “carbon sílfide” y la solución resultante es inyectada a la columna de gas cromatográfico que separa los hidrocarburos en sus puntos de ebullición en orden. La temperatura de la columna se incrementa a una tasa lineal y se van registrando los datos en un cromatograma. Los puntos de ebullición son asignados al eje de tiempo por la comparación de una curva de calibración obtenida bajo las mismas condiciones

---

<sup>82</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D5307-97. Standard Test Method for Determination of Boiling Range Distribution of Crude Petroleum by Gas Chromatography (Withdrawn 2011). [Online]. West Conshohocken, 2011. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

realizando una mezcla de n parafinas de puntos de ebullición conocido a través de la temperatura igual a 538°C, la cantidad de la muestra que bulla sobre los 538 °C es estimada por los resultados de un segundo análisis.

**2.1.2.4 Índice de acidez ASTM D664<sup>83</sup>.** El índice de acidez es una medida de esta cantidad de sustancia ácida en el aceite, siempre bajo las condiciones de la prueba. El índice de acidez se utiliza como guía en el control de calidad de las formulaciones de aceites lubricantes. A veces también se usa como medida de la degradación del lubricante en servicio. Cualquier límite de condena debe establecerse empíricamente.

Este método de prueba (ver Figura 10) cubre procedimientos para la determinación de componentes ácidos en productos derivados del petróleo, lubricantes, biodiesel y mezclas de biodiesel.

- Método de prueba A: para productos derivados del petróleo y lubricantes solubles o casi solubles en mezclas de tolueno y propan-2-ol. Es aplicable para la determinación de ácidos cuyas constantes de disociación en el agua son mayores de  $10^{-9}$ ; los ácidos extremadamente débiles cuyas constantes de disociación son menores de  $10^{-9}$  no interfieren. Las sales reaccionan si sus constantes de hidrólisis son mayores de  $10^{-9}$ . El rango de números de ácido incluidos en la declaración de precisión es de 0.1 mg / g KOH a 150 mg / g KOH.
- Método de prueba B: desarrollado específicamente para biodiesel y mezclas de biodiesel con baja acidez y solubilidad ligeramente diferente. Este método de prueba requiere el uso de un titulador automático con capacidad de búsqueda automática de puntos finales.

---

<sup>83</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D664-18e2. Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration. [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

Figura 10. Potenciometro PH



Fuente: \_\_\_\_\_. Potenciometro(ph-metro). [En línea]. En: Taringa, Octubre 3 de 2011. Disponible en: [https://www.taringa.net/+apuntes\\_y\\_monografias/potenciometro-ph-metro-y-mas\\_12nzc](https://www.taringa.net/+apuntes_y_monografias/potenciometro-ph-metro-y-mas_12nzc)

**2.1.2.5 Cenizas ASTM D482<sup>84</sup>.** Se realiza para determinar el contenido de impureza o contaminantes de productos derivados del petróleo. Esta norma no contempla productos de petróleo que contengan aditivos formadores de ceniza o ciertos componentes fosforosos. Tampoco contempla a los aceites lubricantes que contienen plomo como aditivo. La muestra contenida en un recipiente adecuado se enciende y se deja quemar hasta que solo se visualicen ceniza y carbón. El residuo carbonoso se reduce a ceniza calentando en un horno mufla a 775 °C, se enfría y se pesa.

**2.1.2.6 Poder calorífico ASTM D240<sup>85</sup>.** Para la determinación del valor calorífico bruto de un combustible líquido a volumen constante y a la temperatura de referencia de 25°C en una bomba calorimétrica, calibrada por medio de la

---

<sup>84</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D482-13. Standard Test Method for Ash from Petroleum Products. [Online]. West Conshohocken, 2013 Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

<sup>85</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D240-17. Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter. [Online]. West Conshohocken, 2017. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

combustión de ácido benzoico certificado. El resultado obtenido es el valor calorífico bruto de la muestra de análisis a volumen constante con toda el agua de los productos de combustión como agua líquida. En la práctica, el combustible se quema a una presión (atmosférica) constante y el agua no se condensa, sino que se elimina como vapor con los gases de combustión. Bajo estas condiciones, el calor operativo de la combustión corresponde al valor calorífico neto del combustible a presión constante.

**2.1.2.7 Contenido de sal ASTM D3230<sup>86</sup>.** Este método de prueba se utiliza para determinar el contenido aproximado de cloruro en petróleos crudos; conocer dicho contenido es importante para decidir si es necesario desalinizar el petróleo crudo. También se puede evaluar la eficiencia del proceso de desalinización.

El exceso de cloruro que permanece en el petróleo crudo a menudo trae como resultado tasas de corrosión más altas en las unidades de refinación, y también tiene efectos perjudiciales en los catalizadores utilizados en dichas unidades. Este método de prueba (ver Figura 16) proporciona un medio rápido y cómodo para determinar el contenido aproximado de cloruros en el petróleo crudo, y es útil para los procesadores de petróleo crudo.

Este método de prueba abarca la determinación de la concentración aproximada de (sales de) cloruro en el petróleo crudo. El rango de concentración cubierto es de 0 a 500 mg/kg o de 0 a 150 libras/1000 barriles como concentración/volumen de cloruro en petróleo crudo.

Figura 16. Salinometro digital

---

<sup>86</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D3230-19. Standard Test Method for Salts in Crude Oil (Electrometric Method). [Online]. West Conshohocken, 2019. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)



Fuente: \_\_\_\_\_. Salinometro digital (sal in crude) según norma ASTM D3230 con maniobra segura. [En línea]. En: J-Rohi Ingeniería s.a.s. Disponible en: <https://j-rohi.com/project/salinometro-digital-salt-in-crude/>

**2.1.2.8 Determinación níquel, vanadio, hierro, sodio ASTM D5863<sup>87</sup>.** Estos métodos de prueba cubren la determinación de níquel, vanadio, hierro y sodio en aceites crudos y combustibles residuales por espectrometría de absorción atómica por llama (AAS). Se presentan dos métodos de prueba diferentes.

- Método de prueba A, Secciones -AAS de llamas se utiliza para analizar una muestra que se descompone con ácido para la determinación de Ni, V y Fe totales.
- Método de prueba B, Secciones - La llama AAS se usa para analizar una muestra diluida con un solvente orgánico para la determinación de Ni, V y Na. Este método de prueba utiliza metales solubles en aceite para la calibración para determinar

---

<sup>87</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D5863-00a. Standard Test Methods for Determination of Nickel, Vanadium, Iron, and Sodium in Crude Oils and Residual Fuels by Flame Atomic Absorption Spectrometry. [Online]. West Conshohocken, 2005. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

metales disueltos y no pretende determinar cuantitativamente ni detectar partículas insolubles. Por lo tanto, este método de prueba puede subestimar el contenido de metal, especialmente sodio, presente como sales de sodio inorgánicas.

Los rangos de concentración cubiertos por estos métodos de prueba están determinados por la sensibilidad de los instrumentos, la cantidad de muestra tomada para el análisis y el volumen de dilución. Para cada elemento, cada método de prueba tiene su propia precisión única. El usuario puede seleccionar el método de prueba apropiado en función de la precisión requerida para el análisis específico. Los valores establecidos en unidades SI deben considerarse como el estándar. Los valores entre paréntesis son solo para información.

**2.1.2.9 Determinación de calcio, cloro, cobre, magnesio, fósforo, azufre y zinc ASTM D6443<sup>88</sup>.** Este método de prueba cubre la determinación de calcio, cloro, cobre, magnesio, fósforo, azufre y zinc en aceites lubricantes no utilizados, aditivos y paquetes de aditivos mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X dispersiva de longitud de onda. Los efectos matriciales se manejan con correcciones matemáticas.

Para cada elemento, el límite superior del rango de concentración cubierto por este método de prueba se define por la concentración más alta. Las muestras que contienen concentraciones más altas se pueden analizar después de la dilución. Para cada elemento, el límite inferior del rango de concentración cubierto por este método de prueba se puede estimar mediante el límite de detección (LOD) 2 (véase también 40 CFR 136 Apéndice B) o el límite de cuantificación (LOQ), 2 de los cuales puede estimarse a partir de Sr, la desviación estándar de repetibilidad. Los valores

---

<sup>88</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D6443-14e1. Standard Test Method for Determination of Calcium, Chlorine, Copper, Magnesium, Phosphorus, Sulfur, and Zinc in Unused Lubricating Oils and Additives by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry (Mathematical Correction Procedure). [Online]. West Conshohocken. 2019. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

de LOD y LOQ, determinados a partir de los resultados obtenidos en el estudio interlaboratorio sobre precisión.

LOD y LOQ no son constantes intrínsecas de este método de prueba. LOD y LOQ dependen de la precisión que puede obtener un laboratorio al usar este método de prueba.

Este método de prueba utiliza un software de regresión para determinar los parámetros de calibración, que pueden incluir coeficientes de influencia (es decir, coeficientes de efecto entre elementos) aquí referenciados como alfa. Los alfa también se pueden determinar a partir de la teoría utilizando software relevante.

**2.1.2.10 Destilación atmosférica ASTM D2892<sup>89</sup>.** El procedimiento de manera general es llenar el picnómetro con la muestra y pesarlo, se registra la temperatura del laboratorio para luego reportarla a dicha temperatura y a 60° F. La densidad se calcula con la diferencia entre el peso del picnómetro lleno de crudo menos la masa de este vacío y se divide en el volumen del picnómetro. Picnómetro: instrumento utilizado para determinar la densidad de los líquidos.

**2.1.2.11 Destilación al vacío ASTM D5236<sup>90</sup>.** Este método de prueba cubre el procedimiento para la destilación de mezclas de hidrocarburos pesados que tienen puntos de ebullición iniciales superiores a 150 ° C (300 ° F), tales como aceites crudos pesados, destilados de petróleo, residuos y mezclas sintéticas. Emplea un bache con un separador de arrastre de baja caída de presión operado bajo condiciones de despegue total. Se especifican las condiciones de destilación y los criterios de rendimiento del equipo y se ilustra el aparato típico. Este método de prueba detalla los procedimientos para la producción de fracciones de destilado de

---

<sup>89</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D2892-18a. Standard Test Method for Distillation of Crude Petroleum (15-Theoretical Plate Column). [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

<sup>90</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D5236-18a. Standard Test Method for Distillation of Heavy Hydrocarbon Mixtures (Vacuum Potstill Method). [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

calidad estandarizada en el rango de gasóleo y aceite lubricante, así como la producción de residuos estándar. Además, proporciona la determinación de curvas de destilación estándar a la temperatura equivalente atmosférica más alta posible por destilación convencional.

La temperatura equivalente atmosférica máxima alcanzable (AET) depende de la tolerancia al calor de la carga. Para la mayoría de las muestras, se puede alcanzar una temperatura de hasta 565 ° C (1050 ° F). Este máximo será significativamente menor para muestras sensibles al calor (por ejemplo, residuos pesados) y podría ser algo mayor para muestras no sensibles al calor.

**2.1.2.13 Nitrógeno Kjeldah ASTM D3228<sup>91</sup>** La concentración de nitrógeno es una medida de la presencia de aditivos que contienen nitrógeno. El conocimiento de su concentración se puede utilizar para predecir el rendimiento. Este método de prueba (ver Figura 17) cubre la determinación de nitrógeno en aceites lubricantes cuando está presente en la concentración de 0.03% en masa a 0.10% en masa, y para la determinación de nitrógeno en aceites combustibles cuando está presente en la concentración de 0.015% en masa a 2.0% en masa. Este método de prueba también es aplicable al análisis de concentrados aditivos y paquetes de aditivos. Este método de prueba puede no ser aplicable a ciertos materiales que contienen enlaces N – O o N – N. Sin embargo, las muestras utilizadas en el programa cooperativo para establecer la precisión del método de prueba se combinaron con los aditivos sin cenizas disponibles actualmente que contienen nitrógeno. Se obtuvo la recuperación completa del nitrógeno presente en estos aditivos.

Figura 17. Equipo destilación Kjeldahl

---

<sup>91</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D3228-08, Standard Test Method for Total Nitrogen in Lubricating Oils and Fuel Oils by Modified Kjeldahl Method. [Online]. West Conshohocken, 2019. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)



Fuente: \_\_\_\_\_. Aparato de Destilación Kjeldahl. [En línea]. En: Labomersa. Disponible en: <https://labomersa.com/producto/aparato-de-destilacion-kjeldahl/>

**2.1.2.14 Análisis SARA ASTM D4124-09<sup>92</sup>.** Este método de prueba cubre la separación de cuatro fracciones definidas de los asfaltos de petróleo. Las cuatro fracciones se definen como saturados, aromáticos de nafteno, aromáticos polares y asfaltenos insolubles en isooctano. Este método también se puede usar para aislar saturados, aromáticos de nafteno y aromáticos polares de productos destilados tales como gasóleos de vacío, aceites lubricantes y reservas de ciclo. Estos productos destilados generalmente no contienen asfaltenos.

---

<sup>92</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D4124-09. Standard Test Method for Separation of Asphalt into Four Fractions. [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

## 2.2 PRUEBAS EN AGUA DE PRODUCCIÓN

Para el desarrollo de pruebas de laboratorio existen normas estandarizadas como las SM (Standard Methods) con el fin de integrar a nivel mundial un criterio generalizado para describir propiedades fisicoquímicas del agua, y este caso en específico del agua de producción. Se seleccionaron las normas STANDARD METHODS, puesto que cumplían con los criterios de selección:

- Calidad de la fuente de cada norma o guía
- Validez de la norma o guía en el país de implementación (Colombia)
- Disposición y costo de Equipos, instrucción y Reactivos utilizados.
- Rango de cuantificación.

Adicionalmente, como La Resolución 0631 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, permite revisar los vertimientos puntuales en diferentes tipos de actividades, como es las etapas de la vida de un campo petrolero, adicionalmente se establecen porcentajes máximos permitidos por cada parámetro, se escogió para garantizar que las pruebas establecidas son las más demandas actualmente en la industria petrolera.<sup>93</sup>

Tabla Parámetros Resolución 0631 del 2015

| MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, RESOLUCIÓN 0631 DEL 2015 |                   |                           |                          |        |                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|--------|-----------------------------------------------|
| PARÁMETRO                                                                      | UNIDADES          | EXPLORACIÓN<br>(IPSTREAM) | PRODUCCIÓN<br>(UPSTREAM) | REFINO | TRANSPORTE Y<br>ALMACENAMIENTO<br>(MIDSTREAM) |
| GENERALES                                                                      |                   |                           |                          |        |                                               |
| pH                                                                             | Unidades<br>de pH | 6 a 9                     | 6 a 9                    | 6 a 9  | 6 a 9                                         |

<sup>93</sup> <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/normativa-recurso-hidrico#resoluciones> ES UN PDF

|                                                      |                     |                    |                    |                    |                    |
|------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>              | mg/L O <sub>2</sub> | 400                | 180                | 400                | 180                |
| <b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOs)</b>          | mg/L O <sub>2</sub> | 200                | 60                 | 200                | 60                 |
| <b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>             | mg/L                | 50                 | 50                 | 50                 | 50                 |
| <b>Sólidos sedimentables (SSED)</b>                  | mg/L                | 1                  | 1                  | 1                  | 1                  |
| <b>Grasas y Aceites</b>                              | mg/L                | 15                 | 15                 | 15                 | 15                 |
| <b>Fenoles</b>                                       | mg/L                | 0,20               | 0,20               | 0,20               | 0,20               |
| <b>Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)</b> | mg/L                | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| <b>IONES</b>                                         |                     |                    |                    |                    |                    |
| <b>Cianuro Total (CN<sup>-</sup>)</b>                | mg/L                | 1                  | 1                  | 1                  |                    |
| <b>Cloruros</b>                                      | mg/L                | 1200               | 1200               | 500                | 250                |
| <b>Fluoruros(F<sup>-</sup>)</b>                      | mg/L                | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |                    |
| <b>Sulfatos</b>                                      | mg/L                | 300                | 300                | 500                | 250                |
| <b>Sulfuros</b>                                      | mg/L                | 1                  | 1                  | 1                  |                    |

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 0631 del 2015.

### 2.2.1 pH SM-4500 H+ B.

Método Electrométrico: el término pH es una forma de expresar la concentración de ion hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ion hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total.

El principio básico de la medida electrométrica del pH se fundamenta en el registro potenciométrico de la actividad de los iones hidrógeno por el uso de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, o un electrodo combinado. La fuerza electromotriz (fem) producida por el sistema electroquímico varía linealmente con el pH y puede verificarse por la obtención de una gráfica de pH vs. fem para diferentes soluciones de pH conocido.

El pH de la muestra se determina por interpolación. Casi todos los aparatos usados hoy en día utilizan el electrodo de vidrio, en combinación con un electrodo de calomel, empleado como electrodo de referencia, para medir el pH. El potencial entre los electrodos es proporcional a la concentración de iones hidrógeno en solución.<sup>94</sup>

Figura 18. pHmetro



Fuente: \_\_\_\_\_. [En línea]. En: Equipamiento Científico SAC. Disponible en: [http://equipamientocientifico.com/1908-large\\_default/phmetro-de-mesa.jpg](http://equipamientocientifico.com/1908-large_default/phmetro-de-mesa.jpg)

### 2.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO) SM-5520 D.

---

<sup>94</sup> RICE, Eugene; BAIRD, Rodger & EATON, Andrew. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Electrometric Method. Edición 23. [Online]. Washintong: American Public Health Association, 2017. Available in: [https://www.academia.edu/38769108/Standard\\_Methods\\_For\\_the\\_Examination\\_of\\_Water\\_and\\_Wastewater\\_23nd\\_edition](https://www.academia.edu/38769108/Standard_Methods_For_the_Examination_of_Water_and_Wastewater_23nd_edition)

Método Reflujo Cerrado-Colorimetría: la Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo cerrado en solución fuertemente ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) con un exceso de dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) en presencia de sulfato de plata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercurico ( $\text{HgSO}_4$ ) adicionado para eliminar la interferencia de los cloruros. Después de la digestión, el  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  remanente se titula con sulfato ferroso amoniacal para determinar la cantidad de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  consumido.

La materia orgánica se calcula en términos de oxígeno equivalente. Para muestras de un origen específico, la DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica<sup>95</sup>.

Figura 19. Bureta digital



Fuente: \_\_\_\_\_. Bureta digital. [En línea]. En: Blamis Dotaciones Laboratorio. Disponible en: <https://www.blamis.com.co/store/equipos/bureta-digital>

---

<sup>95</sup> Ibíd.

### **2.2.3 Demanda bioquímica de oxígenos (DBO5) SM-5510 B.**

Método Incubación 5 días: la oxidación microbiana o mineralización de la materia orgánica es una de las principales reacciones que ocurren en los cuerpos naturales de agua y constituye una de las demandas de oxígeno, ejercida por los microorganismos heterotróficos, que hay que cuantificar.

Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas de producción es el ensayo de DBO a cinco días. Esencialmente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C.

La prueba de DBO es una medición indirecta de la materia orgánica; mide el cambio en la concentración de DO causada por los microorganismos a medida que degradan la materia orgánica en una muestra contenida en una botella tapada, incubada durante 5 días en la oscuridad a 20 °C. La concentración de DO es medida antes y después de la incubación, y la DBO es calculada utilizando la diferencia entre las mediciones de DO.<sup>96</sup>

**2.2.4 Sólidos suspendidos totales (SST) SM-2540 D.** Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua.

Este es un método gravimétrico que se basa en la retención de las partículas sólidas en un filtro de fibra de vidrio a través del cual se hace pasar una muestra homogénea; el residuo que queda retenido se seca a 103-105°C. El incremento en el peso del filtro representa la cantidad de sólidos suspendidos totales<sup>97</sup>.

---

<sup>96</sup> Ibid.

<sup>97</sup> Ibid.



Figura 20. Bomba de vacío



Fuente: \_\_\_\_\_. Equipos de filtración con bomba de vacío para laboratorio. [En línea]. En: Labolan. Disponible en: <http://www.labolan.es/es/catalogo/microbiologia/equipos-de-filtracion-con-bomba-de-vacio.html>.

