



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTAR PROTOCOLO ASTM  
D6470 PARA DETERMINACIÓN DE SALINIDAD EN CRUDOS**

**HÉCTOR ANDRÉS GONZÁLEZ SANDOVAL**

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

**2016**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTAR PROTOCOLO ASTM  
D6470 PARA DETERMINACIÓN DE SALINIDAD EN CRUDOS**

**HÉCTOR ANDRÉS GONZÁLEZ SANDOVAL**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de petróleos

Director

Esp. César Augusto Pineda Gómez

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

2016



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

## **DEDICATORIA**

Este logro va directamente a Dios, que me permitió contar con una hermosa madre que ha sido mi motor e inspiración para dar cada paso, despertar cada día, soñar despierto, vivir enamorado, vivir con una sonrisa pese a cualquier dificultad, ella me enseñó la vida, me dio la oportunidad y me brindó su apoyo en este camino, que es el inicio de muchos otros, para ella infinitas gracias y mucho más.

Mi querida hermana, por su amor y compañía durante tantos años y los que vendrán, sus regaños solo fueron carácter y fortaleza para la persona que soy hoy en día. Mi familia, tía Vilma, más que una tía otra madre, tíos y tías, primos y primas, que me brindaron apoyo y cariño durante estos años, a todos ellos, muchas bendiciones.

Mis amigos y amigas, que hicieron esta experiencia la mejor de todas, años de estudio y compartir con ustedes hicieron posible conseguir este logro, muchos éxitos para cada uno de ustedes. A mi amor, por su apoyo incondicional, sus besos y abrazos me llenaron de confianza para dar cada paso, Dios te bendiga hoy y siempre.

Héctor Andrés González Sandoval



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander por todos los años de formación, capacitación y preparación, brindados por cada uno de los profesores que hacen parte de esta prestigiosa institución, por los conocimientos, valores y enseñanzas compartidos.

A la Escuela de Ingeniería de Petróleos, por contar con un plantel excelente de profesionales, que siempre tendieron una mano cuando más se necesitaba, a todos ellos, gracias por su atención y cordialidad.

Al Ingeniero César Pineda, por la propuesta de este proyecto, sus observaciones y sugerencias, permitieron la culminación de este proyecto.

A la Familia Ariza en Barranquilla, gracias por su apoyo y ayuda, sin ellos tampoco hubiera sido posible la realización de este libro.

**GRACIAS**



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	18
1. SAL EN CRUDOS .....	20
1.1 CRUDOS ASOCIADOS A YACIMIENTOS CON SAL .....	20
1.2 CARACTERIZACIÓN DE CRUDOS SALINOS .....	21
1.3 PROBLEMAS ASOCIADOS AL CONTENIDO DE SAL EN CRUDOS .....	23
1.4 TRATAMIENTOS DE SEPARACIÓN DEL AGUA EMULSIONADA EN CRUDOS .....	24
1.4.1 Desalado.....	24
1.4.1.1 Principales variables que afectan el rendimiento del desalado.....	26
1.4.1.2 Desaladores.....	28
1.4.1.3 Mezcladores.....	30
1.4.2 Deshidratación .....	32
1.4.2.1 Separación gravitacional.....	32
1.4.2.2 Tratamientos químicos.....	37
1.4.2.3 Tratamientos térmicos.....	38
1.4.2.4 Tratamientos eléctricos .....	39
1.4.2.5 Otros tratamientos .....	41
2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SAL EN CRUDOS .....	42

2.1 MÉTODOS ESTANDARIZADOS ASTM .....	43
2.1.1 ASTM-D3230: método electrométrico .....	43
2.1.1.1 Instrumentación y equipos .....	43
2.1.1.2 Reactivos y materiales .....	45
2.1.1.3 Procedimiento .....	46
2.1.1.4 Cálculos y reporte de resultado .....	48
2.1.1.5 Precisión .....	49
2.1.2 ASTM-D512: ion cloruro en agua.....	50
2.1.2.1 Instrumentación y equipos .....	51
2.1.2.2 Reactivos y materiales .....	51
2.1.2.3 Procedimiento .....	52
2.1.2.4 Precisión .....	53
2.1.3 ASTM-D6470: método potenciométrico .....	53
2.1.3.1 Instrumentación y equipos .....	54
2.1.3.2 Reactivos y materiales .....	56
2.1.3.3 Procedimiento .....	56
2.1.3.4 Cálculos y reporte de resultado .....	61
2.1.3.5 Precisión .....	62
2.2 MÉTODOS NO ESTANDARIZADOS.....	63



2.2.1 Métodos indirectos.....	63
2.2.2 Método ARUBA-Mohr .....	63
2.2.3 Método de Volhard.....	63
2.2.4 Método de Fajans .....	64
3. ETAPAS DEL PROYECTO.....	64
3.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	64
3.2 DEFINICIÓN DEL ESTUDIO .....	65
3.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	66
3.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO .....	67
3.5 NIVELES DE ESTUDIO .....	68
3.5.1 Análisis técnico .....	68
3.5.2 Análisis financiero .....	69
3.6 CONTROLES REQUERIDOS.....	69
4. ANÁLISIS TÉCNICO.....	70
4.1 OBJETIVOS.....	70
4.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	71
4.3 DIMENSIONAMIENTO .....	74
4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PARA PROTOCOLO ASTM D6470.....	75
4.4.1 Instrumentación y equipos .....	76