**2.2.5 Sólidos sedimentables (SSED) SM-2540 D.** Los sólidos sedimentables en las aguas de producción y los demás tipos de agua (superficiales y salinas, y en los desechos industriales domésticos), se pueden determinar con base en el volumen (ml/L) o el peso (mg/L)

El procedimiento volumétrico (cono de Imhoff) generalmente tiene un límite de medición práctico más bajo entre 0.1 y 1.0 mL / L, dependiendo de la lectura del nivel de muestra asentada puede verse afectada debido a la formación de espuma de la muestra. Al medir líquidos más pesados cuyos sólidos sedimentables medidos pueden ser > 100 ml/L, se debería usar un cilindro graduado Clase A de 1000 ml en lugar de un cono de Imhoff. (Los conos de Imhoff generalmente carecen de marcas graduadas a ese nivel o tienen marcas escaladas por 100 ml; un cilindro graduado puede ofrecer una mejor resolución).<sup>98</sup>

---

<sup>98</sup> Ibíd.

Figura 21. Cono de Imhoff



Fuente: \_\_\_\_\_. Cono de sedimentación imhoff. [En línea]. En: Acequilabs. Disponible en: <https://acequilabs.com.co/material-laboratorio/cono-de-sedimentacion-imhoff/>

### **2.2.6 Grasas y aceites SM-5520 D**

Método Soxhlet: el método de extracción Soxhlet para la determinación de grasas y aceites es aplicable para determinar lípidos biológicos, hidrocarburos ya sea fracciones pesadas o relativamente polares del petróleo y cuando los niveles de grasas no volátiles pueden alterar el límite de solubilidad del solvente.

Sólo los aceites y las grasas sólidas o viscosas presentes se separan de la muestra líquida por filtración sobre una matriz sólida absorbente. Después de la extracción en un aparato Soxhlet con solvente orgánico, se pesa el residuo que queda de la evaporación del solvente para determinar el contenido en grasa y aceite.

En la determinación de grasas y aceites no se mide una cantidad absoluta de una sustancia específica; se determinan grupos de sustancias con características físicas similares con base en su solubilidad en el solvente. Así, el término "grasas y aceites" comprende cualquier material recuperado como una sustancia soluble en el

solvente (n-hexano). Esto incluye otros materiales extraídos por el solvente de la muestra acidificada, tales como compuestos azufrados, algunos colorantes orgánicos y clorofila, no volatilizados durante el ensayo<sup>99</sup>.

Figura 22. Extractor de Soxhlet



Fuente: \_\_\_\_\_. Extractor soxhlet 6 puestos - Gerhardt. [En línea]. En: Lab Brands. Disponible en: <http://www.labbrands.com/extractores-de-grasas-soxhlet/719-extractor-soxhlet-6-puestos-gerhardt.html>

**2.2.7 Fenoles SM-5540 C.** Los fenoles se destilan a partir de impurezas no volátiles. Debido a que la volatilización de los fenoles es gradual, el volumen del destilado finalmente debe ser igual al de la muestra original.

Es un método espectrofotométrico, en el que se determinan los compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos destilados reaccionan con 4-aminoantipirina a pH  $10.0 \pm 0,1$  en presencia de ferricianuro de potasio, formando un compuesto coloreado de antipirina. Este tinte es extraído de la solución acuosa con Cloroformo  $\text{CHCl}_3$  y la absorbancia es medida a 460 nm.<sup>100</sup>

---

<sup>99</sup> Ibid.

<sup>100</sup> Ibid.

Figura 23. Equipo de destilación



Fuente: \_\_\_\_\_. Aparato de destilacion para cianuro completo 3350-C. [En línea].  
En: Reactivos y equipos s.a de c.v. Disponible en:  
<http://www.reactivosyequipos.com.mx/producto/aparato-de-destilacion-completo-3350-c/1952>

**2.2.8 Sustancias activas de azul de metileno (SAAM) SM-5530 B.** Las sustancias activas de azul de metileno (MBAS) provocan la transferencia de azul de metileno, un colorante catiónico, de una solución acuosa a un líquido orgánico inmiscible tras el equilibrio.

Esto ocurre a través de la formación por el anión MBAS y el catión azul de metileno. La intensidad del color azul resultante en la fase orgánica es una medida de MBAS. Los tensioactivos aniónicos se encuentran entre las sustancias más prominentes, naturales y sintéticas, que muestran actividad de azul de metileno.

El método MBAS es útil para estimar el contenido de surfactante aniónico en aguas de producción y en otros casos de interés (aguas residuales).<sup>101</sup>

Figura 24. Espectrofotómetro



Fuente: \_\_\_\_\_. [En línea]. En: Instrumentos de Laboratorio. Disponible en: <http://www.instrumentosdelaboratorio.net/2012/06/espectrofotometro.html>.

**2.2.9 Cianuro total (CN-) SM-4500-CN- C.** El cianuro de hidrógeno (HCN) se libera de una muestra acidificada por destilación y purga con aire, con el gas HCN recogido en una solución de lavado con NaOH.

La concentración de cianuro en la solución de lavado se determina mediante procedimientos titrimétricos, colorimétricos o potenciométricos; esto se realiza aspirando un volumen reducido de la misma de la muestra y sometiéndola a una digestión automática en medio ácido asistida por una luz UV-B, lo que evita la conversión del tiocianato en cianuro, pero asegurando que el cianuro total esté como cianuro de hidrógeno (HCN). Este compuesto se separa por destilación en línea y al condensado se lo hace reaccionar en forma automática y reproducible con los reactivos arriba detallados para generar un compuesto rojo cuya absorbancia debe ser medida.<sup>102</sup>

---

<sup>101</sup> Ibid.

<sup>102</sup> Ibid.

### 2.2.10 Cloruros (Cl-) SM-4500-Cl- B.

Método Argentométrico: este método es aplicable para la determinación de cloruros en aguas de producción, potables o superficiales, siempre y cuando no tengan excesivo color o turbidez.

Se basa en el método de Mohr. Sobre una muestra ligeramente alcalina, con pH entre 7 y 10, se añade disolución de  $\text{AgNO}_3$  valorante, y disolución indicadora  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . Los  $\text{Cl}^-$  precipitan con el ión  $\text{Ag}^+$  formando un compuesto muy insoluble de color blanco. Cuando todo el producto ha precipitado, se forma el cromato de plata, de color rojo ladrillo, que es menos insoluble que el anterior y señala el fin de la valoración.<sup>103</sup>

**2.2.11 Cloruros (Cl-) SM-4500-F- C.** El electrodo de fluoruro es un sensor selectivo de iones.

El elemento clave en el electrodo de fluoruro es el cristal de fluoruro de lantano dopado tipo láser a través del cual las soluciones de fluoruro establecen un potencial de diferentes concentraciones. El cristal contacta la solución de muestra en una cara y una solución de referencia interna en la otra. La celda puede estar representada por:  $\text{Ag} - \text{AgCl}, \text{Cl}^- (0.3M), \text{F}^- (0.001M) - \text{LaF}_3$ . Solución electrodo de referencia.

El electrodo de fluoruro se puede usar con un electrodo de referencia estándar de calomel y casi cualquier medidor de pH moderno que tenga una escala de milivoltios expandida. Los electrodos de Calomel contienen mercurio metálico y disuelto; por lo tanto, deben ser desechados o reciclados en un lugar adecuado. Por esta razón, se prefiere el electrodo de referencia  $\text{Ag} / \text{AgCl}$ .

---

<sup>103</sup> Ibid.

El electrodo de fluoruro mide la actividad iónica del fluoruro en solución en lugar de la concentración. La actividad de iones fluoruro depende de la fuerza iónica total y el pH de la solución, y de las especies complejadoras de fluoruro.

Se debe agregar un tampón apropiado para proporcionar un fondo de fuerza iónica casi uniforme, así mismo ajustar el pH y romper los complejos para de esta manera, el electrodo pueda medir la concentración.<sup>104</sup>

#### **2.2.12 Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) SM-4500-SO<sub>4</sub> 2- E:**

Método Turbidimétrico: en este método el ion sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) se precipita en un medio de ácido acético con cristales de cloruro de bario (BaCl<sub>2</sub>) sulfato (BaSO<sub>4</sub>) de tamaño uniforme. La absorción de la luz de la suspensión de BaSO<sub>4</sub> se mide mediante una concentración determinada, y esto se da mediante la comparación de la lectura con una curva estándar.<sup>105</sup>

#### **2.2.13 Sulfuros (S<sup>2-</sup>) SM-4500-S<sub>2</sub>- F:**

Método Yodométrico: en este método se necesitan de 20 a 25 g de KI, los cuáles deben disolver en agua y así mismo añadir 3,2 g de yodo, después de que esto se haya disuelto, se debe diluir a un litro y finalmente valorarlo con solución de tiosulfato de sodio 0.0250 N, usando almidón como indicador.<sup>106</sup>

### **2.3 PRUEBAS EN EMULSIONES**

---

<sup>104</sup> Ibid.

<sup>105</sup> Ibid.

<sup>106</sup> Ibid.

Para el desarrollo de pruebas de laboratorio existen normas estandarizadas como las ASTM (American Society for Testing and Materials) y ISO (International Standard Organization) con el fin de integrar a nivel mundial un criterio generalizado para describir propiedades de las emulsiones.

### **2.3.1 Evaluación del tipo y estabilidad viscoelástica de mezclas de agua en aceite formado a partir de crudo y productos a base de petróleo con agua (ASTM F3045).**

Este método se basa en un procedimiento el cual busca determinar las tendencias de emulsificación y la estabilidad de emulsiones agua en aceite en laboratorio, los resultados de esta prueba sirven como una línea base para la predicción del comportamiento del aceite en derrames marítimos, aspecto bastante importante actualmente en la industria de los hidrocarburos ya que la protección del medio ambiente se ha convertido en un objetivo ingenieril.

El método consiste en la mezcla del crudo con el 33% de agua salina por 12 horas por un aparato rotativo y la mezcla resultante es caracterizada visualmente por medio de la medición de contenido de agua y medidas reológicas donde la emulsión es caracterizada en 4 tipos: estable, inestable meso-estable y agua arrastrada.

Según la norma ASTM F3045 define los cuatro tipos de emulsiones como: estable, una emulsión que persiste indefinidamente constituida de gotas pequeñas con una película rígida en la interface la cual se resiste a la coalescencia, inestable, una emulsión la cual se separa rápidamente en dos fases usualmente en minutos u horas aunque también puede dejar agua residual, meso-estable, emulsiones las cuales carecen de un componente fundamental para formar una emulsión sin embargo son lo suficientemente estables para que persistan durante cierto periodo de tiempo.

Tabla 2. Tabla de medición

| OBJETIVO               | MEDICIÓN               | TIEMPO                | REPETICIÓN | OBJETIVO |
|------------------------|------------------------|-----------------------|------------|----------|
| CRUDO AGITADO          | Viscosidad             | Antes de mezclar      | 3          | 5%       |
| MEZCLA DE CRUDO Y AGUA | Contenido de agua      | Antes de mezclar      | 3          | 2%       |
|                        | Medición viscoelástica | Después de mezclar    | 2          | 15%      |
|                        | Contenido de agua      | Después de mezclar    | 3          | 2%       |
|                        | Medición viscoelástica | Después de una semana | 2          | 15%      |
|                        | Contenido de agua      | Después de una semana | 3          | 2%       |

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. ASTM F3045-15e1, Standard Test Method for Evaluation of the Type and Viscoelastic Stability of Water-in-oil Mixtures Formed from Crude Oil and Petroleum Products Mixed with Water. West Conshohocken, 2015.

La tabla 2<sup>107</sup> muestra los resultados a obtener para determinar la estabilidad de la emulsión donde:

$$Stability = \ln \left[ \left( \frac{\frac{complex\ modulus}{starting\ oil\ viscosity} \times \frac{storage\ modulus}{starting\ oil\ viscosity}}{10000} \right)^2 \right] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

complex modulus y storage modulus= mPa

starting oil viscosity = mPa.s

Ejemplo del Desarrollo de este método se puede observar en la figura 25 donde se llevó a cabo la medida de la estabilidad de diferentes crudos emulsionados y además fueron clasificados en los cuatro tipos de emulsiones.

### 2.3.2 Método de prueba estándar para la separabilidad del agua de crudos y fluidos sintéticos (ASTM D1401).

<sup>107</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM F3045-15e1. Standard Test Method for Evaluation of the Type and Viscoelastic Stability of Water-in-oil Mixtures Formed from Crude Oil and Petroleum Products Mixed with Water. West Conshohocken, 2015.

Este método consiste en la medición de la habilidad de los diferentes tipos de crudos o fluidos sintéticos a separarse del agua. Este método tiene un rango de operatividad respecto a la viscosidad del fluido a estudiar para viscosidades entre 28.8 mm<sup>2</sup>/s a 90 mm<sup>2</sup>/s a 40 °C<sup>108</sup>.

La realización de este método consiste en la mezcla por 5 minutos a 82 °C de 40 ml de la muestra a ser evaluada, 40 ml de agua destilada donde va a ser monitoreada cada 5 minutos observando el tiempo requerido para la separación de la emulsión, si después de 30 minutos no ocurre una separación completa o una reducción del contenido de la emulsión por debajo de 3 ml se reportan los volúmenes de agua, crudo y emulsión restantes.

Los parámetros para medir son: tipo de agua usada, temperatura de prueba, tiempo en minutos hasta alcanzar 3 ml o menos de emulsión, tiempo en minutos hasta alcanzar 37 ml de agua, tiempo en minutos hasta alcanzar completa separación es decir 40 ml de aceite, 40 ml de agua, 0 ml de emulsión.

Para la estandarización de los resultados se hace una observación de las fases resultantes, para aceite: claro, brumoso, lechoso, para agua: claro, con gotas presentes, lechoso, para la emulsión: lechoso, cremoso, combinado. Estas descripciones de las fases. Esta descripción sumada a la cantidad de agua separada indica el grado de separabilidad del agua de crudos y fluidos sintéticos.<sup>109</sup>

### **2.3.3 Método de prueba estándar para la determinación de agua en productos del petróleo, aceites lubricantes, y aditivos por valoración coulométrica de Karl Fischer (ASTM D6304).**

---

<sup>108</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D1401-18b. Standard Test Method for Water Separability of Petroleum Oils and Synthetic Fluids. West Conshohocken, 2018.

<sup>109</sup> Ibid.

Un vasto conocimiento del agua contenida en los hidrocarburos es importante para áreas como tratamiento, disposición y ventas donde se tiene en cuenta la calidad de los productos. Este método se usa para la determinación de agua en un rango de 10 mg/kg a 25000 mg/kg en productos derivados del petróleo e hidrocarburos usando instrumentación automatizada.<sup>110</sup> La muestra es inyectada en la vasija de titulación del Karl Fischer en donde se genera yodo en el ánodo del aparato, cuando toda el agua haya sido titulada el exceso de yodo es detectado por un detector electrométrico y la titulación es terminada, según la estequiometría de la reacción un mol de yodo reacciona con un mol de agua entonces la cantidad de agua es proporcional al total de la corriente integrada según la ley de Faraday.

#### **2.3.4 Método de prueba estándar para la medición de tensión interfacial de aceite-agua por el método del anillo (ASTM D971).**

La medición de la tensión interfacial es importante para determinar la estabilidad de una emulsión y su afinidad a la separación total de las fases, este método consiste en la medición de la fuerza necesaria para separar un anillo plano de alambre de platino de la superficie del líquido de mayor tensión superficial, es decir, hacia arriba desde la interfaz agua-aceite, esta medición se debe corregir por un factor calculado empíricamente que depende de la fuerza aplicada, las dimensiones del anillo, y las densidades de las dos fases.<sup>111</sup>

#### **2.3.5 Sistemas coloidales- métodos para la determinación del potencial zeta- métodos ópticos (ISO 13099-2).**

El método de determinación de potencial zeta electroforesis por dispersión de luz es actualmente el método más usado en la industria de los hidrocarburos, en esta

---

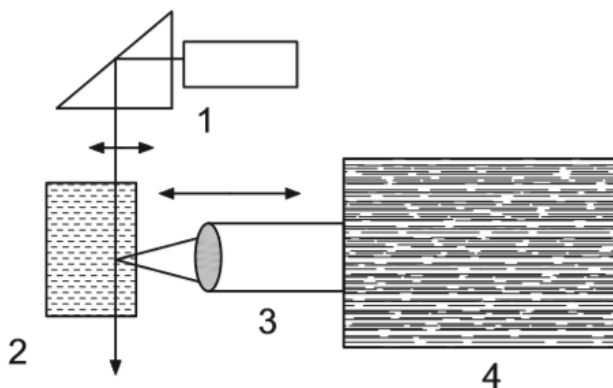
<sup>110</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D6304-16e1. Standard Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration. West Conshohocken, 2016.

<sup>111</sup> ASTM INTERNATIONAL. ASTM D971-12. Standard Test Method for Interfacial Tension of Oil Against Water by the Ring Method. West Conshohocken, 2012.

técnica se hace pasar una luz incidente que ilumina las partículas dispersas (fase dispersa) en un líquido (fase continua) el cual está sometido a un campo eléctrico. Las partículas suspendidas en el líquido se moverán al cátodo o ánodo dependiendo de la carga que estas posean, este movimiento hace que haya un cambio en la frecuencia de las partículas a partir de la cual se puede determinar la movilidad electroforética<sup>112</sup>.

Esta ecuación da una aproximación bastante cercana al cálculo del potencial zeta sin embargo se puede corregir por diferentes factores. El esquema típico de un medidor de potencial se muestra en la figura 26 donde un dispositivo de dispersión a laser a 90° es utilizado, este láser sirve como la iluminación del plano focal del microscopio. El rayo del láser y el eje del microscopio son perpendiculares al campo eléctrico aplicado siendo este a su vez perpendicular al plano de dibujo en donde se obtendrá la medición de la movilidad electroforética.

Figura 26. Funcionamiento electroforesis



Fuente: INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. Colloidal systems — Methods for zeta-potential determination — Part 2: Optical methods, 2012-06.

<sup>112</sup> INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. Colloidal systems — Methods for zeta-potential determination — Part 2: Optical methods, 2012-06.

### **2.3.6 Análisis de tamaño de partícula por medio de método de difracción de luz (ISO 13320-1).**

Los métodos de difracción de láser son actualmente los más usados para la determinación de tamaño de partícula debido a sus diferentes aplicaciones. A través de la historia se han desarrollado técnicas que en donde se realiza la dispersión de luz en ángulos pequeños resultando en técnicas como:

- Difracción Fraunhofer;
- Dispersión de luz cercana;
- Dispersión de luz de láser de bajo Ángulo.

El desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido que se realicen estudio de dispersión de luz en ángulos mucho más variados permitiendo así más precisión en las mediciones del tamaño de partícula. Todos estos métodos asumen la partícula a medir como esférica y están basados en el fenómeno de dispersión de luz en todas las direcciones con determinado patrón de intensidad que está asociado al tamaño de partícula. un arreglo básico de un instrumento de difracción de láser consiste en un rayo de luz (láser), un dispositivo de dispersión, un detector para la medición del patrón de dispersión y un computador para el control del instrumento y el cálculo de la distribución de tamaño de partícula<sup>113</sup>.

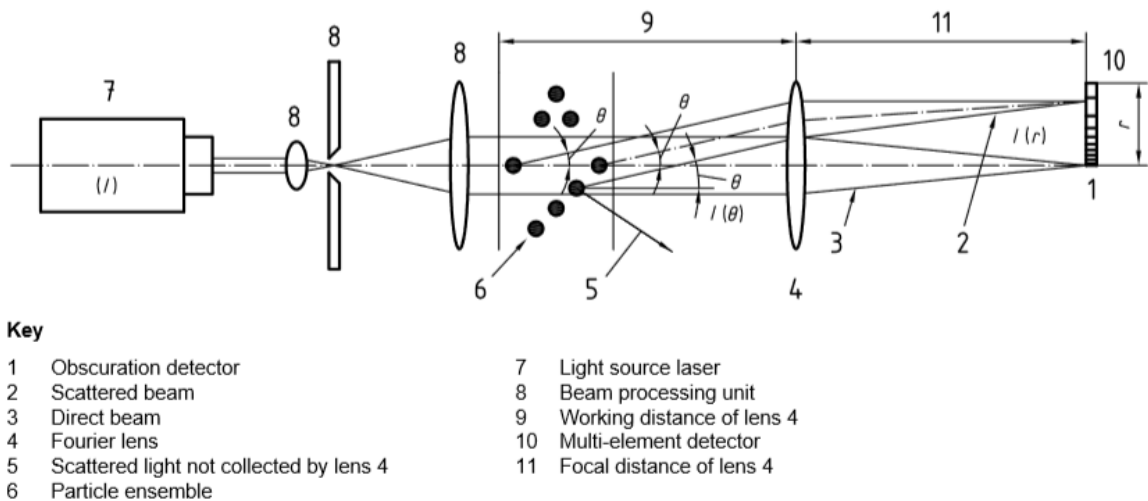
Como se mencionó anteriormente los ángulos usados en esta técnica en el pasado eran bajos, menores a 14°, lo cual limitaba la medición del tamaño de partícula a tamaños mayores de 1µm; las mediciones actuales que llegan a los 150° eliminan estas limitaciones y permiten mediciones de tamaño de partícula hasta 0,1µm.