4.4.2 Reactivos y materiales .....	81
4.5 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO TÉCNICO .....	83
5. ANÁLISIS FINANCIERO.....	84
5.1 ANÁLISIS DE MERCADO.....	84
5.1.1 Objetivos .....	85
5.1.2 Identificación del proyecto.....	85
5.1.2.1 Definición del servicio .....	86
5.1.2.2 Descripción del mercado.....	88
5.1.3 Análisis de la demanda .....	89
5.1.3.1 Clientes potenciales .....	91
5.1.4 Análisis de la oferta.....	96
5.1.4.1 Proveedores.....	98
5.1.4.2 Competencia .....	100
5.1.5 Análisis y estudio de precios.....	103
5.1.6 Canales de distribución.....	109
5.2 ANÁLISIS DE COSTOS.....	110
5.2.1 Objetivo.....	111
5.2.2 Costos de inversión .....	111
5.2.3 Costos de operación .....	116

5.2.4 Costos totales .....	118
5.2.4 Sostenibilidad del proyecto .....	119
5.2.5 Indicadores de evaluación financiera.....	120
5.2.5.1 TMAR.....	120
5.2.5.2 VPN.....	121
5.2.5.3 TIR .....	124
5.2.6 Conclusiones del estudio financiero.....	125
6. SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD BASADO EN LA NTC-ISO/IEC 17025	
127	
6.1 ANTECEDENTES.....	128
6.2 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA ISO/IEC 17025:2005 .....	128
6.3 ASPECTOS DESTACADOS.....	129
6.4 REQUISITOS PARA LA ACREDITACIÓN EN CALIDAD .....	130
6.4.1 Condiciones relacionadas a la gestión.....	131
6.4.2 Condiciones relacionadas a los requerimientos técnicos.....	136
7. CONCLUSIONES .....	141
8. RECOMENDACIONES.....	143
BIBLIOGRAFÍA.....	144

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Variaciones de: (a) gravedad específica, (b) viscosidad cinemática y (c) viscosidad dinámica con respecto a el corte de agua y concentraciones de sal. ..	22
Figura 2. Sistema convencional de deshidratación y desalado de crudo.....	25
Figura 3. Esquema simplificado de un calentador-tratador electrostático horizontal. .....	29
Figura 4. Válvula de globo, corte transversal.....	30
Figura 5. Esquema de un sistema de boquillas de inyección para la pre-mezcla entre el agua y el aceite .....	31
Figura 6. Mezclador estático, corte transversal.....	31
Figura 7. Esquema de un separador horizontal (FWKO). .....	34
Figura 8. Esquema de un Gunbarrel o Wash tank con bota interna de gas.....	35
Figura 9. Esquema del funcionamiento de un tratador centrífugo.....	36
Figura 10. Esquema de un tratador térmico vertical. ....	39
Figura 11. Esquema, partes de un análisis técnico.....	68
Figura 12. Imagen satelital correspondiente a la ubicación de la locación “B” (PTG). .....	73
Figura 13. Esquema del equipo de extracción y sus dimensiones para la prueba ASTM D 6470. ....	78
Figura 14. Equipo de titulación potenciométrico automático.....	80
Figura 15. Equipo acorde a la Norma ASTM D6470.....	87
Figura 16. Curvas de demanda: (1) Curva general, (2) Demanda inelástica. ....	90
Figura 17. Curva del comportamiento de la oferta. ....	98
Figura 18. Relación entre Demanda y Oferta. Punto de equilibrio. ....	104
Figura 19. Diagrama de flujo de efectivo para el proyecto de inversión en 5 años. .....	122

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de agua de lavado, según gravedad API del crudo. ....	27
Tabla 2. Cantidad de sal en crudo según mezcla de sales en solución (calibración). .....	47
Tabla 3. Método cualitativo, determinación de la localización del proyecto. ....	73
Tabla 4. Instrumentación y equipos correspondientes al equipo de extracción para la prueba ASTM D 6470. ....	76
Tabla 5. Instrumentación y equipos correspondientes al equipo de titulación potenciométrico para la prueba ASTM D 6470. ....	79
Tabla 6. Instrumentación y equipos necesarios para la prueba ASTM D 6470. ....	80
Tabla 7. Reactivos y materiales utilizados para la aplicación de la prueba ASTM D6470. ....	82
Tabla 8. Lista de Empresas operadoras. Posibles clientes.....	92
Tabla 9. Lista de empresas operadoras de oleoductos por participación en el país (transporte de crudo). ....	93
Tabla 10. Lista de laboratorios acreditados según área de ensayo. ....	94
Tabla 11. Lista de entidades reguladoras. ....	96
Tabla 12. Lista de proveedores Internacionales. ....	99
Tabla 13. Lista de proveedores Nacionales. ....	100
Tabla 14. Lista de laboratorios de ensayos que confluyen en el mercado de prestación del servicio. ....	102
Tabla 15. Consumo de reactivos y materiales por actividad desarrollada durante el método estándar. ....	105
Tabla 16. Número de pruebas disponibles según stock de los reactivos cotizados y su respectivo costo. ....	106
Tabla 17. Costo total de la oferta del servicio de ensayo según gastos directos.	107