---

<sup>113</sup> INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. Particle size analysis -- Laser diffraction methods, 2009-10.

En la figura 27 se muestra un arreglo de un dispositivo de dispersión de luz en donde una prueba representativa dispersa en un líquido o gas a determinada concentración es pasada a través de un rayo de luz monocromática, usualmente un láser, la luz dispersada por las partículas es medida por un detector y valores numéricos en referencia al patrón de dispersión son guardados para un posterior análisis. Estos valores son transformados por medio de modelos ópticos y matemáticos para así obtener la correcta distribución de tamaño de partículas.

Figura 27. Método de difracción de láser



Fuente: INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. Particle size analysis -- Laser diffraction methods, 2009-10.

### 2.3.7 Prueba de botella.

La prueba de botella consiste en la mezcla de diferentes agentes desemulsificantes con el aceite emulsionado a tratar y así dar una estimación cualitativa de cual agente es más efectivo para el rompimiento de la emulsión. En esta prueba se puede dar un estimado de la cantidad de químico y tiempo requerido para separar una emulsión. La prueba de botella se tiene que realizar con condiciones lo más cercanas posible a las de campo y es por esto que se realiza una evaluación del

químico en condiciones dinámicas es decir la flexibilidad del agente desemulsificante para procesar cambios en el sistema ya que el aceite emulsionado pasa a través de válvulas, separadores, tuberías etc.<sup>114</sup>.

Se tiene en cuenta el desemulsificante que requiera menos tiempo para separar la emulsión y a su vez que logre la mayor separación de agua posible a una mínima concentración. Las características por determinar en una prueba de botella son las siguientes:

- Rata de separación de agua: determina qué tan rápido se separa el agua de la emulsión, bastante útil en sistemas de separación donde se utiliza FWKO donde el agua tiene que ser separada lo más rápido posible.
- Lodo: el lodo es la combinación de agua, sedimentos y crudo el cual forma una especie de almohadilla entre el agua y el aceite.
- Interfase: la fase que se desea en toda prueba de botella es una en la que las dos fases, aceite y agua, puedan distinguirse sin ninguna dificultad, es decir una interfaz espejo.
- Turbidez del agua: hace alusión a la claridad del agua que se separa de la emulsión.
- Color del crudo: generalmente los crudos emulsionados tienen a tener un color mucho más oscuro que los tratados, es por lo que un crudo más claro es un indicador de que el agente desemulsificante está funcionando.

La selección del químico depende de estas características y de la correlación que se haga a condiciones dinámicas como se mencionó anteriormente, además de esto también se debe tener en cuenta el equipo de facilidades de superficie por donde va a pasar el fluido, ya que, si es un separador horizontal, vertical o incluso un “gun-barrel” puede afectar el desempeño del agente desemulsificante.

---

<sup>114</sup> ARNOLD, Ken & STEWART, Maurice. Surface production operations design of oil handling systems and facilities. 3ra. Edition. Houston, Texas: Elsevier Inc, 2008.

El procedimiento de esta prueba es bastante básico, consiste en agregar un agente desemulsificante a diferentes concentraciones para determinar cuál es la concentración óptima de separación, se repite para la cantidad de agentes químicos que se quieran estudiar, la figura 28 muestra un esquema de cómo se estructura la prueba y un ejemplo de cómo una muestra de caite emulsionado es separada.

Figura 28. Separabilidad de la emulsión



Fuente: ENRIQUEZ HERNÁNDEZ, Oscar Hugo. Fundamentos de las emulsiones agua-aceite crudo y su aplicación en la industria petrolera. Tesis de pregrado, Mención en ingeniería de petróleo. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2016.

### 3. COSTO DE LA INVERSIÓN INICIAL

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO

El módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) es un laboratorio dedicado a la caracterización de fluidos de producción mediante la medición de propiedades fisicoquímicas, proyectado a atender los estudios requeridos tanto por los estudiantes de la Universidad Industrial de Santander como de las empresas afines a la industria del petróleo.

La secuencia lógica del funcionamiento del laboratorio es la siguiente:

1. Recepción de la solicitud de la prueba a realizar.
2. Revisión de la disponibilidad de la prueba, personal y locación.
3. Recepción de la muestra a ser estudiada.
4. Realización de la prueba previamente solicitada.
5. Entrega de los resultados de la prueba.

Tabla 3. Tabla de descripción del servicio prestado en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).

| ACTIVIDAD                                                       | RESPONSABLE             | TIEMPO ESTIMADO (MINUTOS) | OBSERVACIONES                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recepción de la solicitud de la prueba a realizar               | Personal administrativo | 15                        | Esta actividad se realiza cuando el estudiante/empresa (interesados) solicita una prueba.                                                                              |
| Revisión de la disponibilidad de la prueba, personal y locación | Auxiliar laboratorista  | 15                        | Esta actividad la realiza el auxiliar de laboratorio, determinando si el laboratorio puede suplir la prueba, además de la disponibilidad del personal para realizarla. |

|                                                        |                          |      |                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Recepción de la muestra a ser estudiada</b>         | Laboratorista            | 30   | Esta actividad la realiza el laboratorista donde se encarga de recibir la muestra y disponerla de la mejor manera antes de la prueba. |
| <b>Realización de la prueba previamente solicitada</b> | Laboratorista / Auxiliar | <120 | Esta actividad la realiza el laboratorista y/o el auxiliar de acuerdo con la norma establecida para cada prueba.                      |
| <b>Entrega de los resultados de la prueba</b>          | Laboratorista            | 30   | Esta actividad la realiza el laboratorista donde entrega el resultado de la prueba al cliente.                                        |

### 3.2 INSTALACIONES REQUERIDAS

El Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) para la caracterización de crudo, agua y emulsiones se ubicará en uno de los laboratorios de la sede del Parque Tecnológico Guatiguara de la Universidad Industrial de Santander, el cual se encuentra localizado en el municipio de Piedecuesta, a 20 minutos de la capital del departamento de Santander.

Figura 29. Parque tecnológico Guatiguara

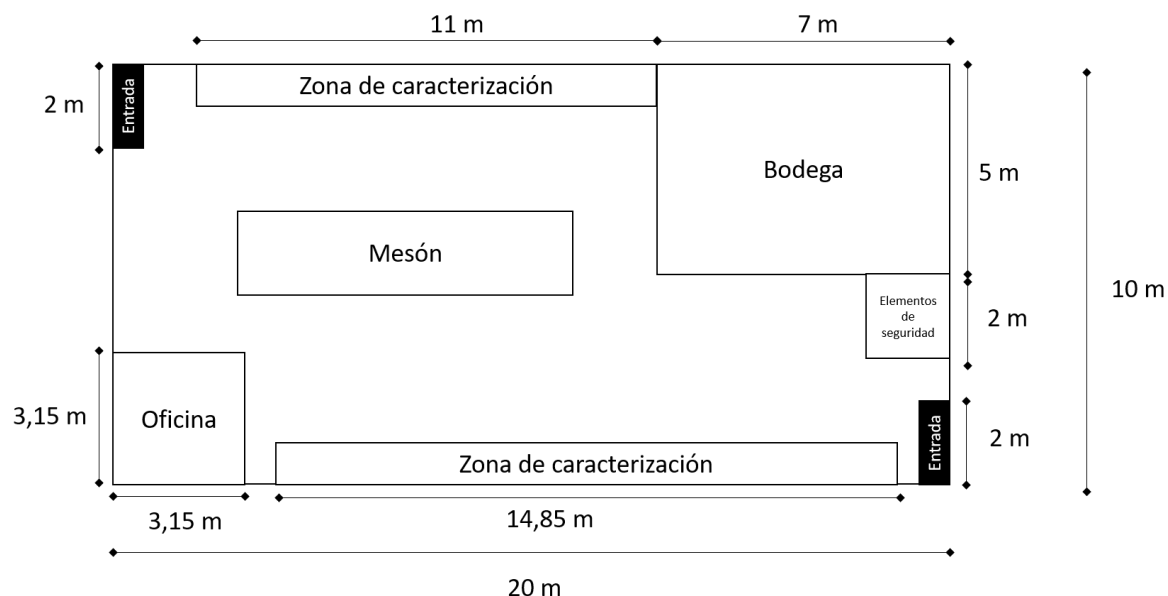


Fuente: \_\_\_\_\_. Plan Maestro Parque Tecnológico Guatiguará: petróleo y gas. [En línea]. En: Santanderinnova. Disponible en: <http://www.santanderinnova.org.co/media/2d6e8b1b2f18a427d9cfd7f8eb4eaf78.pdf>

La disposición del Parque Tecnológico de Guatiguará para este tipo de proyectos que buscan la generación de conocimiento y el crecimiento económico tanto de la región como de la Universidad Industrial de Santander fue fundamental en la selección de la ubicación del Laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP). Además de lo mencionado anteriormente, cumple con la disponibilidad en cuestión de infraestructura necesaria para la correcta instalación de los equipos.

Para el correcto funcionamiento del módulo y la correcta instalación de los equipos, se tiene un estimado de un laboratorio con las siguientes dimensiones que se muestran en la figura 30 con 24.5 metros por 24.5 metros teniendo una totalidad de 600 metros cuadrados, suficientes para la instalación de los equipos necesarios para el funcionamiento del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción.

Figura 30. Diseño básico de las instalaciones físicas que se requieren para la construcción del Laboratorio (LOOP).



La locación además de tener la ventilación adecuada, la superficie de trabajo necesaria, iluminación artificial, muebles y equipos de oficina, contará con los servicios básicos para el funcionamiento de este como luz eléctrica, servicio de acueducto y alcantarillado.

Tabla 4. Tabla de costos que se deben asumir para la adecuación del lugar del laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP)

| TERRENO                            | VALOR UNIDAD | CANTIDAD | TOTAL                 |
|------------------------------------|--------------|----------|-----------------------|
| Laboratorio y adecuación del lugar | \$ 600,000   | 600 mt2  | \$ 360,000,000        |
| Gatos mensuales (servicios)        | \$ 3,000,000 | mes      | \$ 3,000,000          |
| <b>TOTAL</b>                       |              |          | <b>\$ 363,000,000</b> |

Tabla 5. Tabla de costos que se deben asumir para la dotación de muebles del laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP)

| MUEBLES                         | VALOR UNIDAD | CANTIDAD | TOTAL               |
|---------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| Mesa para computador de oficina | \$ 884,000   | 1        | \$ 884,000          |
| Silla Oficina Pc en malla       | \$ 160,000   | 1        | \$ 160,000          |
| <b>TOTAL</b>                    |              |          | <b>\$ 1,044,000</b> |

Tabla 6. Tabla de costos que se deben asumir para la dotación de equipos tecnológicos para la oficina del laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP)

| EQUIPOS                                          | VALOR UNIDAD | CANTIDAD | TOTAL               |
|--------------------------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| Computador de escritorio Intel i7 8th generación | \$ 3,550,000 | 1        | \$ 3,550,000        |
| Impresora Epson Multifuncional L3150 Wifi        | \$ 579,900   | 1        | \$ 579,900          |
| Teléfono Panasonic Kx-tgb112                     | \$ 210,000   | 1        | \$ 210,000          |
| <b>TOTAL</b>                                     |              |          | <b>\$ 4,339,900</b> |

### 3.3 SEGURIDAD INDUSTRIAL REQUERIDA

El módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción tendrá todos los implementos de seguridad ya que la manipulación de equipos y reactivos dentro del laboratorio generan un riesgo asociado a accidentes eléctricos, derrames, incendios, explosiones, quemaduras, entre otros; es por lo que se implementaran las normas básicas de seguridad, como el correcto uso de los EPP (elementos de protección personal), extintores para sólidos, líquidos inflamables y eléctricos, kit de primeros auxilios, control de derrames, rutas de evacuación, camilla, lava ojos; como se muestra en la tabla 7. El correcto seguimiento de las normas de seguridad en el laboratorio permitirá un espacio seguro de trabajo.

Tabla 7. Elementos necesarios para garantizar la seguridad de las personas presente en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).

| SEGURIDAD                               | VALOR UNIDAD | CANTIDAD | TOTAL      |
|-----------------------------------------|--------------|----------|------------|
| <b>Elementos de Protección personal</b> |              |          |            |
| Guantes de nitrilo (cajax100)           | \$ 17,000    | 5        | \$ 85,000  |
| Guantes de carnaza                      | \$ 7,000     | 12       | \$ 84,000  |
| Mascara Filtro Vapores Polvos           | \$ 97,000    | 6        | \$ 582,000 |
| Batas                                   | \$ 50,000    | 6        | \$ 300,000 |
| Botas de seguridad                      | \$ 110,000   | 6        | \$ 660,000 |
| Camilla                                 | \$ 140,000   | 1        | \$ 140,000 |
| Kit control de derrames                 | \$ 97,000    | 1        | \$ 97,000  |

|                                 |            |    |              |
|---------------------------------|------------|----|--------------|
| <b>Kit de primeros auxilios</b> | \$ 150,000 | 1  | \$ 150,000   |
| <b>Extintores</b>               | \$ 45,000  | 2  | \$ 90,000    |
| <b>Lava ojos</b>                | \$ 314,000 | 1  | \$ 314,000   |
| <b>Gafas de seguridad</b>       | \$ 10,000  | 12 | \$ 120,000   |
| <b>TOTAL</b>                    |            |    | \$ 2,622,000 |

### 3.4 EQUIPOS Y MATERIALES REQUERIDOS

Para la elaboración del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) se necesita una gran cantidad de equipos y materiales, que va desde elementos de laboratorio sencillos como probetas, cilindros, termómetros, jeringas hasta equipos más complejos los cuales miden propiedades mucho más específicas de los fluidos de producción, como los equipos de caracterización de emulsiones. Cada elemento tiene su función específica y vital para la realización y correcto funcionamiento del módulo. Se enlistará los equipos y materiales para la realización de las pruebas mencionadas en los capítulos anteriores, clasificando cada lista en crudo, agua y emulsiones; cada elemento tiene su precio asociado a excepción de los materiales repetidos en dicha lista.

**3.4.1 Equipos y materiales para la caracterización de crudo.** A continuación, se muestra una tabla de los equipos y materiales necesarios para la instalación y desarrollo de la sección de caracterización de CRUDO del módulo de caracterización de agua, crudo y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP):

Tabla 8. Equipos y materiales necesarios para garantizar el desarrollo de las diferentes pruebas de caracterización de crudo en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).

| ITEM                              | EQUIPOS Y MATERIALES                                                                 | VALOR<br>UNIDAD             | CANTIDAD | TOTAL          |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------|----------------|
| <b>CRUDO</b>                      |                                                                                      |                             |          |                |
|                                   |                                                                                      | <b>DENSIDAD @<br/>15 °C</b> |          |                |
| 1                                 | Analizador digital de densidad                                                       | \$ 83,000,000               | 1        | \$ 83,000,000  |
| 2                                 | Baño Térmico                                                                         | \$ 350,000                  | 1        | \$ 350,000     |
| 3                                 | Jeringas                                                                             | \$ 20,000                   | 1        | \$ 20,000      |
| 4                                 | Adaptador de flujo o presión                                                         | \$ 100,000                  | 1        | \$ 100,000     |
| <b>GRAVEDAD API</b>               |                                                                                      |                             |          |                |
| 5                                 | Termómetro                                                                           | \$ 160,000                  | 1        | \$ 160,000     |
| 6                                 | Termohidrómetro                                                                      | \$ 150,000                  | 1        | \$ 150,000     |
| 7                                 | Probeta                                                                              | \$ 150,000                  | 1        | \$ 150,000     |
| 8                                 | Baño María transparente                                                              | \$ 2,000,000                | 1        | \$ 2,000,000   |
| <b>NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN</b>   |                                                                                      |                             |          |                |
| 9                                 | Potenciómetro                                                                        | \$ 600,000                  | 1        | \$ 600,000     |
| <b>PRUEBA DE VAPOR REID</b>       |                                                                                      |                             |          |                |
| 10                                | Cilindros                                                                            | \$ 60,000                   | 1        | \$ 60,000      |
| 11                                | Botella                                                                              | \$ 100,000                  | 1        | \$ 100,000     |
| 12                                | Tubing                                                                               | \$ 15,000                   | 1        | \$ 15,000      |
| 13                                | Baño Térmico                                                                         | \$ 1,500,000                | 1        | \$ 1,500,000   |
| 14                                | Equipo de vapor Reid                                                                 | \$ 80,000,000               | 1        | \$ 80,000,000  |
| <b>PUNTO DE FLUIDEZ</b>           |                                                                                      |                             |          |                |
| 15                                | Tubo de vidrio fondo plano o tubo de ensayo                                          | \$ 30,000                   | 1        | \$ 30,000      |
| 16                                | Termómetro                                                                           | \$ 0                        | 1        | \$ 0           |
| 17                                | Corcho                                                                               | \$ 20,000                   | 1        | \$ 20,000      |
| 18                                | Baño térmico                                                                         | \$ 0                        | 1        | \$ 0           |
| <b>PUNTO DE INFLAMACIÓN</b>       |                                                                                      |                             |          |                |
| 19                                | Pensky-Martens                                                                       | \$ 14,000,000               | 1        | \$ 14,000,000  |
| 20                                | Termómetro                                                                           | \$ 0                        | 1        | \$ 0           |
| <b>CONSTANTE DEVISCO GRAVEDAD</b> |                                                                                      |                             |          |                |
| 21                                | Viscosímetro                                                                         | \$ 550,000                  | 1        | \$ 550,000     |
| <b>VISCOSIDAD SAYBOLT</b>         |                                                                                      |                             |          |                |
| 22                                | Baño térmico                                                                         | \$ 0                        | 1        | \$ 0           |
| 23                                | Cronómetro                                                                           | \$ 15,000                   | 1        | \$ 15,000      |
| 24                                | Viscosímetro                                                                         | \$ 0                        | 1        | \$ 0           |
| <b>AGUA Y SEDIMENTOS</b>          |                                                                                      |                             |          |                |
| 25                                | Baño térmico                                                                         | \$ 0                        | 1        | \$ 0           |
| 26                                | Centrifuga                                                                           | \$ 500,000                  | 1        | \$ 500,000     |
| <b>CONTENIDO DE AZUFRE</b>        |                                                                                      |                             |          |                |
| 27                                | Espectrómetro de fluorescencia de rayos X por dispersión de longitud de onda (WDXRF) | \$ 150,000,000              | 1        | \$ 150,000,000 |
| <b>RESIDUOS DE CARBONO</b>        |                                                                                      |                             |          |                |
| 28                                | Viales de vidrio                                                                     | \$ 95,000                   | 1        | \$ 95,000      |
| 29                                | Balanza analítica                                                                    | \$ 6,500,000                | 1        | \$ 6,500,000   |
| 30                                | Goteros, jeringas                                                                    | \$ 0                        | 1        | \$ 0           |
| 31                                | Termocupla                                                                           | \$ 25,000                   | 1        | \$ 25,000      |
| 32                                | Horno de coque                                                                       | \$ 5,000,000                | 1        | \$ 5,000,000   |
| <b>DESTILACIÓN SIMULADA</b>       |                                                                                      |                             |          |                |

|                                                                         |                                                |                |   |                       |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------|---|-----------------------|
| 33                                                                      | Equipo de destilación                          | \$ 10,000,000  | 1 | \$ 10,000,000         |
| 34                                                                      | Bomba                                          | \$ 250,000     | 1 | \$ 250,000            |
| 35                                                                      | Sensores de temperatura                        | \$ 220,000     | 1 | \$ 220,000            |
| <b>CENIZAS</b>                                                          |                                                |                |   |                       |
| 36                                                                      | Crisol de porcelana                            | \$ 95,000      | 1 | \$ 95,000             |
| 37                                                                      | Triangulo de hierro                            | \$ 200,000     | 1 | \$ 200,000            |
| 38                                                                      | soporte                                        | \$ 50,000      | 1 | \$ 50,000             |
| 39                                                                      | Mechero de gas                                 | \$ 50,000      | 1 | \$ 50,000             |
| <b>PODER CALORIFICO</b>                                                 |                                                |                |   |                       |
| 40                                                                      | Balanza analítica                              | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| 41                                                                      | Papel de filtro                                | \$ 40,000      | 1 | \$ 40,000             |
| 42                                                                      | Cinta(presión)                                 | \$ 100,000     | 1 | \$ 100,000            |
| 43                                                                      | Calorímetro de bomba                           | \$ 150,000     | 1 | \$ 150,000            |
| <b>CONTENIDO DE SAL</b>                                                 |                                                |                |   |                       |
| 44                                                                      | Pipetas                                        | \$ 180,000     | 1 | \$ 180,000            |
| 45                                                                      | Frascos volumétricos                           | \$ 120,000     | 1 | \$ 120,000            |
| 46                                                                      | Equipo de cloruro electrométrico O salinometro | \$ 400,000     | 1 | \$ 400,000            |
| 47                                                                      | Breaker de prueba                              | \$ 150,000     | 1 | \$ 150,000            |
| <b>COBRE, HIERRO, MAGNESIO, NIQUEL, SODIO, VANADIO, CALCIO, SILICIO</b> |                                                |                |   |                       |
| 48                                                                      | Espectrómetro de absorción atómica             | \$ 150,000,000 | 1 | \$ 150,000,000        |
| 49                                                                      | Aparato de descomposición de muestra           | \$ 1,500,000   | 1 | \$ 1,500,000          |
| 50                                                                      | Mufla Eléctrica                                | \$ 3,000,000   | 1 | \$ 3,000,000          |
| 51                                                                      | Baño térmico                                   | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| 52                                                                      | Material de vidrio                             | \$ 50,000      | 1 | \$ 50,000             |
| 53                                                                      | Placa de calentamiento                         | \$ 350,000     | 1 | \$ 350,000            |
| 54                                                                      | Horno de secado                                | \$ 8,000,000   | 1 | \$ 8,000,000          |
| 55                                                                      | Viales                                         | \$ 300,000     | 1 | \$ 300,000            |
| <b>DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA</b>                                          |                                                |                |   |                       |
| 56                                                                      | Equipo de destilación                          | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| 57                                                                      | Bomba                                          | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| 58                                                                      | Sensores de temperatura                        | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| <b>DESTILACIÓN AL VACÍO</b>                                             |                                                |                |   |                       |
| 59                                                                      | Equipo de destilación                          | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| 60                                                                      | Sistema de agitación                           | \$ 400,000     | 1 | \$ 400,000            |
| 61                                                                      | Placa de calentamiento                         | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| 62                                                                      | Condensador                                    | \$ 250,000     | 1 | \$ 250,000            |
| <b>NITRÓGENO KJELDAH</b>                                                |                                                |                |   |                       |
| 63                                                                      | Bureta                                         | \$ 450,000     | 1 | \$ 450,000            |
| 64                                                                      | Equipo de destilación                          | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| 65                                                                      | Erlenmeyer                                     | \$ 85,000      | 1 | \$ 85,000             |
| 66                                                                      | Placa de calentamiento                         | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| <b>ANÁLISIS SARA</b>                                                    |                                                |                |   |                       |
| 67                                                                      | Vaso precipitado                               | \$ 120,000     | 1 | \$ 120,000            |
| 68                                                                      | Papel de filtro                                | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| 69                                                                      | Erlenmeyer                                     | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| 70                                                                      | Columna de gel                                 | \$ 150,000     | 1 | \$ 150,000            |
| 71                                                                      | Placa de calentamiento                         | \$ 0           | 1 | \$ 0                  |
| <b>TOTAL</b>                                                            |                                                |                |   | <b>\$ 521,600,000</b> |

**3.4.2 Equipos y materiales para la caracterización de agua de producción.** A continuación, se muestra una tabla de los equipos y materiales necesarios para la instalación y desarrollo de la sección de caracterización de agua del módulo de caracterización de agua, crudo y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP):

Tabla 9. Equipos y materiales necesarios para garantizar el desarrollo de las diferentes pruebas de caracterización de agua de producción en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).

| ITEM                                         | EQUIPOS Y MATERIALES                                                  | VALOR UNIDAD  | CANTIDAD | TOTAL         |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------|----------|---------------|
| <b>AGUA DE PRODUCCIÓN</b>                    |                                                                       |               |          |               |
| <b>pH</b>                                    |                                                                       |               |          |               |
| 1                                            | pHmetro                                                               | \$ 3,400,000  | 1        | \$ 3,400,000  |
| 2                                            | Balones Aforados clase A de 1000 mL                                   | \$ 120,000    | 1        | \$ 120,000    |
| 3                                            | Vasos de vidrio de 100 mL.                                            | \$ 9,000      | 1        | \$ 9,000      |
| 4                                            | Agitador magnético                                                    | \$ 1,800,000  | 1        | \$ 1,800,000  |
| <b>DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)</b>      |                                                                       |               |          |               |
| 5                                            | Bureta digital                                                        | \$ 5,500,000  | 1        | \$ 5,500,000  |
| 6                                            | Bureta de vidrio, con una capacidad de 10 mL y una resolución 0.02 mL | \$ 200,000    | 1        | \$ 200,000    |
| 7                                            | Bureta de vidrio, con una capacidad de 50 mL y una resolución 0.1 ml  | \$ 250,000    | 1        | \$ 250,000    |
| 8                                            | Balanza analítica                                                     | \$ 6,500,000  | 1        | \$ 6,500,000  |
| 9                                            | Microdigestador para micro DQO                                        | \$ 3,500,000  | 1        | \$ 3,500,000  |
| 10                                           | Termoreactor para DQO                                                 | \$ 0          | 1        | \$ 0          |
| 11                                           | Balones Aforados clase A de 50 mL                                     | \$ 60,000     | 1        | \$ 60,000     |
| 12                                           | Erlenmeyers de 125 mL.                                                | \$ 50,000     | 1        | \$ 50,000     |
| 13                                           | Pipetas aforadas clase A, de 2, 2.5, 5, 6, 10, 20 y 25 mL.            | \$ 140,000    | 1        | \$ 140,000    |
| 14                                           | Pipetas graduadas de 5 y 10 mL.                                       | \$ 40,000     | 1        | \$ 40,000     |
| 15                                           | Probetas vidrio de 50 mL.                                             | \$ 40,000     | 1        | \$ 40,000     |
| 16                                           | Transferpipeta de 10 mL                                               | \$ 275,000    | 1        | \$ 275,000    |
| 17                                           | Pipeta Pasteur                                                        | \$ 50,000     | 1        | \$ 50,000     |
| 18                                           | Microespátula                                                         | \$ 70,000     | 1        | \$ 70,000     |
| 19                                           | Micropipeta de 1000 µL                                                | \$ 200,000    | 1        | \$ 200,000    |
| 20                                           | Tubos de digestión de 16x100 mm                                       | \$ 150,000    | 1        | \$ 150,000    |
| 21                                           | Tubos de digestión de 25 x 150 mm                                     | \$ 150,000    | 1        | \$ 150,000    |
| <b>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENOS (DB05)</b> |                                                                       |               |          |               |
| 22                                           | Balanza analítica                                                     | \$ 6,500,000  | 1        | \$ 6,500,000  |
| 23                                           | Incubadora                                                            | \$ 13,000,000 | 1        | \$ 13,000,000 |
| 24                                           | Botellas de Polipropileno de 2000 mL (6)                              | \$ 380,000    | 1        | \$ 380,000    |
| 25                                           | Botellas de Winkler de aproximadamente 300 mL de capacidad            | \$ 60,000     | 1        | \$ 60,000     |
| 26                                           | Garrafa con llave de 20 L de capacidad y con dispensador.             | \$ 80,000     | 1        | \$ 80,000     |

|                                          |                                                                                                                 |               |   |               |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---|---------------|
| 27                                       | Balón aforado de 1L Clase A (6)                                                                                 | \$ 700,000    | 1 | \$ 700,000    |
| 28                                       | Balones aforados de 100 mL Clase A (6)                                                                          | \$ 300,000    | 1 | \$ 300,000    |
| 29                                       | Pipetas graduadas de 10 mL Clase B                                                                              | \$ 15,000     | 1 | \$ 15,000     |
| 30                                       | Pipetas Graduadas de 1,2,3,4,5,10,20,50, 100 mL boca ancha                                                      | \$ 15,000     | 1 | \$ 15,000     |
| 31                                       | Probetas de 250, 500 mL(2)                                                                                      | \$ 200,000    | 1 | \$ 200,000    |
| <b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)</b> |                                                                                                                 |               |   |               |
| 32                                       | Horno digital                                                                                                   | \$ 7,000,000  | 1 | \$ 7,000,000  |
| 33                                       | Balanza analítica                                                                                               | \$ 0          | 1 | \$ 0          |
| 34                                       | Bomba de vacío                                                                                                  | \$ 3,000,000  | 1 | \$ 3,000,000  |
| 35                                       | Botellas de Polipropileno                                                                                       | \$ 380,000    | 1 | \$ 380,000    |
| 36                                       | Filtros de fibra de vidrio                                                                                      | \$ 500,000    | 1 | \$ 500,000    |
| 37                                       | Cápsulas de aluminio de 65 mm de diámetro                                                                       | \$ 140,000    | 1 | \$ 140,000    |
| 38                                       | Pinzas metálicas                                                                                                | \$ 85,000     | 1 | \$ 85,000     |
| 39                                       | Microespátula                                                                                                   | \$ 0          | 1 | \$ 0          |
| 40                                       | Desecador                                                                                                       | \$ 800,000    | 1 | \$ 800,000    |
| 41                                       | Probetas de vidrio de 100, 250 y 500 ML                                                                         | \$ 200,000    | 1 | \$ 200,000    |
| 42                                       | Frasco lavdor (3)                                                                                               | \$ 70,000     | 1 | \$ 70,000     |
| <b>SÓLIDOS SEDIMENTABLES (SSED)</b>      |                                                                                                                 |               |   |               |
| 43                                       | Cono de Imhoff                                                                                                  | \$ 250,000    | 1 | \$ 250,000    |
| 44                                       | Cilindro graduado Clase A                                                                                       | \$ 50,000     | 1 | \$ 50,000     |
| 45                                       | Varilla agitadora (vidrio)                                                                                      | \$ 10,000     | 1 | \$ 10,000     |
| <b>GRASAS Y ACEITES</b>                  |                                                                                                                 |               |   |               |
| 46                                       | Extractor Soxhlet                                                                                               | \$ 950,000    | 1 | \$ 950,000    |
| 47                                       | Bomba de vacío                                                                                                  | \$ 0          | 1 | \$ 0          |
| 48                                       | Cabina extractora de vapores orgánicos                                                                          | \$ 30,000,000 | 1 | \$ 30,000,000 |
| 49                                       | Balanza analítica                                                                                               | \$ 0          | 1 | \$ 0          |
| 50                                       | Horno de secado                                                                                                 | \$ 0          | 1 | \$ 0          |
| 51                                       | Rotavapor                                                                                                       | \$ 15,000,000 | 1 | \$ 15,000,000 |
| 52                                       | Desecador                                                                                                       | \$ 0          | 1 | \$ 0          |
| 53                                       | Embudo Buchner                                                                                                  | \$ 150,000    | 1 | \$ 150,000    |
| 54                                       | Dedal de extracción de vidrio                                                                                   | \$ 450,000    | 1 | \$ 450,000    |
| 55                                       | Papel de filtro, de 11 cm de doámetro                                                                           | \$ 60,000     | 1 | \$ 60,000     |
| 56                                       | Discos de muselina                                                                                              | \$ 100,000    | 1 | \$ 100,000    |
| 57                                       | Pinzas metálicas                                                                                                | \$ 0          | 1 | \$ 0          |
| 58                                       | Frasco lavdor (3)                                                                                               | \$ 70,000     | 1 | \$ 70,000     |
| 59                                       | Vaso de precipitado de 50 mL                                                                                    | \$ 15,000     | 1 | \$ 15,000     |
| 60                                       | Varilla agitadora (vidrio)                                                                                      | \$ 0          | 1 | \$ 0          |
| <b>FENOLES</b>                           |                                                                                                                 |               |   |               |
| 61                                       | Balanza analítica                                                                                               | \$ 0          | 1 | \$ 0          |
| 62                                       | Equipo de destilación: bañón de destilación, condensador Graham, embudo de filtración y balón aforado de 200 mL | \$ 17,000,000 | 1 | \$ 17,000,000 |
| 63                                       | pHmetro                                                                                                         | \$ 0          | 1 | \$ 0          |
| 64                                       | Espectrofotómetro                                                                                               | \$ 28,000,000 | 1 | \$ 28,000,000 |
| 65                                       | Celda de vidrio de 1cm de paso de luz                                                                           | \$ 315,000    | 1 | \$ 315,000    |
| 66                                       | Papel de filtro cualitativo                                                                                     | \$ 60,000     | 1 | \$ 60,000     |
| 67                                       | Botellas de polipropileno de 500 mL o 1L                                                                        | \$ 60,000     | 1 | \$ 60,000     |
| 68                                       | Balones de capacidad 1L (6)                                                                                     | \$ 700,000    | 1 | \$ 700,000    |

|                                                      |                                                             |               |   |                       |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------|---|-----------------------|
| 69                                                   | Microespátula                                               | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| 70                                                   | Balones aforados de 100 mL, 250 mL y 1 L Clase A (6, 2 c/u) | \$ 540,000    | 1 | \$ 540,000            |
| 71                                                   | Balones aforados de 200 mL Clase A o Clase B (6)            | \$ 310,000    | 1 | \$ 310,000            |
| 72                                                   | Pipetas aforadas de 1,2,3,4,5,10,20,50,100 mL Clase A       | \$ 15,000     | 1 | \$ 15,000             |
| 73                                                   | Frasco lavador                                              | \$ 50,000     | 1 | \$ 50,000             |
| 74                                                   | Probetas de vidrio de 50, 100 y 250 mL                      | \$ 80,000     | 1 | \$ 80,000             |
| 75                                                   | Embudos de Separación de 500 mL                             | \$ 450,000    | 1 | \$ 450,000            |
| 76                                                   | Vasos de vidrio de 50 mL                                    | \$ 40,000     | 1 | \$ 40,000             |
| <b>SUSTANCIAS ACTIVAS DE AZUL DE METILENO (SAAM)</b> |                                                             |               |   |                       |
| 77                                                   | Espectrofotómetro                                           | \$ 25,000,000 | 1 | \$ 25,000,000         |
| 78                                                   | Fotómetro de filtro                                         | \$ 500,000    | 1 | \$ 500,000            |
| 79                                                   | Embudos de Decantación de 500 mL                            | \$ 450,000    | 1 | \$ 450,000            |
| <b>CIANURO TOTAL (CN-)</b>                           |                                                             |               |   |                       |
| 80                                                   | Absorbedor de gas                                           | \$ 250,000    | 1 | \$ 250,000            |
| 81                                                   | Elemento de calefacción                                     | \$ 2,300,000  | 1 | \$ 2,300,000          |
| 82                                                   | Juntas de vidrio                                            | \$ 150,000    | 1 | \$ 150,000            |
| 83                                                   | Balanza analítica                                           | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| 84                                                   | Balón de destilación                                        | \$ 150,000    | 1 | \$ 150,000            |
| <b>CLORUROS (CL-)</b>                                |                                                             |               |   |                       |
| 85                                                   | Balanza analítica                                           | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| <b>FLUORUROS (F-)</b>                                |                                                             |               |   |                       |
| 86                                                   | pHmetro                                                     | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| 87                                                   | Agitador magnético                                          | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| 88                                                   | Manta de agitación                                          | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| 89                                                   | Balanza analítica                                           | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| <b>SULFATOS (SO42-)</b>                              |                                                             |               |   |                       |
| 90                                                   | Cronometro                                                  | \$ 70,000     | 1 | \$ 70,000             |
| 91                                                   | Celdas de cuarzo de 1 cm de diámetro                        | \$ 750,000    | 1 | \$ 750,000            |
| 92                                                   | Vasos de precipitador de 100, 250, 500 y 1000 mL            | \$ 40,000     | 1 | \$ 40,000             |
| 93                                                   | Balón aforado de 100,500 y 1000 mL                          | \$ 150,000    | 1 | \$ 150,000            |
| 94                                                   | Peras de succión                                            | \$ 90,000     | 1 | \$ 90,000             |
| 95                                                   | Vidrio de reloj                                             | \$ 31,000     | 1 | \$ 31,000             |
| 96                                                   | Celda de vidrio de 1cm de paso de luz                       | \$ 60,000     | 1 | \$ 60,000             |
| <b>SULFUROS (S2-)</b>                                |                                                             |               |   |                       |
| 97                                                   | Agitador magnético                                          | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| 98                                                   | Vasos de precipitador de 100, 250, 500 y 1000 mL            | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| 99                                                   | Matraz Erlenmeyer 100, 250 y 500 mL                         | \$ 200,000    | 1 | \$ 200,000            |
| 100                                                  | Peras de succión                                            | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| 101                                                  | Pipeta de 200 mL                                            | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| <b>TOTAL</b>                                         |                                                             |               |   | <b>\$ 180,845,000</b> |

**3.4.3 Equipos y materiales para la caracterización de emulsiones.** A continuación, se muestra una tabla de los equipos y materiales necesarios para la instalación y desarrollo de la sección de caracterización de emulsiones del módulo

de caracterización de agua, crudo y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP):

Tabla 10. Equipos y materiales necesarios para garantizar el desarrollo de las diferentes pruebas de caracterización de emulsiones en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).