Tabla 18. Comparación de precios de prestación del servicio con laboratorios acreditados que usan un método estándar para la determinación del contenido de sal. ....	108
Tabla 19. Cotización de instrumentación y equipos para la prueba estándar ASTM D6470. ....	112
Tabla 20. Oferta con titulador automático y homogeneizador full set. ....	113
Tabla 21. Oferta con titulador convencional y homogeneizador full set. ....	114
Tabla 22. Oferta de equipos de proveedores internacionales y los costos de inversión asociados. ....	115
Tabla 23. Cantidad requerida de reactivos para el funcionamiento del laboratorio durante un año. ....	116
Tabla 24. Costos de los reactivos por adquisición para un año. ....	117
Tabla 25. Costos de operación por adquisición de reactivos por un año. ....	118
Tabla 26. Costos totales del proyecto. ....	118
Tabla 27. Cálculo del VPN según TMAR. ....	123

## **LISTA DE ANEXOS**

Estos anexos se encuentran en documento adjunto

ANEXO A: COTIZACIÓN-ANDIASAS

ANEXO B: COTIZACIÓN-ANNARDX

ANEXO C: COTIZACIÓN-ARQUILAB

ANEXO D: COTIZACIÓN-AVANTIKA

ANEXO E: COTIZACIÓN-DOTACIONESS

ANEXO F: COTIZACIÓN-QUIMICOFG

ANEXO G: COTIZACIÓN-TQLABORATORIOS

ANEXO H: COTIZACIÓN-WACOL

ANEXO I: COTIZACIÓN-WHEATON

ANEXO J: COTIZACIÓN-TECHNOGLASS (EMPRESA HOLANDESA)

ANEXO K: COTIZACIÓN-GD-6532 (CHONGQING GOLD  
MECHANICAL&ELECTRICAL EQUIPMENT CO., LTD)

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTAR PROTOCOLO ASTM D6470 PARA DETERMINACIÓN DE SALINIDAD EN CRUDOS\*.

**AUTOR:** HÉCTOR ANDRÉS GONZÁLEZ SANDOVAL\*\*.

**PALABRAS CLAVES:** prefactibilidad, método estándar, ASTM, salinidad, desalado, instrumentación, equipos, reactivos, análisis técnico, mercado, costos.

**DESCRIPCIÓN:** el presente estudio de prefactibilidad está enfocado a la cuantificación y estimación de costos, que están asociados a la implementación del método estándar ASTM D6470 para la determinación del contenido de sal en el crudo. Esto incluye, una descripción de la instrumentación, equipos, reactivos, materiales y, las cotizaciones correspondientes a cada uno de ellos, por distintos proveedores nacionales e internacionales. Además, las implicaciones que conlleva la implementación del protocolo como oferta de servicios de laboratorio de ensayo, es decir, el análisis del mercado al cual se desea ingresar, el análisis técnico que incluye además, análisis de la locación, tamaño del proyecto, necesario para que el laboratorio cuente con la capacidad óptima, el análisis de precios, esencial para determinar ganancias, el estudio de la competencia y como esta impacta en la oferta del servicio y el establecimiento de precios y, el análisis económico, que determina si el proyecto resulta viable o no y, si es capaz de generar utilidades.

Por otra parte, se documenta y explica, cuales son los requisitos y obligaciones para adquirir la acreditación por la norma técnica colombiana NTC ISO/IEC 17025, la cual determina, los diferentes aspectos en la parte técnica, de gestión y calidad, con el fin de que, los laboratorios que quieran demostrar la competencia, calidad y capacidad técnica de sus procesos y actividades, sean garantes de un servicio óptimo y puedan satisfacer las necesidades de sus clientes.

---

\* Proyecto de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos.  
Director: Ing. César Augusto Pineda Gómez.

## SUMMARY

**TITLE:** PRE-FEASIBILITY STUDY TO IMPLEMENT ASTM D6470 PROTOCOLO FOR DETERMINATION OF SALINITY CONTENT IN CRUDE OIL\*.

**AUTHOR:** HÉCTOR ANDRÉS GONZÁLEZ SANDOVAL\*\*.

**KEYWORDS:** pre-feasibility, standard method, ASTM, salinity, desalting, instrumentation, equipment, reagents, technical, market, costs analysis.

**DESCRIPTION:** the current pre-feasibility study deepens on the quantification and estimation of costs that are associated to the implementation of the standard method ASTM D6470 for the determination of salt content in crude oil. This includes, an instrumentation, equipment, reagents and materials description, the corresponding quotations to each of them by different either national or international suppliers. In addition, the implications that lead to the implementation of protocol as offer of assay testing laboratory services; this means the market analysis that is desirable to get into. The technical analysis that includes besides, the location analysis, size project necessary for laboratories to count with an optimum capacity. Prices analysis essential to determine profits. The study of competitors and how they cause an impact in service offering and pricing and finally, the economic analysis that determine if the project is feasible or not and if it can generate utilities.