| ITEM                                                                             | EQUIPOS Y MATERIALES                                 | VALOR UNIDAD  | CANTIDAD | TOTAL         |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------|----------|---------------|
| <b>EMSULSIONES</b>                                                               |                                                      |               |          |               |
| <b>STABILITY REVERSE OF CRUDE</b>                                                |                                                      |               |          |               |
| 1                                                                                | PC-based computer                                    | \$ 60,000,000 | 1        | \$ 60,000,000 |
| 2                                                                                | Optical Scanning Device                              | \$ 0          | 1        | \$ 0          |
| 3                                                                                | vial glass (15ml)                                    | \$ 300,000    | 1        | \$ 300,000    |
| 4                                                                                | Pipetas 5-10 ml)                                     | \$ 25,000     | 1        | \$ 25,000     |
| 5                                                                                | Botella (1/4 L-50 ml)                                | \$ 210,000    | 1        | \$ 210,000    |
| 6                                                                                | Cilindros (25 ml)                                    | \$ 58,000     | 1        | \$ 58,000     |
| 7                                                                                | Horno                                                | \$ 300,000    | 1        | \$ 300,000    |
| 8                                                                                | Bureta                                               | \$ 4,500,000  | 1        | \$ 4,500,000  |
| 9                                                                                | Balanza analítica                                    | \$ 600,000    | 1        | \$ 600,000    |
| 10                                                                               | Barra magnetica fluorocarbonada                      | \$ 700,000    | 1        | \$ 700,000    |
| <b>TIPO Y ESTABILIDAD VISCOELASTICA DE LA EMULSION</b>                           |                                                      |               |          |               |
| 11                                                                               | Botella (HDPE 2.2 L)                                 | \$ 1,500,000  | 1        | \$ 1,500,000  |
| 12                                                                               | Barra de agitación                                   | \$ 300,000    | 1        | \$ 300,000    |
| 13                                                                               | Reometro (ThermoHaake RheoStress RS6000)             | \$ 10,000,000 | 1        | \$ 10,000,000 |
| 14                                                                               | Mixer (radio de rotación 15 cm)                      | \$ 180,000    | 1        | \$ 180,000    |
| 15                                                                               | Baño térmico (0-25°C)                                | \$ 350,000    | 1        | \$ 350,000    |
| 16                                                                               | Botellas (manejo y almacenamiento)                   | \$ 70,000     | 1        | \$ 70,000     |
| 17                                                                               | Garrafa (20 L) almacenamiento                        | \$ 50,000     | 1        | \$ 50,000     |
| 18                                                                               | Espatulas                                            | \$ 80,000     | 1        | \$ 80,000     |
| 19                                                                               | Plato de agitación (20L)                             | \$ 200,000    | 1        | \$ 200,000    |
| 20                                                                               | Jeringas plásticas (30, 1mml)                        | \$ 4,000      | 1        | \$ 4,000      |
| 21                                                                               | Salinometro (Senslon 745)                            | \$ 400,000    | 1        | \$ 400,000    |
| 22                                                                               | Analizador Karl Fisher Titration ( Metrohm 784 KFP ) | \$ 0          | 1        | \$ 0          |
| <b>SEPARABILIDAD DEL AGUA</b>                                                    |                                                      |               |          |               |
| 23                                                                               | Cilindro 100 ml                                      | \$ 60,000     | 1        | \$ 60,000     |
| 24                                                                               | Baño Térmico                                         | \$ 350,000    | 1        | \$ 350,000    |
| 25                                                                               | Paleta de agitación inoxidable (Diámetro 6mm)        | \$ 100,000    | 1        | \$ 100,000    |
| 26                                                                               | Espátula                                             | \$ 50,000     | 1        | \$ 50,000     |
| <b>DETERMINATION OF WATER IN PETROLEUM BY COULOMETRIC KARL FISCHER TITRATION</b> |                                                      |               |          |               |
| 27                                                                               | Aparato coulométrico Karl Fischer                    | \$ 12,000,000 | 1        | \$ 12,000,000 |
| 28                                                                               | Accesorio vaporizador de agua                        | \$ 500,000    | 1        | \$ 500,000    |
| 29                                                                               | Jeringas plásticas                                   | \$ 20,000     | 1        | \$ 20,000     |
| 30                                                                               | Micro jeringas                                       | \$ 500,000    | 1        | \$ 500,000    |

| STANDARD TEST METHOD FOR INTERFACIAL TENSION OF OIL AGAINST WATER BY THE RING METHOD |                                      |               |   |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------|---|-----------------------|
| 31                                                                                   | Kruss-bro-K100                       | \$ 12,000,000 | 1 | \$ 12,000,000         |
| 32                                                                                   | Tensiómetro                          | \$ 3,500,000  | 1 | \$ 3,500,000          |
| 33                                                                                   | Plataforma horizontal                | \$ 60,000     | 1 | \$ 60,000             |
| 34                                                                                   | Anillos de platino                   | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| 35                                                                                   | Cilindro 100 ml                      | \$ 0          | 1 | \$ 0                  |
| COLLOIDAL SYSTEMS-METHODS FOR ZETA POTENCIAL                                         |                                      |               |   |                       |
| 36                                                                                   | Analizador de nano particulas SZ-100 | \$ 65,000,000 | 1 | \$ 65,000,000         |
| 37                                                                                   | Zetasizer WT                         | \$ 40,000,000 | 1 | \$ 40,000,000         |
| PARTICLE SIZE ANALYSIS-LASER DIFFRECTION METHODS                                     |                                      |               |   |                       |
| 38                                                                                   | Partica LA-350                       | \$ 45,000,000 | 1 | \$ 45,000,000         |
| 39                                                                                   | Mastersizer 3000                     | \$ 85,000,000 | 1 | \$ 85,000,000         |
| <b>TOTAL</b>                                                                         |                                      |               |   | <b>\$ 343,967,000</b> |

### 3.5 REACTIVOS NECESARIOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Los reactivos e insumos son tan importantes como como los materiales y equipos para poder llevar a cabo una prueba de laboratorio, en la tabla 11 se muestra la inversión inicial en reactivos e insumos para el funcionamiento del módulo para caracterizar los fluidos mencionados anteriormente, cabe destacar que a medida que las pruebas se vayan realizando el gasto de estos se verá reflejado y por ende es necesaria la adquisición de más reactivos según el laboratorio lo requiera.

Tabla 11. Reactivos necesarios para garantizar el desarrollo de las diferentes pruebas de caracterización de crudo, agua y emulsiones en el laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).

| ITEM                | REACTIVOS           | VALOR      |
|---------------------|---------------------|------------|
| <b>CRUDO</b>        |                     |            |
| <b>DENSIDAD</b>     |                     |            |
| 1                   | Agua pura           | \$ 100,000 |
| 2                   | Agua destilada (1L) | \$ 25,000  |
| 3                   | Acetona             | \$ 175,000 |
| 4                   | Aire Seco           | \$ 200,000 |
| <b>GRAVEDAD API</b> |                     |            |
| 5                   | Agua pura           | \$ 100,000 |
| 6                   | Agua destilada      | \$ 25,000  |
| 7                   | Acetona             | \$ 175,000 |

|                                                                         |                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------|
| 8                                                                       | Aire Seco                               | \$ 200,000 |
| <b>NÚMERO DE NEUTRALIZACIÓN</b>                                         |                                         |            |
| 9                                                                       | Hidróxido de potasio ( 1amp)            | \$ 120,000 |
| 10                                                                      | Propanol (1L)                           | \$ 140,000 |
| 11                                                                      | Tolueno (1L)                            | \$ 322,000 |
| <b>PRUEBA DE VAPOR REID</b>                                             |                                         |            |
| 12                                                                      | n-Decano (250 ml)                       | \$ 540,000 |
| 13                                                                      | Etanol (1L)                             | \$ 110,000 |
| 14                                                                      | Pentano (1L)                            | \$ 315,000 |
| 15                                                                      | 2,2 dimetilbutano (1L)                  | \$ 350,000 |
| 16                                                                      | 2,3 dimetilbutano (1L)                  | \$ 350,000 |
| <b>PUNTO DE FLUIDEZ</b>                                                 |                                         |            |
| 17                                                                      | Hielo molido y cloruro de calcio (1 KG) | \$ 774,000 |
| 18                                                                      | Acetona                                 | \$ 175,000 |
| 19                                                                      | Sal (1 KG)                              | \$ 575,000 |
| <b>PUNTO DE INFLAMACIÓN</b>                                             |                                         |            |
| 20                                                                      | Cloruro calcico (1KG)                   | \$ 774,000 |
| 21                                                                      | Ácido crómico (25 g)                    | \$ 430,000 |
| 22                                                                      | Tolueno (1L)                            | \$ 322,000 |
| <b>VISCOSIDAD SAYBOLT</b>                                               |                                         |            |
| 23                                                                      | Xileno (5L)                             | \$ 533,000 |
| 24                                                                      | Acetona                                 | \$ 175,000 |
| 25                                                                      | Agua Destilada                          | \$ 25,000  |
| <b>AGUA Y SEDIMENTOS</b>                                                |                                         |            |
| 26                                                                      | Desemulsificantes                       | \$ 400,000 |
| 27                                                                      | Xileno (5L)                             | \$ 533,000 |
| 28                                                                      | Tolueno (1L)                            | \$ 322,000 |
| <b>CONTENIDO DE AZUFRE</b>                                              |                                         |            |
| 29                                                                      | Di-n-Butil sulfide (DBS) (100 ml)       | \$ 630,000 |
| 30                                                                      | Aceite de polisulfuro (25,6 KG)         | \$ 214,000 |
| <b>RESIDUOS DE CARBONO</b>                                              |                                         |            |
| 31                                                                      | Nitrógeno (100 ml)                      | \$ 247,000 |
| <b>DESTILACIÓN SIMULADA</b>                                             |                                         |            |
| 32                                                                      | n-heptano (1L)                          | \$ 280,000 |
| 33                                                                      | Metilciclohexano (1L)                   | \$ 140,000 |
| <b>CENIZAS</b>                                                          |                                         |            |
| 34                                                                      | Alcohol isopropilico (1KG)              | \$ 300,000 |
| <b>PODER CALORÍFICO</b>                                                 |                                         |            |
| 35                                                                      | Ácido benzoico (100 g)                  | \$ 160,000 |
| 36                                                                      | Aceite mineral (1L)                     | \$ 50,000  |
| 37                                                                      | Agua destilada (1L)                     | \$ 25,000  |
| <b>CONTENIDO DE SAL</b>                                                 |                                         |            |
| 38                                                                      | Agua pura                               | \$ 100,000 |
| 39                                                                      | 1-butanol (500 ml)                      | \$ 210,000 |
| 40                                                                      | Cloruro de calcio (500 g)               | \$ 387,000 |
| 41                                                                      | metanol (1L)                            | \$ 47,000  |
| 42                                                                      | Cloruro de magnesio (250g)              | \$ 170,000 |
| 43                                                                      | Cloruro de sodio (80 g)                 | \$ 523,000 |
| 44                                                                      | Aceite neutro refinado (1L)             | \$ 160,000 |
| <b>HIERRO, MAGNESIO, NIQUEL, VANADIO, SODIO, CALCIO, SILICIO, COBRE</b> |                                         |            |
| 45                                                                      | Ácido nítrico (1 amp)                   | \$ 217,000 |

|                                      |                                                     |              |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------|
| 46                                   | Ácido sulfurico (1 amp)                             | \$ 80,000    |
| 47                                   | Nitrato de aluminio (500 g)                         | \$ 610,000   |
| 48                                   | Nitrato de potasio (500 g)                          | \$ 275,000   |
| 49                                   | Cobre (100 g)                                       | \$ 100,000   |
| 50                                   | Hierro (100g)                                       | \$ 165,000   |
| 51                                   | Magnesio (250g)                                     | \$ 300,000   |
| 52                                   | Níquel (250g)                                       | \$ 1,000,000 |
| 53                                   | Sodio (100g)                                        | \$ 150,000   |
| 54                                   | Vanadio (10g)                                       | \$ 500,000   |
| 55                                   | Calcio (100 g)                                      | \$ 240,000   |
| 56                                   | Silicio (100ml)                                     | \$ 250,000   |
| <b>DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA</b>       |                                                     |              |
| 57                                   | n-heptano (1L)                                      | \$ 280,000   |
| 58                                   | Metilciclohexano (1L)                               | \$ 140,000   |
| <b>NITRÓGENO KJELDAH</b>             |                                                     |              |
| 59                                   | Agua Destilada (1L)                                 | \$ 25,000    |
| 60                                   | Sulfuro de sodio (250 g)                            | \$ 450,000   |
| 61                                   | Sacarosa (1 KG)                                     | \$ 166,000   |
| 62                                   | Hidróxido de sodio (1 amp)                          | \$ 80,000    |
| 63                                   | Ácido Borico (100 g)                                | \$ 152,000   |
| 64                                   | Ácido sulfúrico (1L)                                | \$ 159,000   |
| 65                                   | Indicador metil violeta (25 g)                      | \$ 185,000   |
| <b>ANÁLISIS SARA</b>                 |                                                     |              |
| 66                                   | Silica gel (1kg)                                    | \$ 630,000   |
| 67                                   | Acetona (1L)                                        | \$ 175,000   |
| 68                                   | Tolueno (1L)                                        | \$ 322,000   |
| 69                                   | Pentano (1L)                                        | \$ 315,000   |
| 70                                   | Ciclohexano (1L)                                    | \$ 500,000   |
| 71                                   | Cloruro de calcio (500 g)                           | \$ 387,000   |
| <b>AGUA DE PRODUCCIÓN</b>            |                                                     |              |
| <b>pH</b>                            |                                                     |              |
| 72                                   | Ampollas o titrisol de pH 7,00 y 4,00 trazables (1) | \$ 90,000    |
| 73                                   | Soluciones de pH 7,00 y 4,00 trazables              | \$ 90,000    |
| <b>DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO</b>    |                                                     |              |
| 74                                   | Agua Ultrapura                                      | \$ 120,000   |
| 75                                   | Solución de digestión                               | \$ 150,000   |
| 76                                   | Reactivo de ácido sulfúrico                         | \$ 165,000   |
| 77                                   | Solución indicadora de ferroina                     | \$ 141,000   |
| 78                                   | Ftalato ácido de potasio (KHP)                      | \$ 200,000   |
| <b>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO</b> |                                                     |              |
| 79                                   | Agua destilada y Ultrapura                          | \$ 120,000   |
| 80                                   | Solución tampón de fosfato (1L)                     | \$ 100,000   |
| 81                                   | Solución de sulfato de magnesio                     | \$ 240,000   |
| 82                                   | Solución de cloruro de calcio                       | \$ 350,000   |
| 83                                   | Solución de cloruro de hierro                       | \$ 300,000   |
| 84                                   | Ácido Sulfúrico 1 M                                 | \$ 165,000   |
| 85                                   | Hidróxido de Sodio 1 M                              | \$ 100,000   |
| <b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES</b>   |                                                     |              |
| 86                                   | Agua destilada y Ultrapura                          | \$ 120,000   |
| <b>GRASAS Y ACEITES</b>              |                                                     |              |
| 87                                   | Ácido clorhídrico                                   | \$ 90,000    |

|                                            |                                             |              |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------|
| 88                                         | Hexano                                      | \$ 270,000   |
| 89                                         | Agua destilada                              | \$ 120,000   |
| 90                                         | Aceite de origen vegetal o mineral          | \$ 20,000    |
| <b>FENOLES</b>                             |                                             |              |
| 91                                         | Agua Ultrapura grado 1                      | \$ 120,000   |
| 92                                         | Ácido fosfórico                             | \$ 250,000   |
| 93                                         | Solución tampón de fosfato                  | \$ 300,000   |
| 94                                         | Solución de ferricianuro de potasio         | \$ 380,000   |
| 95                                         | Solución patrón en fenol                    | \$ 500,000   |
| 96                                         | Solución NaOH                               | \$ 150,000   |
| 97                                         | Cloroformo                                  | \$ 130,000   |
| 98                                         | Sulfato de Sodio anhidro                    | \$ 190,000   |
| <b>SUSTANCIAS ACTIVAS DE AZUL METILENO</b> |                                             |              |
| 99                                         | Solución LAS                                | \$ 200,000   |
| 100                                        | Solución LAS estándar                       | \$ 300,000   |
| 101                                        | Solución indicadora de fenoltaleína         | \$ 400,000   |
| 102                                        | Hidróxido de sodio                          | \$ 60,000    |
| 103                                        | Ácido sulfúrico                             | \$ 80,000    |
| 104                                        | Cloroformo                                  | \$ 190,000   |
| 105                                        | Reactivo de azul de metileno                | \$ 230,000   |
| 106                                        | Solución de lavado                          | \$ 150,000   |
| 107                                        | Metanol                                     | \$ 150,000   |
| 108                                        | Peróxido de Hidrógeno                       | \$ 280,000   |
| <b>CIANURA TOTAL</b>                       |                                             |              |
| 109                                        | Solución de hidróxido de sodio              | \$ 60,000    |
| 110                                        | Reactivo de cloruro de magnesio             | \$ 230,000   |
| 111                                        | Ácido sulfúrico                             | \$ 160,000   |
| 112                                        | Carbonato de plomo                          | \$ 450,000   |
| 113                                        | Agua destilada                              | \$ 120,000   |
| 114                                        | Ácido sulfónico                             | \$ 200,000   |
| <b>CLORUROS</b>                            |                                             |              |
| 115                                        | Cloruro de sodio                            | \$ 60,000    |
| 116                                        | Sulfato de aluminio y potasio dodecahidrato | \$ 390,000   |
| 117                                        | Indicador de fenoltaleína                   | \$ 120,000   |
| 118                                        | Hidróxido de sodio                          | \$ 60,000    |
| 119                                        | Ácido sulfúrico                             | \$ 100,000   |
| 120                                        | Peróxido de Hidrógeno                       | \$ 280,000   |
| 121                                        | Solución de hidróxido de amonio             | \$ 100,000   |
| 122                                        | Electrodos de referencia                    | \$ 450,000   |
| 123                                        | Electrodo de flúor                          | \$ 2,300,000 |
| <b>FLUORUROS</b>                           |                                             |              |
| 124                                        | Agua destilada                              | \$ 120,000   |
| 125                                        | Solución de fluoruro                        | \$ 300,000   |
| 126                                        | Buffer de fluoruro                          | \$ 200,000   |
| <b>SULFATOS</b>                            |                                             |              |
| 127                                        | Cloruro de magnesio                         | \$ 300,000   |
| 128                                        | Acetato de sodio                            | \$ 130,000   |
| 129                                        | Nitrato de potasio                          | \$ 220,000   |
| 130                                        | Ácido acético                               | \$ 200,000   |
| 131                                        | Sulfato de sodio                            | \$ 250,000   |
| 132                                        | Agua destilada                              | \$ 120,000   |

|                                                                                  |                                     |                      |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| <b>133</b>                                                                       | Cloruro de bario                    | \$ 300,000           |
| <b>134</b>                                                                       | Solución de sulfato                 | \$ 220,000           |
| <b>SULFUROS</b>                                                                  |                                     |                      |
| <b>135</b>                                                                       | Ácido clorhídrico                   | \$ 90,000            |
| <b>136</b>                                                                       | Solución de yodo                    | \$ 200,000           |
| <b>137</b>                                                                       | Solución de tiosulfato de sodio     | \$ 250,000           |
| <b>138</b>                                                                       | Solución de almidón                 | \$ 300,000           |
| <b>EMULSIONES</b>                                                                |                                     |                      |
| <b>ESTABILIDAD INVERSA DEL CRUDO</b>                                             |                                     |                      |
| <b>139</b>                                                                       | Heptano                             | \$ 384,000           |
| <b>140</b>                                                                       | Tolueno                             | \$ 322,000           |
| <b>141</b>                                                                       | Aceite de prueba                    | \$ 322,000           |
| <b>TIPO Y ESTABILIDAD VIOESLÁSTICA DE LA EMULSIÓN</b>                            |                                     |                      |
| <b>142</b>                                                                       | Agua purificada por osmosis inversa | \$ 800,000           |
| <b>143</b>                                                                       | Aceite de prueba                    | \$ 0                 |
| <b>144</b>                                                                       | Reactivo Karl Fisher                | \$ 110,000           |
| <b>145</b>                                                                       | Tolueno                             | \$ 322,000           |
| <b>146</b>                                                                       | Metanol                             | \$ 47,000            |
| <b>147</b>                                                                       | Cloroformo                          | \$ 100,000           |
| <b>148</b>                                                                       | Diclorometano                       | \$ 230,000           |
| <b>149</b>                                                                       | Acetona                             | \$ 175,000           |
| <b>SEPARABILIDAD DEL AGUA</b>                                                    |                                     |                      |
| <b>150</b>                                                                       | Agua Destilada                      | \$ 25,000            |
| <b>151</b>                                                                       | Acetona                             | \$ 175,000           |
| <b>152</b>                                                                       | Detergente (Anionico)               | \$ 50,000            |
| <b>153</b>                                                                       | Tolueno                             | \$ 322,000           |
| <b>154</b>                                                                       | Xileno                              | \$ 533,000           |
| <b>DETERMINATION OF WATER IN PETROLEUM BY COULOMETRIC KARL FISCHER TITRATION</b> |                                     |                      |
| <b>155</b>                                                                       | Reactivo Karl Fisher                | \$ 298,000           |
| <b>156</b>                                                                       | Solución de ánodo                   | \$ 50,000            |
| <b>157</b>                                                                       | Solución de cátodo                  | \$ 50,000            |
| <b>158</b>                                                                       | Aceite mineral blanco               | \$ 50,000            |
| <b>159</b>                                                                       | Tamiz molecular (5Å-8)              | \$ 40,000            |
| <b>160</b>                                                                       | Hexano                              | \$ 500,000           |
| <b>TOTAL</b>                                                                     |                                     | <b>\$ 39,757,000</b> |

### 3.6 RESUMEN INVERSIÓN INICIAL

El total funcionamiento del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones puede llevarse a cabo con los equipos, materiales, insumos, adecuaciones mencionados anteriormente; en esta sección del capítulo se contempla la inversión inicial del mismo y no se tienen en cuenta gastos como lo son mantenimiento de equipos y de la locación, gastos operacionales son detallados más adelante ya que

no solo se generan al momento de la adquisición del laboratorio sino a lo largo de la implementación del proyecto.