On the other hand, it is documented and explained which are the requirements and obligations to acquire the accreditation by rule of NTC ISO/IEC 17025. Which determines various aspects in technical, quality and management issues; with the purpose of any laboratory that wants to expose competence, quality and technical capacity in all their processes and activities to be guarantors of an optimum service and could satisfied the needs of its customers.

---

\* Undergraduate Project.

\*\*Physiochemical Engineering Faculty Petroleum Engineering School.  
Director: Ing. César Augusto Pineda Gómez.

## INTRODUCCIÓN

En la industria de los hidrocarburos el crudo producido va acompañado por agua de formación, sales disueltas en el agua, y otros contaminantes que afectan su calidad y que pueden impactar de manera negativa los equipos involucrados en las distintas operaciones para su aprovechamiento. Por ello, el crudo es sometido rutinariamente a distintos métodos de análisis para cumplir con normativas que garanticen su calidad, siendo la salinidad una de las variables más representativas a cuantificar. Para tal fin existen diversos métodos físicos y químicos, estandarizados o de campo, entre los que se destacan el método potenciométrico, el electrométrico, el método de Mohr, entre otros.

Debido a la producción de crudo y el agua asociada a este, se es indispensable que las empresas en la industria se vean obligadas a llevar un control estricto y continuo de sus tasas de flujo y la captación de los fluidos a través de todo el sistema del campo. Desde fondo de pozo; llegando a la cabeza de superficie; y de este punto en adelante, distribuyéndose por las líneas hasta cada una de las secciones dispuestas en las facilidades del campo, entre estas, las más destacadas son las encargadas de los procesos de separación y tratamiento de las corrientes (agua emulsionada, sal en el crudo, etc.), sin lugar a dudas, los procesos que más requerirán atención en cuanto a optimización y eficiencia, para así, llevar los fluidos hacia su disposición final.

El crudo y el agua tratada para su disposición deberán cumplir con ciertas normativas que garantice la calidad y disminuya el riesgo en las operaciones. Es aquí donde la implementación de los diferentes métodos ya sea de laboratorio o de campo, juega un papel importante en la determinación de los parámetros requeridos. En el caso del crudo, la cantidad de sal o salinidad, expresada comúnmente como libras de sal en mil barriles de crudo (*PTB-pounds per thousand barrels*), es uno de los parámetros que se busca controlar, con el fin de reducir principalmente los problemas asociados a la corrosión.

Por lo anterior mencionado, las empresas requieren en sus operaciones los servicios que puedan ofrecer cualquier entidad o laboratorio encargado de realizar el análisis correspondiente a la necesidad que se le solicite. En gran parte la confiabilidad dependerá a los métodos utilizados, por lo que los métodos estandarizados son los más atractivos para tal fin. En este caso, el laboratorio de fluidos de la escuela no cuenta con un método estandarizado ASTM que permita medir la salinidad en crudos para ofrecer dicho servicio a la industria; el método empleado conocido como método de Mohr, que si bien es aceptado ocasionalmente por muchas empresas, carece de las condiciones para ser considerado un método de prueba estándar.

El presente estudio busca ampliar las oportunidades del laboratorio para realizar un análisis de prefactibilidad orientada a la implementación de la norma ASTM D6470 para la determinación de la salinidad por el método potenciométrico, con el cual quedará plasmado un análisis técnico de los requerimientos de la prueba y un análisis económico que corresponderá a la aplicación del protocolo. Esto permitirá contar con un método alternativo para validar el método existente, ajustar su operación y ampliar la oferta académica y de servicios del departamento.

## 1. SAL EN CRUDOS

La sal, como muchos otros minerales provenientes de rocas (halita, anhidrita, magnesita, etc.) que en su mayoría son del tipo evaporíticas, se encuentra en contacto con las aguas que yacen subterráneas y en conjunto con las formaciones de hidrocarburos o yacimientos. Estos acuíferos, sean aislados o no, en la mayoría de casos, siempre tendrán una gran influencia en relación a la interacción con los yacimientos de crudo, ya sea, en el flujo, composición y/o cualquier operación que involucre la caracterización del crudo, y el agua asociada a el mismo.

En condiciones de fondo puede ser que esta agua se encuentre como una fase libre en contacto con la capa de crudo. Sin embargo, cuando inicia la extracción de este y el crudo viaja por tubería de producción, generalmente se generan velocidades de flujo altas, adicional a las restricciones que puedan existir, tanto en fondo como en superficie (válvulas de seguridad, *chokes*, *fittings*), favoreciendo la mezcla entre el crudo y el agua, formando emulsiones.

### 1.1 CRUDOS ASOCIADOS A YACIMIENTOS CON SAL

En la industria del petróleo, existe una gran variación en el contenido de sal en crudos dependiendo principalmente en la fuente y, posiblemente, en los pozos productores o zonas en un campo. El contenido de sales minerales provenientes de las rocas varía con la formación geológica y puede ser tan grande como 200,000 ppm<sup>1</sup>. En muchas ocasiones el aporte de estos minerales también proviene de formaciones rocosas pobremente cementadas, las cuales se ven sometidas a grandes cantidades de esfuerzos debido a las operaciones de perforación y posterior acondicionamiento para la producción, generando así, no solo el arrastre de material fino, sino también problemas de arenamiento.

---

<sup>1</sup> O. MOHAMED, Abdel-Mohsen; EL GAMAL Maisa y Y. ZEKRI, Abdulrazag. Effect of salinity and temperature on water cut determination in oil reservoirs. En: ELSEVIER [En línea]. Journal of Petroleum Science and Engineering. Vol. 40, 3-4, p. 177-188. p. 178 Disponible en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

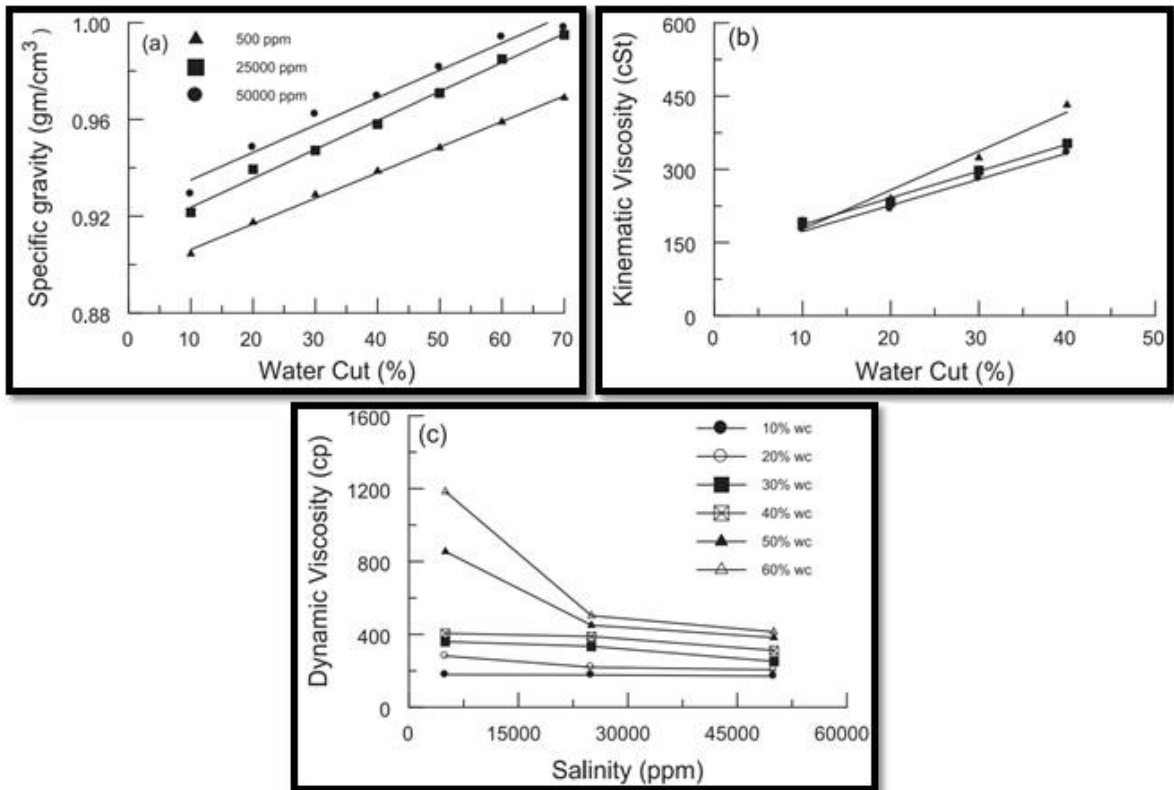
En el mundo, los yacimientos con mayor aporte de sal, se le atribuyen a las estructuras sedimentarias que se formaron en zonas o cuencas someras o de origen marino y climas que favorecían la evaporación de grandes masas de agua. Por tanto, los depósitos evaporíticos, son en gran parte la fuente principal de este material, que puede estar presentes en cualquier masa de agua subterránea, o en conjunto al crudo por intrusiones salinas (diapiros), debido a la diferencia de densidades, está tiende a ascender.

## 1.2 CARACTERIZACIÓN DE CRUDOS SALINOS

La caracterización del crudo que es extraído de los pozos provenientes a un mismo yacimiento, permite estar preparado diseñando, implementando y ejecutando estructuras de procesos, que nos indicará el recorrido de la materia prima según su composición. Sabemos que, el agua asociada al crudo contiene cantidades de iones disueltos (ej.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ), sólidos, metales, entre otros, que puede generar grandes problemas principalmente en las vías o ductos hasta los equipos en donde se almacena el crudo, por ello, es importante realizar los controles pertinentes para la correcta adecuación y/o selección de los equipos inmersos en las operaciones.