Tabla 12. Resumen de la inversión inicial (terreno, seguridad, muebles, equipos tecnológicos, equipos, materiales y reactivos) para la iniciación del laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).

| INVERSIÓN INICIAL    | VALOR                   |
|----------------------|-------------------------|
| Terreno              | \$ 360,000,000          |
| Seguridad            | \$ 2,622,000            |
| Muebles              | \$ 1,044,000            |
| Equipos tecnológicos | \$ 4,339,900            |
| Equipos y materiales | \$ 1,046,412,000        |
| Reactivos            | \$ 39,757,000           |
| <b>TOTAL</b>         | <b>\$ 1,454,174,900</b> |

**3.6.1 Gastos operacionales.** Para llevar a cabo el correcto funcionamiento del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones en el Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP), es necesario contar con el personal mínimo para realizar las pruebas con el debido procedimiento. Se recomienda aumentar este personal en cuánto aumente la demanda de pruebas.

Tabla 13. Gastos operacionales (personal) mínimos para la iniciación del laboratorio de optimización de operaciones de producción (LOOP).

| GASTOS OPERACIONALES        | VALOR               |
|-----------------------------|---------------------|
| Ingeniero de petróleos (1)  | \$ 3,000,000        |
| Técnico de laboratorio (1)  | \$ 1,800,000        |
| Auxiliar de laboratorio (1) | \$ 1,200,000        |
| <b>TOTAL</b>                | <b>\$ 6,000,000</b> |

**3.6.2 Oportunidades de servicio.** La cantidad de servicios que realice el módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones es un factor importante a tener en cuenta al momento de desarrollar el proyecto ya que determinará en cuanto tiempo o en cuantas pruebas se puede obtener el retorno de la inversión inicial del mismo. Para determinar la cantidad de pruebas en un año se tuvieron en cuenta la cantidad de campos activos en Colombia, según la Agencia Nacional de Hidrocarburos hay

470 campos productores de crudo en los cuales operan 40 empresas<sup>115</sup>, de estos campos 76 al mes de agosto del 2019 no se encontraban en producción, dejando una población de 394 campos que posiblemente requieran contratar los servicios del módulo de caracterización. Debido a que se busca que el módulo sea lo más completo posible y pueda ofrecer una gran cantidad de pruebas se asume que alrededor del 40% de los campos activos puedan requerir nuestros servicios es decir 157 campos.

Según lo anterior es necesario contemplar el costo por prueba, la tabla 14 muestra el costo por prueba actual en el mercado.

Tabla 14. Costo por prueba

| ÍTEM | ANÁLISIS                    | NORMA         | PRECIO (COP) DE LA PRUEBA EN EL MERCADO |
|------|-----------------------------|---------------|-----------------------------------------|
| 1    | Densidad @15°C              | ASTM D5002    | \$ 124,000                              |
| 2    | Gravedad API                | ASTM D287     | \$ 124,000                              |
| 3    | Número de neutralización    | ASTM D664     | \$ 124,000                              |
| 4    | Prueba de Vapor Reid        | ASTM D323     | \$ 124,000                              |
| 5    | Punto de Fluidez            | ASTM D97      | \$ 124,000                              |
| 6    | Punto de inflamación        | ASTM D93      | \$ 138,000                              |
| 7    | Constante de Visco gravedad | ASTM D2501    | \$ 150,000                              |
| 8    | Viscosidad Saybolt          | ASTM D88      | \$ 110,000                              |
| 9    | Agua y sedimentos           | ASTM 96-88    | \$ 110,000                              |
| 10   | Contenido de azufre         | ASTM D4294    | \$ 138,000                              |
| 11   | Residuo de carbono          | ASTM D4530    | \$ 75,000                               |
| 12   | Destilación simulada        | ASTM D5307    | \$ 124,000                              |
| 13   | Cenizas                     | ASTM D482     | \$ 110,000                              |
| 14   | Poder Calorífico            | ASTM D240     | \$ 180,000                              |
| 15   | Contenido de sal            | ASTM D3230    | \$ 124,000                              |
| 16   | Cobre                       | ASTM D5863/MS | \$ 124,000                              |
| 17   | Hierro                      | ASTM D5863/MS |                                         |
| 18   | Magnesio                    | ASTM D6443-14 |                                         |
| 19   | Niquel                      | ASTM D5863/MS |                                         |
| 20   | Sodio                       | ASTM D5863/MS |                                         |
| 21   | Vanadio                     | ASTM D5863/MS |                                         |
| 22   | Calcio                      | ASTM D6443-14 |                                         |
| 23   | Silicio                     | ASTM D5863/MS |                                         |

<sup>115</sup> AGENCIA NACIONAL DE HICROCARBUROS. estadísticas del sector. [En línea]. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/estadisticas-del-sector>

|    |                                                                                                                     |                                                       |            |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------|
| 24 | Destilación atmosférica                                                                                             | ASTM D2892                                            | \$ 124,000 |
| 25 | Destilación al Vacío                                                                                                | ASTM D5236                                            | \$ 124,000 |
| 26 | Nitrógeno Kjeldah                                                                                                   | ASTM D3228                                            | \$ 130,000 |
| 27 | Análisis SARA                                                                                                       | ASTM D4121-09                                         | \$ 130,000 |
| 28 | pH                                                                                                                  | SM 4500 H+B<br>(Método:<br>Electrométrico)            | \$ 120,000 |
| 29 | Demanda Química de Oxígeno (DQO)                                                                                    | SM-5220 D<br>(Método Reflujo<br>Cerrado-Colorimetría) | \$ 70,000  |
| 30 | Demanda Bioquímica de Oxígenos (DB05)                                                                               | SM-5510 B<br>(Método de los 5 días)                   | \$ 70,000  |
| 31 | Sólidos Suspendidos Totales (SST)                                                                                   | SM 2540 D                                             | \$ 45,000  |
| 32 | Sólidos Sedimentables (SSED)                                                                                        | SM 2540 F                                             | \$ 45,000  |
| 33 | Grasas y Aceites                                                                                                    | SM 5520 D<br>(Método Soxhlet)                         | \$ 70,000  |
| 34 | Fenoles                                                                                                             | SM 5530 B (Destilación)                               | \$ 80,000  |
| 35 | Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM)                                                                       | SM 5540 C<br>(Espectrofotométrico Visible)            | \$ 70,000  |
| 36 | Cianuro Total (CN-)                                                                                                 | SM 4500-CN-C<br>(Destilación)                         | \$ 70,000  |
| 37 | Cloruros (Cl-)                                                                                                      | SM 4500 Cl-B<br>(Argentométrico)                      | \$ 40,000  |
| 38 | Fluoruros (F-)                                                                                                      | SM 4500-F-C<br>(Electrodos ion-selectivos)            | \$ 70,000  |
| 39 | Sulfatos (SO42-)                                                                                                    | SM 4500-SO42-E<br>(Turbidimétrico)                    | \$ 40,000  |
| 40 | Sulfuros (S2-)                                                                                                      | SM 4500-S2-F<br>(Yodométrica)                         | \$ 70,000  |
| 41 | Stability reverse of crude                                                                                          | ASTM D7061                                            | \$ 130,000 |
| 42 | Tipo y estabilidad viscoelastica de la emulsion                                                                     | ASTM F3045                                            | \$ 130,000 |
| 43 | Separabilidad del agua                                                                                              | ASTM D1401                                            | \$ 130,000 |
| 44 | Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration | ASTM D6304 – 16                                       | \$ 130,000 |
| 45 | Standard test method for interfacial tension of oil against water by the ring method.                               | ASTM D971                                             | \$ 130,000 |
| 46 | Colloidal systems- Methods for zeta potential determination-optical methods                                         | ISO 13099-1                                           | \$ 130,000 |
| 47 | Particle size analysis- Laser diffraction methods                                                                   | ISO 13320-1                                           | \$ 130,000 |

Se estima que con un valor promedio de prueba de \$ 107,000.00 (COP) y asumiendo un caso optimista de 160 pruebas por año se estima la recuperación de la inversión inicial en 25 años, cabe destacar que la generación de conocimiento

para la comunidad universitaria es invaluable y debería tenerse en cuenta como prioridad para el desarrollo de este proyecto.

#### 4. PROPUESTA DIRIGIDA A LA OFICINA DE PLANEACIÓN UIS

Con el fin de realizar una propuesta formal ante la Universidad Industrial de Santander para el desarrollo del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones en el Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) y así buscar financiación tanto en la universidad como en fuentes externas de financiamiento para la puesta en marcha del proyecto se procedió a realizar el diligenciamiento de las fichas EBI, formatos ID, formatos PE y formatos FS necesarios para dicha propuesta. A continuación, se muestran las tablas de los formatos mencionados anteriormente.

##### 4.1 FICHAS EBI

Tabla 15. Formato EBI 01 - Clasificación

| <b>FORMATO EBI-01: CLASIFICACION</b>                                                                                                                                                                             |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Nombre del Proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander. |  |
| <b>PERIODO:</b><br>2019-II                                                                                                                                                                                       |  |
| <b>PROGRAMA:</b><br>Mejoramiento de la infraestructura de apoyo al desarrollo académico                                                                                                                          |  |
| <b>SUBPROGRAMA:</b><br>Mejoramiento de la infraestructura tecnológica                                                                                                                                            |  |

Tabla 16. Formato EBI 02 - Localizaciones

| <b>FORMATO EBI-02: LOCALIZACIONES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                  |                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------|
| <b>Nombre del Proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander                                                                                                                                                        |                  |                                 |
| <b>DEPARTAMENTO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>MUNICIPIO</b> | <b>UAA</b>                      |
| SANTANDER                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | PIEDRECUESTA     | ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS |
| El módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) se ubicará en la sede del Parque Tecnológico de Guatiguará, el cual se encuentra localizado a 20 minutos de Bucaramanga, la capital del departamento de Santander, sobre la vía Bucaramanga-Bogotá hasta la vereda y valle de Guatiguará. |                  |                                 |

Tabla 17. Formato EBI 03 - Justificación del proyecto

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FORMATO EBI-03: JUSTIFICACION DEL PROYECTO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Nombre del Proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Actualmente las emulsiones de agua presentes en el crudo son un problema en la industria petrolera debido a la dificultad que presentan las gotas de agua al ser separadas de algunos tipos de crudos, es por esto que se propone la creación de un laboratorio el cual se formulen estrategias técnicas para el tratamiento de las emulsiones que se producen en un campo petrolero, más sin embargo, previo a esto es necesario hacer una caracterización adecuada de estos fluidos razón por la cual se hace imprescindible diseñar toda una serie de pruebas, equipos y procedimientos para la caracterización de los fluidos para que en una posterior módulo se puedan realizar las respectivas mediciones de las propiedades de las emulsiones y las eficiencias de estos tratamientos a partir de los datos obtenidos en las pruebas que se están planeando en este módulo 1- |

Tabla 18. Formato EBI 04 - Descripción de la alternativa

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FORMATO EBI-04: DESCRIPCION DE LA ALTERNATIVA</b><br>(Este formato es generado por el Sistema)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Nombre del Proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Nombre Alternativa:</b><br>Creación de módulo de caracterización de fluidos de producción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en las instalaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Descripción alternativa:</b><br>Mediante esta propuesta se busca llevar a cabo la adquisición de los equipos para la instalación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones el cual se ubicará en la sede del Parque Tecnológico de Guatiguará y consta de: equipos, materiales y reactivos necesarios para la elaboración de pruebas que permitan la caracterización de los fluidos de producción, además de esto financiación del personal capacitado e insumos necesarios para la correcta instalación de los equipos en la locación que permitan el normal desarrollo de las actividades de docencia, extensión e investigación. |

Tabla 19. Formato EBI 05 - Fuente de financiación de la inversión del proyecto

| <b>FORMATO EBI-05: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL PROYECTO</b><br>(Este formato es generado por el Sistema)                                                                                  |                        |           |                  |   |       |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|------------------|---|-------|------------------|
| Nombre del Proyecto:<br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander |                        |           |                  |   |       |                  |
| AÑOS<br>CALENDARIO                                                                                                                                                                                       | CENTRO<br>DE<br>COSTOS | EJECUTADO | 0                | 1 | SALDO | TOTAL            |
| Recursos de inversión                                                                                                                                                                                    |                        |           |                  |   |       |                  |
| Internas                                                                                                                                                                                                 |                        |           |                  |   |       |                  |
| Fondo común                                                                                                                                                                                              |                        |           |                  |   |       |                  |
| Estampilla prouis                                                                                                                                                                                        |                        |           | \$ 1,454,174,900 |   |       | \$ 1,454,174,900 |
| Recursos de funcionamiento                                                                                                                                                                               |                        |           |                  |   |       |                  |

|                                    |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Total<br>financiacion<br>inversión |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|

Tabla 20. Formato EBI 06 - Fuente de financiación de la operación del proyecto

| <b>FORMATO EBI-06: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA OPERACION DEL PROYECTO</b><br>(Este formato es generado por el Sistema)                                                                                  |                                 |                  |          |          |          |          |              |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|--------------|--------------|
| Nombre del Proyecto:<br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander |                                 |                  |          |          |          |          |              |              |
| <b>AÑOS<br/>CALENDARIO</b>                                                                                                                                                                               | <b>CENTRO<br/>DE<br/>COSTOS</b> | <b>EJECUTADO</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>SALDO</b> | <b>TOTAL</b> |
| Recursos de inversión                                                                                                                                                                                    |                                 |                  |          |          |          |          |              |              |
| Internas                                                                                                                                                                                                 |                                 |                  |          |          |          |          |              |              |
| Fondos especiales                                                                                                                                                                                        |                                 |                  |          |          |          |          |              |              |
| Total financiación operacion                                                                                                                                                                             |                                 |                  |          |          |          |          |              |              |

Tabla 21. Formato EBI 07 - Impacto del proyecto

| <b>FORMATO EBI-07: IMPACTO DEL PROYECTO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                           |                     |                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|------------------|
| Nombre del Proyecto:<br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                           |                     |                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>AREA DE INFLUENCIA</b> |                     |                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>REGION</b>             | <b>DEPARTAMENTO</b> | <b>MUNICIPIO</b> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | CENTO ORIENTE             | SANTANDER           | PIEDRECUESTA     |
| <p>Este proyecto busca tener un impacto positivo desde el mismo municipio como en todo Colombia, empezando directamente con la comunidad estudiantil, a la Escuela de Ingeniería de Petróleos y a toda la Universidad Industrial de Santander; busca también impactar el sector de los hidrocarburos en el país ya que concentra la caracterización de los fluidos de producción en un solo módulo. Se espera que se vea beneficiado el Grupo de Modelamiento de Hidrocarburos al generar trabajos de investigación y por ende mayor cantidad de publicaciones y ponencias.</p> <p>El correcto desarrollo de cualquier campo en Colombia exige un amplio conocimiento de los fluidos de producción, servicio que el módulo de caracterización puede ofrecer, por tanto, trabajos de extensión de empresas del sector petrolero del país pueden llevarse a cabo ofreciéndole un beneficio tanto económico como intelectual.</p> |                           |                     |                  |

Tabla 22. Formato EBI 08 - Estudios que respaldan el proyecto

| <b>FORMATO EBI-08: ESTUDIOS QUE RESPALDAN EL PROYECTO</b>                                                                                                                                                       |                           |                                                                |                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Nombre del Proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander |                           |                                                                |                                        |
| <b>NOMBRE</b>                                                                                                                                                                                                   | <b>FECHA<br/>DD MM AA</b> | <b>ENTIDAD<br/>AUDITORA</b>                                    | <b>DIRECCIÓN DE CONSULTA</b>           |
| Cotización                                                                                                                                                                                                      | 01/10/19                  | Casa Científica                                                | www.casacientifica.com<br>(031)3126310 |
| Cotización                                                                                                                                                                                                      | 11/09/19                  | Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional   | Labiq_fiqbog@unal.edu.co               |
| Cotización                                                                                                                                                                                                      | 16/09/19                  | Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional | Labingamb_fibog@unal.edu.co            |
| Cotización                                                                                                                                                                                                      | 19/09/19                  | Beijing United Test co.                                        | unitedtest@hotmail.com                 |

Tabla 23. Formato EBI 09 - Diligenciamiento

| <b>FORMATO EBI-09: DILIGENCIAMIENTO</b><br>(Este formato lo genera el Sistema)                                                                                                                                  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Nombre del Proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander |  |
| Funcionario:                                                                                                                                                                                                    |  |
| Número de Documento de identidad:                                                                                                                                                                               |  |
| Tipo de Documento de Identidad:                                                                                                                                                                                 |  |
| Dirección:                                                                                                                                                                                                      |  |
| Teléfono:                                                                                                                                                                                                       |  |
| Cargo:                                                                                                                                                                                                          |  |

Tabla 24. Formato EBI 09 - Observaciones del proyecto diligenciamiento

| <b>FORMATO EBI-10: OBSERVACIONES DEL PROYECTO DILIGENCIAMIENTO</b>                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del Proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander |
| La presente propuesta solo hace referencia a una única alternativa de ejecución, debido a la forma como se especifica su adecuación y dotación de equipos en el laboratorio.                                    |

## 4.2 FORMATOS PROYECTOS TIPO A

Tabla 25. Formato ID 01 - Descripción del problema o necesidad

| <b>FORMATO ID-01: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA O NECESIDAD</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Nombre del proyecto:</b><br/>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander</p> <p>En la actualidad, en la Universidad Industrial de Santander no existe un laboratorio de caracterización de crudo, agua y emulsiones orientado a la optimización de procesos de producción lo cual ha ocasionado que cuando se ha requerido esta información, se ha tenido que recurrir a otros laboratorios, lo cual ha implicado un gasto adicional para poder realizar este tipo de procedimiento. Adicionalmente lo anterior conlleva implícitamente un grado de incertidumbre ya que al no estar presente durante la realización de cada uno de los procesos de laboratorio no se tiene certeza de los resultados, dado que por lo general se conoce solo el resultado obtenido al final de la prueba, es por esto que al contar con un laboratorio en las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander, se podrá tener veracidad de los resultados obtenidos lo cuál va de la mano con el ahorro económico. Cabe mencionar que al contar con este laboratorio igualmente se fomentará la participación de la comunidad universitaria, tanto de los estudiantes como del cuerpo docente.</p> |

Tabla 26. Formato ID 02 - Objetivos del proyecto

| <b>FORMATO ID-02: OBJETIVOS DEL PROYECTO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Nombre del proyecto:</b><br/>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander</p> <p><b>OBJETIVO GENERAL:</b><br/>Elaborar una propuesta para la creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Construir un estado del arte de las tecnologías de laboratorios necesarias para la caracterización de agua, crudo y emulsiones dentro del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción.</li> <li>2. Determinar la inversión inicial y requerimientos técnicos que conllevaría la implementación y puesta en marcha del módulo de caracterización de agua, crudo y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción.</li> <li>3. Realizar un diseño básico de las instalaciones físicas que se requieren para la construcción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción, basado en los requisitos técnicos y de seguridad adecuados.</li> <li>4. Formular una propuesta técnica y financiera para la presentación del Proyecto a las convocatorias de apoyo a la investigación tanto en la Universidad Industrial de Santander como externas a la institución.</li> </ol> |

Tabla 27. Formato ID 03 - Población afectada y/o zona afectada y población objetivo del proyecto

| <b>FORMATO ID-03: POBLACIÓN AFECTADA Y/O ZONA AFECTADA Y POBLACIÓN OBJETIVO DEL PROYECTO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Nombre del proyecto:</b><br/>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander</p> <p>Se destaca como población directamente la comunidad estudiantil de posgrados y docentes, de la Escuela Ingeniería de Petróleos, así como la Universidad Industrial de Santander y el sector petrolero del país ya que en la región no existe un módulo que permita caracterizar fluidos de producción dentro de un mismo laboratorio.</p> <p>El correcto desarrollo de cualquier campo en Colombia que permita optimizar costos de transporte y producción exige un amplio conocimiento de los fluidos de producción, servicio que el módulo de caracterización puede ofrecer, por tanto, trabajos de extensión de empresas del sector petrolero del país pueden llevarse a cabo ofreciéndole un beneficio tanto económico como intelectual.</p> |

Tabla 28. Formato ID 04 - Descripción de la situación actual y su evolución

| <b>FORMATO ID-04: DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y SU EVOLUCIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Nombre del proyecto:</b><br/>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander</p> <p>Actualmente, la Escuela de Ingeniería de Petróleos está en busca de la elaboración de un módulo del Laboratorio de Optimización de Producción que permita caracterizar los fluidos de producción como crudo, agua y emulsiones, el cual no se encuentra en la región de influencia de la Universidad Industrial de Santander.</p> <p>Por otra parte, la optimización de ciertas operaciones puede llevarse a cabo debido al conocimiento de las propiedades de los fluidos que se producen, esto conlleva reducción de costos por barril producido y por tanto mayor beneficio para la empresa operadora del campo a desarrollar.</p> <p>Se busca también generar desarrollo intelectual al poder ofrecer un espacio donde se desarrollen nuevos trabajos de grado y por tanto la oportunidad de creación de ponencias e investigaciones.</p> |