Esta agua asociada al crudo se presenta en manera de emulsión, en la mayoría de casos el agua se encuentra en pequeñas gotas dispersas en el aceite, el crudo como la fase continua y el agua la fase dispersa. En cuanto a la salinidad, a medida que está aumenta, la emulsión se ve afectada en algunas de sus propiedades, su gravedad específica, viscosidades cinemáticas y dinámicas, entre otras. En la figura 1, se aprecia el efecto que la salinidad tiene con respecto al porcentaje de corte de agua sobre la gravedad específica, la viscosidad cinemática y dinámica respectivamente.

**Figura 1.** Variaciones de: (a) gravedad específica, (b) viscosidad cinemática y (c) viscosidad dinámica con respecto a el corte de agua y concentraciones de sal.



Modificado de: O. MOHAMED, Abdel-Mohsen; EL GAMAL Maisa y Y. ZEKRI, Abdulrazag. Effect of salinity and temperature on water cut determination in oil reservoirs. En: ELSEVIER [En línea]. Journal of Petroleum Science and Engineering. Vol. 40, 3-4, p. 177-188. p. 185 Disponible en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Se concluye que a medida que aumenta la concentración de sal, por los resultados obtenidos en la figura 1.a, se incrementa la gravedad específica de la emulsión debido a la acumulación de masa en el sistema. Para los otros dos casos, los resultados muestran que las viscosidades tienden a disminuir con el aumento de la concentración de sal, esta debilita la red de puentes de hidrógeno natural del agua, favoreciendo la diferenciación entre las fases y rompimiento de la tensión superficial de estas, mejorando así la movilidad.

### 1.3 PROBLEMAS ASOCIADOS AL CONTENIDO DE SAL EN CRUDOS

- Hidratos: los sólidos presentes y iones de sales disueltos pueden depositarse, debido a la disminución de temperatura, o las excesivas caídas de presión que ocurren a lo largo del camino del crudo desde el yacimiento a medida que sube y llega a las facilidades, esta disminución en temperatura es la causa de que se formen hidratos<sup>2</sup>.

La formación de hidratos es muy común, cuando compuestos inorgánicos están presentes en el agua emulsionada y si se generan condiciones de operación por debajo de la temperatura de formación de hidratos. Posteriormente, tienden a generar problemas de corrosión.

- Corrosión: las sales se depositan en las tuberías aumentando la velocidad de erosión de las líneas, además, debido a que los cloruros de calcio y magnesio por ejemplo, son conocidos por hidrolizar fácilmente para formar ácido clorhídrico que presente en el crudo se cree causa el daño excesivo en materia de corrosión<sup>3</sup>.
- En los tubos de los intercambiadores, disminuye la transferencia de calor o el duty requerido en el proceso, y en los tubos de fuego, ya sea, de rehervidores u hornos, produciendo puntos calientes y favoreciendo la deposición de coque, aumentando costos operacionales<sup>4</sup>.
- Taponamientos: serios taponamientos y obstrucciones, parcial o completas, pueden ocasionarse debido a la presencia de los sólidos inorgánicos en el crudo, a través del sistema. Mayores requerimientos de energía de bombeo.

---

<sup>2</sup> ARNORLD, Ken y STEWART, Maurice. Surface production operations: design of gas-handling systems and facilities. Vol. 2. Houston, Texas: Gulf publishing company. Chapter 4.

<sup>3</sup> EGLOFF, G., NELSON, E. F., MAXUTOV, C. D., y WIRTH, C. Desalting crude oils (SPE-938048-G). Oklahoma: SPE, 1938. p. 2.

<sup>4</sup> WAUQUIER, J.-P. El refino del petróleo: petróleo crudo, productos petrolíferos, esquemas de fabricación. Ediciones Días de Santos, 2004. p. 325.

- Otros problemas: como reducción de tasas de flujo, zonas de acumulación de presiones altas, formación de escamas, sobrecarga en los equipos inmersos en el proceso de tratamiento, etc. En general, un incremento en los costos operacionales.

## **1.4 TRATAMIENTOS DE SEPARACIÓN DEL AGUA EMULSIONADA EN CRUDOS**

En las facilidades se encuentran un número significativos de equipos e instrumentos con el fin de separar los hidrocarburos en cada una de sus fases según sea el criterio de venta o la razón comercial del campo. Es por esto que las instalaciones deben cumplir con las condiciones de operación óptimas para llevar crudo, gas u otros derivados a las mínimas especificaciones de venta acordados entre cliente y operador, o simplemente para garantizar las condiciones de seguridad que permitan que la planta funcione de la mejor manera.

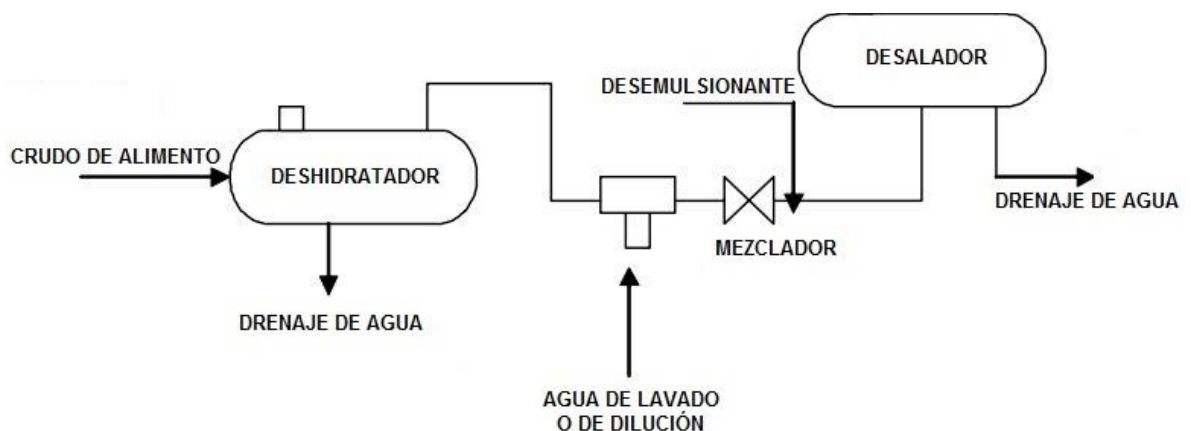
La disposición de estos equipos dependerá de la adecuada caracterización del fluido en el yacimiento, sino se tiene en cuenta cada una de las propiedades del hidrocarburo, un mal diseño traería consigo pérdidas económicas altas y un riesgo elevado en las operaciones.

### **1.4.1 Desalado**

El principal objetivo de una planta de desalado es romper las capas que cubren o rodean las gotas pequeñas de agua que mantienen la emulsión estable con el crudo, coalescer las gotas para que puedan formarse unas mucho más grandes, permitiendo que estas se acumulen lo suficiente y empiecen a asentarse después o durante de la coalescencia. En la figura 2 se puede observar un esquema básico de la línea de flujo de operación por la que pasa la corriente de crudo en los procesos de deshidratación y desalado.

Una función secundaria pero importante de este proceso de desalado es la remoción de sólidos suspendidos en el crudo. Estos son usualmente partículas muy finas de arena, arcilla y suelo; partículas de óxido y sulfuro de hierro de tuberías, tanques; y otros contaminantes arrastrados en el recorrido o producción. Los sólidos totales suspendidos removidos debe ser 60 % o mejor con un 80% de partículas removidas mayor a 0.8 micrones en tamaño<sup>5</sup>.

**Figura 2.** Sistema convencional de deshidratación y desalado de crudo.



Modificado de: MARFISI, Shirley y SALAGER, Jean Louis. DESHIDRATACIÓN DE CRUDO: principios y tecnología. p. 33 En: [http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S853PP\\_Deshidratacion.pdf](http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S853PP_Deshidratacion.pdf)

El proceso de desalado involucra dos pasos. El primer paso es mezclar el agua dulce con el agua producida que es arrastrada (emulsión). Esto disminuirá la salinidad de la corriente, por dilución. El segundo paso es la deshidratación, se encarga de remover el agua del crudo. Ambos procesos reducen la salinidad a un nivel bajo del agua residual en el crudo.

<sup>5</sup> GARY, James H. y HANDWERK, Glenn E. Petroleum Refining: Technology and Economics. Fourth Edition. New York: Marcel Dekker, Inc., 2001. p. 46

El contenido de sal del agua se expresa en partes por millón (ppm) de cloruro de sodio equivalente. La salinidad puede variar en un rango de 0 a más de 150,000 ppm. El desalado es requerido cuando la cantidad de sal contenida en la corriente después de tratamiento es mayor a un valor especificado<sup>6</sup>.

#### **1.4.1.1 Principales variables que afectan el rendimiento del desalado**

- Tasa de flujo de aceite: se debe cumplir con ciertos estándares en la cantidad de crudo salado que ingresa a los equipos para el proceso de desalado, cuando la cantidad de sal en ppm por unidad de volumen de crudo que ingresa excede la tasa óptima (capacidad), la eficiencia del proceso de reduce considerablemente.
- Tiempo de asentamiento: este parámetro es de suma importancia para aquellos equipos de tratamiento, tanto para el desalado como para la deshidratación, que utilizan el principio de la gravedad para que se dé la separación entre las fases debido a la diferencia de densidades entre el agua y el crudo. Es posible que el agua separada arrastre cierta cantidad de sal o sólidos en solución con esta, que vienen consigo de la corriente de emulsión. El agua y sólidos se extraerán desde el fondo y un crudo más limpio saldrá por la parte superior del equipo.
- Inyección de demulsificantes: la selección y dosificación adecuada de demulsificante aumentará la efectividad en la operación de desalado. Estos se adsorben en la interfase agua-aceite desestabilizando químicamente a la emulsión, eliminando o reduciendo la película que rodean a las gotas de agua.