Tabla 29. Formato ID 05 - Descripción y cuantificación de la necesidad o problema

| <b>FORMATO ID-05: DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD O PROBLEMA</b>                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Nombre del proyecto:</b><br/>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander</p> |

Tabla 30. Formato ID 06 - Cuantificación de la demanda y oferta del principal bien y/o servicio

| <b>FORMATO ID-06: CUANTIFICACIÓN DE LA DEMANDA Y OFERTA DEL PRINCIPAL BIEN Y/O SERVICIO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                      |               |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| <b>AÑOS CALENDARIO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Año cero (0): 2020                                   |               |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Horizonte de evaluación: 5 años                      |               |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Nombre del bien o servicio: Servicios de Laboratorio |               |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Unidad de medida: Pruebas de laboratorio             |               |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>DEMANDA</b>                                       | <b>OFERTA</b> | <b>DÉFICIT</b> |
| Año 2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 160                                                  | 160           | 0              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
| Año 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 160                                                  | 160           | 0              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
| Año 2022                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 160                                                  | 160           | 0              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
| Año 2023                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 160                                                  | 160           | 0              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
| Año 2024                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 160                                                  | 160           | 0              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
| Año 2025                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 160                                                  | 160           | 0              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                      |               |                |
| <b>Observaciones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Servicios de laboratorio: demanda basada en la cantidad de campos colombianos y la cantidad de empresas que los opera. (Se estiman 157 pruebas anuales)</li> <li>Trabajos de grado e investigaciones: trabajos de grados e investigaciones estimadas a realizar durante el periodo de un año en las instalaciones del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones.</li> </ul> |                                                      |               |                |

Tabla 31. Formato ID 07 - Principales alternativas del proyecto

| <b>FORMATO ID-07 : PRINCIPALES ALTERNATIVAS DEL PROYECTO</b>                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander |
| <b>ALTERNATIVA No.1</b>                                                                                                                                                                                         |
| <b>Nombre:</b><br>Creación de módulo de caracterización de fluidos de producción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en las instalaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará. |

Tabla 32. Formato ID 08 - Descripción de la alternativa No.1

| <b>FORMATO ID-08 : DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA No.1</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Nombre de la alternativa:</b><br>Creación de módulo de caracterización de fluidos de producción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en las instalaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Descripción de la alternativa:</b><br>Mediante esta propuesta se busca llevar a cabo la adquisición de los equipos para la instalación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones el cual se ubicará en la sede del Parque Tecnológico de Guatiguará y consta de: equipos, materiales y reactivos necesarios para la elaboración de pruebas que permitan la caracterización de los fluidos de producción, además de esto financiación del personal capacitado e insumos necesarios para la correcta instalación de los equipos en la locación que permitan el normal desarrollo de las actividades de docencia, extensión e investigación. |

Tabla 33. Formato ID 08 - Cronograma de actividades

| <b>FORMATO ID-09: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b>                                                                                                                                                                 |                                            |                           |                       |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander |                                            |                           |                       |                   |
| <b>No.</b>                                                                                                                                                                                                      | <b>ETAPA</b>                               | <b>DURACIÓN ESTIMADA*</b> | <b>DURACIÓN REAL*</b> | <b>DIFERENCIA</b> |
| <b>1.</b>                                                                                                                                                                                                       | <b>PREINVERSION</b>                        | 1                         |                       |                   |
| 1.1                                                                                                                                                                                                             | Formulación                                | 1                         |                       |                   |
| 1.2                                                                                                                                                                                                             | Identificación del Problema                | 2                         |                       |                   |
| 1.3                                                                                                                                                                                                             | Identificación de Objetivos                | 2                         |                       |                   |
| 1.4                                                                                                                                                                                                             | Identificación de Alternativas de Solución | 3                         |                       |                   |
| 1.5                                                                                                                                                                                                             | Preparación de las Alternativas            | 4                         |                       |                   |
| 1.6                                                                                                                                                                                                             | Viabilización*                             | 6                         |                       |                   |
| 1.7                                                                                                                                                                                                             | Elegibilidad*                              | 2                         |                       |                   |
| <b>2.</b>                                                                                                                                                                                                       | <b>INVERSIÓN</b>                           |                           |                       |                   |
| 2.1                                                                                                                                                                                                             | Diseños Definitivos                        | 6                         |                       |                   |

|           |                                              |   |  |  |
|-----------|----------------------------------------------|---|--|--|
| 2.2       | Preparación de Documentos para Contratación. | 5 |  |  |
| 2.3       | Licitación (Si aplica)                       | 6 |  |  |
| 2.4       | Ejecución                                    | 6 |  |  |
| <b>3.</b> | <b>OPERACIÓN</b>                             |   |  |  |
| 3.1       | Evaluación Expost*                           |   |  |  |
| 3.2       | Administración del Proyecto                  |   |  |  |
| 3.3       | Seguimiento                                  | 5 |  |  |

Tabla 34. Formato PE-01: Descripción y cuantificación de los principales beneficios del proyecto – Sección A

| <b>FORMATO PE-01: DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES BENEFICIOS DEL PROYECTO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| <b>SECCIÓN A:</b> Descripción de los principales beneficios del proyecto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |  |
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |  |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollar la infraestructura necesaria para la realización de las pruebas de caracterización de crudo, agua y emulsiones para el desarrollo de conocimiento y tecnológico de la Universidad Industrial de Santander.</li> <li>Posicionar a la Universidad Industrial de Santander en una de las universidades pioneras en la generación de conocimiento a través del área de extensión y prestación de servicios como lo son las pruebas de laboratorio.</li> <li>Aumentar el número anual de proyectos de investigación por parte de los estudiantes de la Universidad Industrial de Santander y así mismo incrementar la cantidad de publicaciones de artículos de revistas nacionales e internacionales.</li> </ul> |  |  |  |  |

Tabla 35. Formato PE-01: Descripción y cuantificación de los principales beneficios del proyecto – Sección B

| <b>FORMATO PE-01: DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES BENEFICIOS DEL PROYECTO</b>                                                                                                                   |                       |                           |                              |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------|
| <b>SECCIÓN B:</b> Cuantificación del principal bien o servicio producido.                                                                                                                                       |                       |                           |                              |                          |
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander |                       |                           |                              |                          |
| <b>Horizonte del proyecto:</b><br>5 años                                                                                                                                                                        |                       |                           |                              | <b>Año cero:</b><br>2020 |
| <b>Bien o servicio:</b><br>Servicio de laboratorio<br><b>Unidad de medida:</b><br>Servicio a la industria al año                                                                                                |                       |                           | <b>FACTOR VALOR PRESENTE</b> | <b>VALOR PRESENTE</b>    |
| <b>Año del proyecto</b>                                                                                                                                                                                         | <b>Año calendario</b> | <b>Cantidad producida</b> |                              |                          |
| 0                                                                                                                                                                                                               | 2020                  | 160                       | 1.0000                       | 160                      |
| 1                                                                                                                                                                                                               | 2021                  | 160                       | 0.8929                       | 143                      |
| 2                                                                                                                                                                                                               | 2022                  | 160                       | 0.7972                       | 128                      |
| 3                                                                                                                                                                                                               | 2023                  | 160                       | 0.7118                       | 114                      |
| 4                                                                                                                                                                                                               | 2024                  | 160                       | 0.6355                       | 102                      |

|              |     |
|--------------|-----|
| <b>TOTAL</b> | 647 |
|--------------|-----|

Tabla 36. Formato PE-02: Presupuesto de obra del proyecto – Sección A

| <b>FORMATO PE-02: PRESUPUESTO DE OBRA DEL PROYECTO</b>                                                                                                                                                               |                                 |                                        |                                         |                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sección A: Inversión</b>                                                                                                                                                                                          |                                 |                                        |                                         |                                                                                           |
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander      |                                 |                                        |                                         |                                                                                           |
| <b>Alternativa:</b><br>Creación de módulo de caracterización de fluidos de producción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en las instalaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará. |                                 |                                        |                                         |                                                                                           |
| <b>COMPONENTE</b>                                                                                                                                                                                                    | Adquisición de bienes inmuebles |                                        |                                         |                                                                                           |
| <b>CATEGORÍA</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>DETALLE</b>                  | <b>VLR UNIDAD<br/>(miles de pesos)</b> | <b>VLR PARCIAL<br/>(miles de pesos)</b> | <b>Observaciones</b>                                                                      |
| Equipos de laboratorio                                                                                                                                                                                               | 165                             | \$ 847,593,720                         | \$ 1,046,412,000                        | Equipos y elementos de laboratorio en su totalidad                                        |
| Terreno y adecuación                                                                                                                                                                                                 | 600 mt2                         | \$ 291,000,000                         | \$ 360,000,000                          | Costo a tener en cuenta en caso no tener capacidad en el Parque Tecnológico de Guatiguará |
| Elementos de seguridad                                                                                                                                                                                               | 11                              | \$ 2,123,400                           | \$ 2,622,000                            |                                                                                           |
| Muebles y equipos de oficina                                                                                                                                                                                         | 5                               | \$ 4,360,230                           | \$ 5,383,000                            |                                                                                           |
| Reactivos                                                                                                                                                                                                            | 160                             | \$ 32,203,170                          | \$ 39,757,000                           |                                                                                           |
| <b>TOTAL</b>                                                                                                                                                                                                         |                                 |                                        | \$ 1,454,174,900                        |                                                                                           |
| <b>TOTAL EN PESOS</b>                                                                                                                                                                                                |                                 |                                        | \$ 1,454,174,900                        |                                                                                           |

Tabla 37. Formato PE-02: Presupuesto de obra del proyecto – Sección B

| <b>FORMATO PE-02: PRESUPUESTO DE OBRA DEL PROYECTO</b>                                                                                                                                                               |                                                    |                 |                                        |                                         |                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| <b>Sección B: Operación</b>                                                                                                                                                                                          |                                                    |                 |                                        |                                         |                      |
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander      |                                                    |                 |                                        |                                         |                      |
| <b>Alternativa:</b><br>Creación de módulo de caracterización de fluidos de producción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en las instalaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará. |                                                    |                 |                                        |                                         |                      |
| <b>COMPONENTE</b>                                                                                                                                                                                                    |                                                    |                 |                                        |                                         |                      |
| <b>CATEGORÍA</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>DETALLE</b>                                     | <b>CANTIDAD</b> | <b>VLR UNIDAD<br/>(Miles de pesos)</b> | <b>VLR PARCIAL<br/>(Miles de pesos)</b> | <b>Observaciones</b> |
| Personal                                                                                                                                                                                                             | -Ingeniero de petróleos<br>-Técnico de laboratorio | 3/mensual       |                                        | \$ 6,000,000                            |                      |

|           |                          |         |  |              |                                                      |
|-----------|--------------------------|---------|--|--------------|------------------------------------------------------|
|           | -Auxiliar de laboratorio |         |  |              |                                                      |
| Servicios | -Servicios               | mensual |  | \$ 3,000,000 | Servicios necesarios para el correcto funcionamiento |

Tabla 38. Formato PE-03: Costos de inversión de las alternativas

| <b>FORMATO PE-03: COSTOS DE INVERSIÓN DE LAS ALTERNATIVAS</b>                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander      |
| <b>Alternativa:</b><br>Creación de módulo de caracterización de fluidos de producción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en las instalaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará. |
| (Este formato es generado por el Sistema)                                                                                                                                                                            |

Tabla 39. Formato PE-04: Costos de operación de las alternativas

| <b>FORMATO PE-04: COSTOS DE OPERACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS</b>                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander      |
| <b>Alternativa:</b><br>Creación de módulo de caracterización de fluidos de producción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en las instalaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará. |
| (Este formato es generado por el Sistema)                                                                                                                                                                            |

Tabla 40. Formato PE-05: Capacidad instalada

| <b>FORMATO PE-05: CAPACIDAD INSTALADA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander                                                                                                                                                                    |
| <b>¿CUÁL ES LA CAPACIDAD INSTALADA POR EL PROYECTO?</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Cantidad:</b><br>157 pruebas anuales por servicio a la industria petrolera.<br>3 trabajos de investigación anuales para la comunidad universitaria.                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Unidad de medida:</b><br>Prueba de laboratorio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Observaciones:</b><br>Es necesario dotar el laboratorio con los diferentes quipos y materiales especializados con la intención de dar un mayor soporte a los estudios realizados en los diferentes trabajos de los estudiantes de posgrado y también mediante los servicios que se le pueden ofrecer a la industria en el país, generando así un gran desarrollo investigativo. |

Tabla 41. Formato PE-06: Resumen de costos de la alternativa

| <b>FORMATO PE-06: RESUMEN DE COSTOS DE LA ALTERNATIVA</b>                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander      |
| <b>Alternativa:</b><br>Creación de módulo de caracterización de fluidos de producción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en las instalaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará. |
| (Este formato es generado por el Sistema)                                                                                                                                                                            |

Tabla 42. Formato PE-07: Efecto ambiental

| <b>FORMATO PE-07: EFECTO AMBIENTAL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander                                                                                                                                                                                           |
| <b>Alternativa:</b><br>Creación de módulo de caracterización de fluidos de producción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en las instalaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará.                                                                                                                                                                                      |
| La creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones no supone un impacto negativo hacia el medio ambiente ya que se tienen contemplados todos los aspectos en cuanto a seguridad industrial, además de esto los equipos que se adquieren mediante la compra serán nuevos y de última tecnología lo que reduce los riesgos operacionales. |
| El personal que supervisará el módulo estará capacitado para la realizar correctamente las pruebas que se necesiten desarrollar y tendrá en cuenta todos los controles necesarios para generar un espacio de trabajo seguro tanto para el personal como para el medio ambiente.                                                                                                                           |

Tabla 43. Formato PE-08: Selección de la alternativa de mínimo costo

| <b>FORMATO PE-08: SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MÍNIMO COSTO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander                                                                                                                                |
| <b>Alternativa No: 01</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Costo Precio social:</b> (Información generada por el Sistema)                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Nombre de la alternativa:</b><br>Creación de módulo de caracterización de fluidos de producción del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en las instalaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará.                                                                                                              |
| <b>Observaciones:</b><br>Se presenta como única alternativa para poder cumplir con los objetivos planteados: acondicionar el espacio físico del laboratorio, adquirir los equipos necesarios y cumplir a cabalidad la normatividad asociada a cada prueba a realizar en cuanto a aspectos de seguridad y procedimientos como tal de la prueba. |

Tabla 44. Formato PE-09: Marco institucional

| <b>FORMATO PE-09 : MARCO INSTITUCIONAL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Nombre del proyecto:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |
| Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |
| El marco de referencia del proyecto está basado en los planes, las políticas y programas de derivados de la visión, objetivos y proyecto institucional, como pilar de modernización institucional con la adquisición, instalación, montaje, y mantenimiento de equipos y laboratorios para fomentar la publicación de resultados producto del resultado de la investigación, artículos, libros, revistas, propiedad intelectual, simposios, patentes y difusión de resultados. |  |
| El proyecto se basa en el plan de desarrollo de la Universidad Industrial de Santander, donde su objetivo principal es “Realizar Investigación de Alta Calidad Orientada al Desarrollo Científico y Conducente a Innovaciones Tecnológicas, Sociales, Económicas, Culturales y Políticas pertenecientes con el Desarrollo del País”.                                                                                                                                           |  |

Tabla 45. Formato FS-01: Fuente de financiación de la inversión del proyecto

| <b>FORMATO FS-01: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL PROYECTO</b>                                                                                                        |                         |                  |                  |          |               |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|----------|---------------|------------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b>                                                                                                                                                      |                         |                  |                  |          |               |                  |
| Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander |                         |                  |                  |          |               |                  |
| <b>AÑOS CALENDARIO</b>                                                                                                                                                           | <b>CENTRO DE COSTOS</b> | <b>EJECUTADO</b> | <b>0</b>         | <b>1</b> | <b>SALDO*</b> | <b>TOTAL*</b>    |
| Recursos de inversión                                                                                                                                                            |                         |                  |                  |          |               |                  |
| Internas                                                                                                                                                                         |                         |                  |                  |          |               |                  |
| Fondo común                                                                                                                                                                      |                         |                  |                  |          |               |                  |
| Estampilla prouis                                                                                                                                                                |                         |                  | \$ 1,454,174,900 |          |               | \$ 1,454,174,900 |
| Recursos de funcionamiento                                                                                                                                                       |                         |                  |                  |          |               |                  |
| Total financiación inversión                                                                                                                                                     |                         |                  |                  |          |               |                  |

Tabla 46. Formato FS-02: Fuente de financiación de la operación del proyecto

| <b>FORMATO FS-02: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL PROYECTO</b>                                                                                                        |                         |                  |          |          |          |          |               |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|---------------|---------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b>                                                                                                                                                      |                         |                  |          |          |          |          |               |               |
| Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander |                         |                  |          |          |          |          |               |               |
| <b>AÑOS CALENDARIO</b>                                                                                                                                                           | <b>CENTRO DE COSTOS</b> | <b>EJECUTADO</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>SALDO*</b> | <b>TOTAL*</b> |
| Recursos de inversión                                                                                                                                                            |                         |                  |          |          |          |          |               |               |
| Internas                                                                                                                                                                         |                         |                  |          |          |          |          |               |               |
| Fondos especiales                                                                                                                                                                |                         |                  |          |          |          |          |               |               |

|                                    |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Total<br>financiación<br>operación |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|

Tabla 47. Formato FS-03: Sostenibilidad del proyecto

| <b>FORMATO FS-03: SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nombre del proyecto:</b><br>Creación del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones del Laboratorio de Optimización de Operaciones de Producción (LOOP) en la Universidad Industrial De Santander                                                                                                                                                   |
| Una vez el proyecto sea ejecutado y empiece a funcionar el módulo la sostenibilidad de este se dará por parte de la Universidad Industrial de Santander, la cual cuenta con divisiones de Planta Física, Mantenimiento Tecnológico y División de Servicios de Información, los cuales trabajan en el mantenimiento general de los laboratorios de la universidad. |
| Los recursos que se generen ya sea por convenios institucionales y/o asesorías a empresas del sector petrolero permitirán que el laboratorio adquiriera ingresos para invertir en la mejora mediante compra de nuevos equipos y otros accesorios acordes a las necesidades que se tengan.                                                                         |

## CONCLUSIONES

- Se estableció que para la caracterización completa de los fluidos se requiere la realización de 48 pruebas, las cuales estarán divididas en 27 pruebas para crudo, 13 pruebas para agua de producción y finalmente 8 pruebas para las emulsiones.
- Las pruebas descritas en el trabajo fueron elegidas en función de las especificaciones necesarias para la disposición, transporte y otros procesos involucrados en el desarrollo de un campo petrolero, como lo son los Manuales de Transportistas para crudo y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para el agua de producción, así mismo se rigen bajo las normas de ASTM, ISO y SM, dando lugar a la estandarización de los resultados y veracidad de los mismos.
- Al invertir \$1'334.174.900 COP, que conlleva la implementación y puesta en marcha del módulo de caracterización de crudo, agua y emulsiones se podrá obtener beneficios tanto económicos como académicos, ya que permitirá generar un ahorro al dejar de depender de entidades externas al necesitar este servicio, y así mismo generará conocimiento y crecimiento tecnológico en el entorno educativo.
- El módulo de caracterización permitiría atender requerimientos por la comunidad estudiantil y docente y así mismo de entidades externas, ya que complementaría servicios actualmente prestados.

## RECOMENDACIONES

- Para posteriores trabajos o investigaciones que surjan a partir de este proyecto se debe tener en cuenta un análisis del entorno, lo cual es importante a la hora de implementarlo.
- En la etapa de implementación del módulo de caracterización se hace necesario contemplar costos adicionales de mantenimiento para los equipos en ejecución.
- Al momento de llevarse a cabo el proyecto, se deben actualizar las cotizaciones, debido a que con el tiempo estas pueden variar sus precios y así mismo podrá cambiar la tasa representativa del mercado del día.
- Se recomienda proponer y crear la segunda fase del proyecto, enfocada en la separación de emulsiones y optimización de operaciones de producción.

## BIBLIOGRAFIA

\_\_\_\_\_. Aparato de destilación Kjeldahl. [En línea]. En: Labomersa. Disponible en: <https://labomersa.com/producto/aparato-de-destilacion-kjeldahl/>

\_\_\_\_\_. Aparato de destilacion para cianuro completo 3350-C. [En línea]. En: Reactivos y equipos s.a de c.v. Disponible en: <http://www.reactivosyequipos.com.mx/producto/aparato-de-destilacion-completo-3350-c/1952>

\_\_\_\_\_. Baño de Viscosidad Saybolt SV4000. [En línea]. En: Petroleum Total Equipment. Disponible en: [http://www.ptec.com.co/esp/aplicaciones/derivados-del-petroleo-y-biocombustibles/viscosidad/bano-de-viscosidad-saybolt-sv4000\\_15](http://www.ptec.com.co/esp/aplicaciones/derivados-del-petroleo-y-biocombustibles/viscosidad/bano-de-viscosidad-saybolt-sv4000_15)

\_\_\_\_\_. Bureta digital. [En línea]. En: Blamis Dotaciones Laboratorio. Disponible en: <https://www.blamis.com.co/store/equipos/bureta-digital>

\_\_\_\_\_. Centrifuga determinación de agua y sedimentos en petróleos,ASTM D91,D1796 Calefaccionada. [En línea]. En: Vimaroni. Disponible en: [http://www.vimaroni.cl/home/index.php?option=com\\_virtuemart&view=productdetails&virtuemart\\_product\\_id=287&virtuemart\\_category\\_id=41](http://www.vimaroni.cl/home/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=287&virtuemart_category_id=41)

\_\_\_\_\_. Cono de sedimentación imhoff. [En línea]. En: Acequilabs. Disponible en: <https://acequilabs.com.co/material-laboratorio/cono-de-sedimentacion-imhoff/>

\_\_\_\_\_. [En línea]. En: Equipamiento Científico SAC. Disponible en: [http://equipamientocientifico.com/1908-large\\_default/phmetro-de-mesa.jpg](http://equipamientocientifico.com/1908-large_default/phmetro-de-mesa.jpg).

\_\_\_\_\_. [En línea]. En: Instrumentos de Laboratorio. Disponible en: <http://www.instrumentosdelaboratorio.net/2012/06/espectrofotometro.html>.

\_\_\_\_\_. Equipos de filtración con bomba de vacío para laboratorio. [En línea]. En: Labolan. Disponible en: <http://www.labolan.es/es/catalogo/microbiologia/equipos-de-filtracion-con-bomba-de-vacio.html>.

\_\_\_\_\_. Espectrómetros de fluorescencias de rayos X por dispersión de longitud de onda. [En línea]. En: Direct industry. Disponible en: <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/espectrometro-fluorescencia-rayos-x-por-dispersion-longitud-onda-80795.html>

\_\_\_\_\_. Extractor soxhlet 6 puestos - Gerhardt. [En línea]. En: Lab Brands. Disponible en: <http://www.labbrands.com/extractores-de-grasas-soxhlet/719-extractor-soxhlet-6-puestos-gerhardt.html>

\_\_\_\_\_. Plan Maestro Parque Tecnológico Guatiguará: petróleo y gas. [En línea]. En: Santanderinnova. Disponible en: <http://www.santanderinnova.org.co/media/2d6e8b1b2f18a427d9cfd7f8eb4eaf78.pdf>

\_\_\_\_\_. PM-93 Pensky-Martens Flash Point Tester - 35000-0. [En línea]. En: Stanhope – seta. Disponible en: <https://www.stanhope-seta.co.uk/product/pm-93-pensky-martens-flash-point-tester/>

\_\_\_\_\_. Potenciometro (ph-metro). [En línea]. En: Taringa, Octubre 3 de 2011. Disponible en: [https://www.taringa.net/+apuntes\\_y\\_monografias/potenciometro-ph-metro-y-mas\\_12nzc](https://www.taringa.net/+apuntes_y_monografias/potenciometro-ph-metro-y-mas_12nzc)

\_\_\_\_\_. Presión de Vapor de (Reid) para los productos del petróleo ASTM D 323 reid presión de vapor equipo de prueba RVP. [En línea]. En: Alibaba.com. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/vapor-pressure-tester-reid-method-for-petroleum-products-astm-d-323-reid-vapor-pressure-test-equipment-rvp-60791547156.html>

\_\_\_\_\_. Salinometro digital (sal in crude) según norma ASTM D3230 con maniobra segura. [En línea]. En: J-Rohi Ingeniería s.a.s. Disponible en: <https://j-rohi.com/project/salinometro-digital-salt-in-crude/>

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Estadísticas del sector. [En línea]. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/estadisticas-del-sector>

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Producción Fiscalizada de petróleo por campo (Barriles por día calendario - BPDC). Enero - Diciembre 2018.

AHMADUN, Fakhru'l-Razi; PENDASHTAH, Alireza; CHUAH ABDULLAH, Luqman; AWANG BIAK, Dayang Radiah; SIAVASH MADAENI, Sayed & ZAINAL ABIDINA, Zurin. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. Journal of Hazardous Materials, 170(2-3), October 30 of 2009.

AHMED, Tarek. Hydrocarbon Phase Behavior. Houston, Texas: Gulf Publishing Co, 1989. ISBN 0-87201-589-0

AL-SHAMMASI. A Review of Bubblepoint Pressure and Oil Formation Volume Factor Correlations. [online database]. April 2001, Journal of Petroleum Technology, 4(2), 146-160. Available in: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-71302-PA>

ARANBERRI; BINKS; CLINT & FLETCHER. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos. [Base de datos en

línea]. Agosto 2006, Revista Iberoamericana de Polímeros, 7(3). Disponible en: <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/AGO06/aranberri.pdf>

ARNOLD, Ken & STEWART, Maurice. Surface production operations design of oil handling systems and facilities. 3ra. Edition. Houston, Texas: Elsevier Inc, 2008.

ARNOLD, Richard. Manejo de la producción de agua: de residuo a recurso. Oilfield review, 2004.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D1401-18b. Standard Test Method for Water Separability of Petroleum Oils and Synthetic Fluids. West Conshohocken, 2018.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D240-17. Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter. [Online]. West Conshohocken, 2017. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D2501-14. Standard Test Method for Calculation of Viscosity-Gravity Constant (VGC) of Petroleum Oils. [Online]. West Conshohocken, 2019. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D287-12b. Standard Test Method for API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum Products (Hydrometer Method). [Online]. West Conshohocken, 2012. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D3228-08, Standard Test Method for Total Nitrogen in Lubricating Oils and Fuel Oils by Modified Kjeldahl Method. [Online]. West Conshohocken, 2019. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D323-15a. Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method). [Online]. West Conshohocken, 2015. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D3230-19. Standard Test Method for Salts in Crude Oil (Electrometric Method). [Online]. West Conshohocken, 2019. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D4124-09. Standard Test Method for Separation of Asphalt into Four Fractions. [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D4294-16e1. Standard Test Method for Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry. [Online]. West Conshohocken, 2016. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D4530-15. Standard Test Method for Determination of Carbon Residue (Micro Method). [Online]. West Conshohocken, 2015. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D482-13. Standard Test Method for Ash from Petroleum Products. [Online]. West Conshohocken, 2013 Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D5002-18e1. Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Crude Oils by Digital Density Analyzer. [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D5236-18a. Standard Test Method for Distillation of Heavy Hydrocarbon Mixtures (Vacuum Potstill Method). [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D5307-97. Standard Test Method for Determination of Boiling Range Distribution of Crude Petroleum by Gas Chromatography (Withdrawn 2011). [Online]. West Conshohocken, 2011. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D5863-00a. Standard Test Methods for Determination of Nickel, Vanadium, Iron, and Sodium in Crude Oils and Residual Fuels by Flame Atomic Absorption Spectrometry. [Online]. West Conshohocken, 2005. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D6304-16e1. Standard Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration. West Conshohocken, 2016.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D6443-14e1. Standard Test Method for Determination of Calcium, Chlorine, Copper, Magnesium, Phosphorus, Sulfur, and Zinc in Unused Lubricating Oils and Additives by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry (Mathematical Correction Procedure). [Online]. West Conshohocken. 2019. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D664-18e2. Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration. [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D88 / D88M-07e1. Standard Test Method for Saybolt Viscosity. [Online]. West Conshohocken, 2019. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)  
ASTM INTERNATIONAL. ASTM D93-18. Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester. [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D96-88. Standard Test Methods for Water and Sediment in Crude Oil by Centrifuge Method (Field Procedure) (Withdrawn 2000). [Online]. West Conshohocken, 1998. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D97-17b. Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products. [Online]. West Conshohocken, 2017. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D971-12. Standard Test Method for Interfacial Tension of Oil Against Water by the Ring Method. West Conshohocken, 2012.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM F3045-15e1, Standard Test Method for Evaluation of the Type and Viscoelastic Stability of Water-in-oil Mixtures Formed from Crude Oil and Petroleum Products Mixed with Water. West Conshohocken, 2015.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM F3045-15e1, Standard Test Method for Evaluation of the Type and Viscoelastic Stability of Water-in-oil Mixtures Formed from Crude Oil and Petroleum Products Mixed with Water. West Conshohocken, 2015.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM F3045-15e1. Standard Test Method for Evaluation of the Type and Viscoelastic Stability of Water-in-oil Mixtures Formed from Crude Oil and Petroleum Products Mixed with Water. West Conshohocken, 2015.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D2892-18a. Standard Test Method for Distillation of Crude Petroleum (15-Theoretical Plate Column). [Online]. West Conshohocken, 2018. Available in: [www.astm.org](http://www.astm.org)

BAILEY, Bill, CRABTREE, Mike; TYRIE Jeb; ELPHICK Jon, KUCHUK, Fikri, ROMANO, Christian y ROODHART, Leo. Control del Agua. [En línea]. Oilfield review, 2000. Disponible en: [https://www.academia.edu/28686701/Control\\_del\\_agua](https://www.academia.edu/28686701/Control_del_agua)

BAKER & SWERDLOFF. Calculation of Surface Tension 6—Finding Surface Tension of Hydrocarbon Liquids. Oil Gas J., p.125, January 2 of 1956.

BATISTA, João; RAMALHO; LECHUGA, Fernanda & LUCAS, Lizabete. Effect of the structure of commercial poly (ethylene oxide-b-propylene oxide) demulsifier bases on the demulsification of water-in-crude oil emulsions: elucidation of the demulsification mechanism. January 2010, Quimica nova 33(8).

BENAVIDES MURCIA, Jhon Javier & JAIMES BELTRAN, Yureynis Michelle. Factibilidad Técnico - Financiera de los usos alternativos del agua de producción en varios campos colombianos. Tesis de pregrado, Mención en Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, Santander: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisico-químicas, 2014.

CLARK, Corrie & VEIL, John. Produced water volumes and management practices in the United States: National Energy Technology Laboratory, September 2009.

ELPHICK & SERIGHT. A Classification of Water Problem Types. Presentando en la CONFERENCIA DE LA RED EDUCATIVA DE LA 3RA. CONFERENCIA INTERNACIONAL ANUAL SOBRE MODIFICACIÓN CONCORDANTE DEL YACIMIENTO, CEGADO DEL AGUA Y EL GAS. (6 – 8 AGOSTO, 1997: Houston, Texas, EE.UU)

ENRIQUEZ HERNÁNDEZ, Oscar Hugo. Fundamentos de las emulsiones agua-aceite crudo y su aplicación en la industria petrolera. Tesis de pregrado, Mención en ingeniería de petróleo. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2016.

FERNÁNDEZ ARTEAGA, Alejandro. Preparacion, caracterización y estabilidad de emulsiones y microemulsiones W/O. Tesis doctoral. Granada: Universidad de granada. Facultad de ciencias, 2006.

GOODARZI, Fatemeh & ZENDEHBOUDI, Sohrab. A Comprehensive Review on Emulsions and Emulsion Stability in Chemical and Energy Industries. [online database]. January 2019. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 97. Canada. Available in: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cjce.23336>

GUZMÁN LÓPEZ, Daniel Jose. Análisis del comportamiento de las emulsiones y su influencia en la cadena de producción de hidrocarburos. [En línea]. Trabajo de pregrado, Mención en ingeniería de petróleos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquimicas, 2018. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/173272.pdf>

HENRY. The Early and Later History of Petroleum. Vol. I & II. Philadelphia: Jas. B. Rodgers Co, 1873.

HUBBARD, Arthur. Emulsions and emulsion stability. Segunda Edición. Boca Raton: Taylor & Francis group LLC, 2006.

IGUNNU, Ebenezer & CHEN, George. Produced water treatment technologies. [Online databases]. September 2014. International Journal of Low-Carbon Technologies, 9(3). Available in: <https://academic.oup.com/ijlct/article/9/3/157/807670>

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. Colloidal systems — Methods for zeta-potential determination — Part 2: Optical methods, 2012-06.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. Particle size analysis -- Laser diffraction methods, 2009-10.

JAIMES CAMPO, Diana Marcela & PICO JIMENEZ, María Isabel. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y de producción evaluando las diferentes alternativas nacionales y extranjeras- aplicación campo colorado. [En línea]. Tesis de pregrado, Mención en Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, Santander: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisico-químicas, 2009. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/129404.pdf>

KUCHUK, Fikri & SENGUL, Mahmut. The Challenge of Water Control. [online database]. 1999. Middle East Well Evaluation Review, (22), 24-43. Available in: [https://www.academia.edu/20389083/The\\_Challenge\\_of\\_Water\\_Control](https://www.academia.edu/20389083/The_Challenge_of_Water_Control)

KUCHUK, Fikri; PATRA; NARASIMHAM; RAMANAN & BANERIJ. Water Watching. 1999. Middle East Well Evaluation Review, (22),14-23

KUCHUK, Fikri; SENGUL, Mahmut & ZEYBEK, Murat. Oilfield Water: A Vital Resource. [online database]. January 1999, Middle East Well Evaluation Review, (22), 4-13. Available in: [https://www.researchgate.net/publication/271074743\\_Oilfield\\_Water\\_a\\_Vital\\_Resource](https://www.researchgate.net/publication/271074743_Oilfield_Water_a_Vital_Resource)

LASATER. Bubble Point Pressure Correlations. [online database]. May 01 of 1958, Journal of Petroleum Technology, 10(5), 65–67. Available in: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-957-G>

LEE, Kenneth, NEFF, Jerry & DEBLOIS, Elisabeth. Produced Water: Overview of Composition, Fates, and Effects. [online database]. July 2011. Produced Water Environmental Risks and Advances in Mitigation Technologies, New York, pp. 3-57.

Available in:  
[https://www.researchgate.net/publication/225911658\\_Produced\\_Water\\_Overview\\_of\\_Composition\\_Fates\\_and\\_Effects](https://www.researchgate.net/publication/225911658_Produced_Water_Overview_of_Composition_Fates_and_Effects)

LIYANA; ABDURAHMAN; NOUR; RIZAUDDIN; GIMBUN & NURDIN. Stabilization and characterization of heavy crude oil-in-water (o/w) emulsions. February 2014. International Journal of Research in Engineering and Technology, 3(2). Available in: [https://pdfs.semanticscholar.org/36d3/51e7a151e65eec1013e6c9f36932971ef9ee.pdf?\\_ga=2.194686760.486307656.1571331552-1723791528.1571331552](https://pdfs.semanticscholar.org/36d3/51e7a151e65eec1013e6c9f36932971ef9ee.pdf?_ga=2.194686760.486307656.1571331552-1723791528.1571331552)

MARFISI VALLADARES, Shirley. Estabilidad de emulsiones relacionada con el proceso de deshidratación de crudos. [En línea]. Tesis Doctoral en Ciencias Aplicadas, Mención en Ingeniería Química. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería, 2005, p. 6 - 8. Disponible en: [https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/07/05\\_DR\\_Marfisi\\_S.pdf](https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/07/05_DR_Marfisi_S.pdf)

McCAIN, William. Heavy Components Control Reservoir Fluid Behavior. [online database]. September 1994, Journal of Petroleum Technology, 46(9), 746 - 750. Available in: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-28214-PA>

McCAIN, William. The Properties of Petroleum Fluids. Tulsa, Oklahoma: PennWell Publishing Co, 1990.

MOLLAKHALILI MEYBODI, Neda, MOHAMMADIFAR, Mohammad Amin; FARHOODI, Mehdi; LERCKE SKYTTE, Jacob & ABDOLMALEKI, Khadije. Physical Stability of Oil in Water Emulsions in the Presence of Gamma Irradiated Gum Tragacanth. Journal of Dispersion Science and Technology, 38(6), 2017.

MOLLAKHALILI MEYBODI, Neda; MOHAMMADIFAR, Mohammad Amin & NASERI, Alireza. Effective Factors on the Stability of Oil-in-Water Emulsion Based

Beverage: A Review. [online]. August 2014. Journal of food quality & Hazards Control. Available in: <http://jfqhc.ssu.ac.ir/article-1-68-en.pdf>

MOSES, Phillip. Engineering Applications of Phase Behavior of Crude Oil and Condensate Systems (includes associated papers 16046, 16177, 16390, 16440, 19214 and 19893). [online database]. July 1986, Journal of Petroleum Technology, 38(7), 715 - 723. Available in: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-15835-PA>

OIL & GAS JOURNAL. Worldwide Reserves. [Online]. January 1 of 2018. Available in: <https://www.ogj.com/exploration-development/reserves/article/17232353/worldwide-oil-natural-gas-reserves-exhibit-marginal-increases>

RICE, Eugene; BAIRD, Rodger & EATON, Andrew. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Electrometric Method. Edición 23. [Online]. Washintong: American Public Health Association, 2017. Available in: [https://www.academia.edu/38769108/Standard\\_Methods\\_For\\_the\\_Examination\\_of\\_Water\\_and\\_Wastewater\\_23nd\\_edition](https://www.academia.edu/38769108/Standard_Methods_For_the_Examination_of_Water_and_Wastewater_23nd_edition)

SAWYER, Cleir; MCCARTY, Perry & PARKIN, Gene. Chemistry for Environmental Engineering. McGraw Hill. 5th Edition, 2003.

SJÖBLOM, Johan. Encyclopedic handbook of emulsion technology. 1<sup>st</sup> Edition. New York: Marcel Decker, 2010.

SPEIGHT, James. The Chemistry and Technology of Petroleum. 5th Edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. ISBN 9781439873892

STANDARD METHODS. Test for the Chemical Oxygen Demand COD, 1999.

STEWART, Maurice & ARNOLD, Ken. Emulsion and oil treatment equipment Selection, sizing and troubleshooting. USA: Elsevier, 2009.

STEWART, Maurice & ARNOLD, Ken. Surface production operation: design of oil handling systems and facilities. 3<sup>rd</sup> edition. USA: Elsevier, 2008.

STRASSNER, Jacob. Effect of pH on Interfacial Films and Stability of Crude Oil-Water Emulsions. [online database]. March 1968. Journal of Petroleum Technology, 20(3). Available in: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-1939-PA>

TADROS, Tharwat. Emulsions, formation, stability, industrial applications. Berlín: Walter de Gruyter GmbH, 2016. ISBN 978-3-11-045217-4

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. International energy statistics. [Online]. Washington. 2018. Available in: <https://bit.ly/2X7HiJ9>

VAZQUEZ, Milton. & BEGGS. Correlations for Fluid Physical Property Prediction. [online database]. June 1980, Journal of Petroleum Technology, 32 (6), 968 - 970. Available in: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-6719-PA>

VTIHA, Mark. Chemical Analysis: A Series of Monographs on Analytical Chemistry and Its Applications. Hoboken, New Jersey: WILEY, 2015. ISBN 9781118985953

ZHENG, Jisi, CHEN, Bing, THANYAMANTA, Worakanok; HAWBOLDT, Kelly; ZHANG, Baiyu; LIU, Bo. Offshore produced water management: A review of current practice and challenges. [online database]. March 15 of 2016, Marine Pollution Bulletin, 104(1-2), 7 - 19. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X16300042>

F. JAMES HOLLER, STANLEY R. CROUCH, FUNDAMENTOS DE QUÍMICA ANALÍTICA, Novena edición, México: Cengage Learning, 2014.