---

<sup>6</sup> ARNOLD, Ken y STEWART, Maurice. Surface Production Operations: design of oil handling systems and facilities. Third Edition. USA: Gulf Professional Publishing; Elsevier, 2008. p. 444

- **Calentamiento:** el calor causa una disminución en la viscosidad, espesor, y cohesión de la película que rodea a las gotas de agua. Al aumentar la temperatura, también se produce una reducción en la viscosidad del crudo, lo que produce el aumento de la energía cinética de las moléculas de agua, favoreciendo a su coalescencia.
- **Dilución con agua dulce:** mediante la adición de una corriente de agua dulce (con bajo contenido de sales) a la corriente de crudo deshidratado, se logra disolver y diluir los cristales de sal en el crudo o en el agua inmersa en él. El agua dulce incrementa la eficiencia de mezclado y permite el lavado de las gotas de agua en emulsión, drenándolas y retirándolas de la corriente de crudo.
- **Mezclado:** un proceso principal a optimizar, debido a que un buen mezclado garantizará que el agua dulce diluya las sales y sólidos en el crudo, favorece además la coalescencia de las gotas debido a la interacción que produce el mezclado entre el agua de lavado y la emulsión.
- **Porcentaje de agua de dilución:** la relación de agua dulce inyectada para la dilución con respecto al volumen de crudo o emulsión, se recomienda sea de 3-10% del flujo total de crudo. En la siguiente tabla se muestra el porcentaje en volumen del agua de lavado, dependiente de la gravedad API del crudo y rangos de operación con la temperatura:

**Tabla 1.** Porcentaje de agua de lavado, según gravedad API del crudo.

°API	Agua de lavado, %vol.	Temperatura °F(°C)
>40	3-4	240-260 (115-125)
30-40	4-7	260-280 (125-140)
<30	7-10	280-330 (140-150)

Modificado de: GARY, James H. y HANDWERK, Glenn E. Petroleum Refining: Technology and Economics. Fourth Edition. New York: Marcel Dekker, Inc., 2001. p. 46

- Presión del proceso: la válvula de contrapresión del tratador debe garantizar que se mantenga la presión dentro de este por encima de la presión de vapor y no se llegue a vaporizar crudos livianos y el agua en mezcla. Si se genera mucho gas, es un indicio de que existe mucha agua en el sistema, y por tanto, pobre remoción de sal.
- Voltaje del desalador: entre mayor sea el gradiente de voltaje, mayor será la magnitud de la coalescencia. Sin embargo, existe una limitación al tamaño al cual las gotas puedan coalescer para un campo de fuerza y un voltaje máximo que pueda ser aplicado para un sistema en especial. Es posible que para cierto gradiente de voltaje se produzca una estabilización en la emulsión. Por esta razón, los equipos electrostáticos son equipados con un gradiente de voltaje ajustable<sup>7</sup>.

#### 1.4.1.2 Desaladores

Los desaladores son las unidades en las cuales se llevará a cabo el proceso de coalescencia de las gotas de aguas y las partículas de sal. Cualquier dispositivo que remueva el agua del aceite puede ser usado como un desalador. En la actualidad, los desaladores más comúnmente usados en el proceso son los tratadores electrostáticos horizontales. Estos generan un campo eléctrico fuerte que dispersa las gotas de aguas rápidamente para favorecer la colisión entre sí, reduciendo la capa interfacial que mantiene la emulsión estable, lo que resulta en la coalescencia de las gotas de agua.

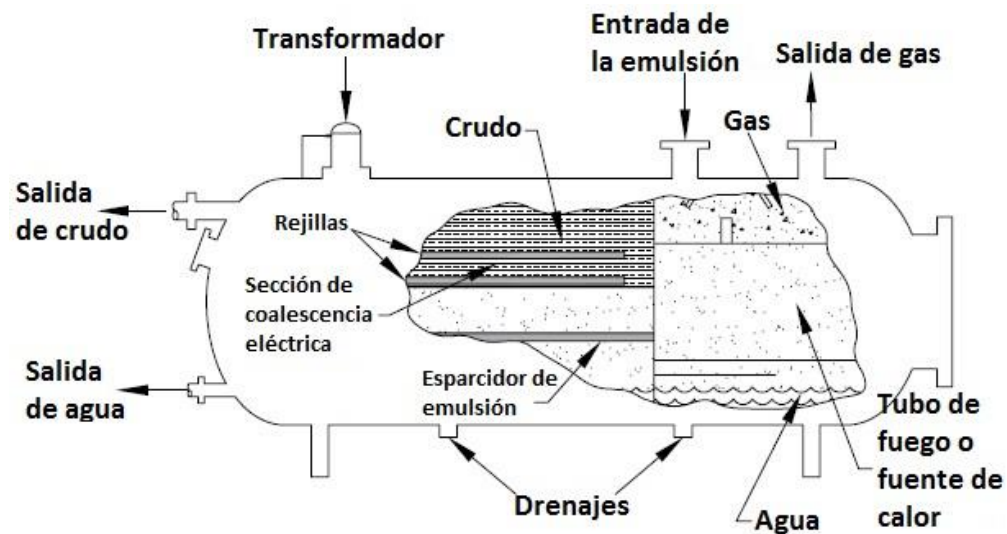
Se usa para el caso del tratador electrostático, dos tipos de configuraciones especiales, desalador electrostático AC (corriente alterna) y DC (corriente directa). La coalescencia de las pequeñas gotas se logra gracias al establecer un campo eléctrico AC/DC de alto voltaje por encima del contacto agua-aceite dentro del

---

<sup>7</sup> ZEIDANI, K. y BAHADORI, A. Analysis of Crude oil Electrostatic Desalters Performance. Petroleum Society of Canada. Mayo 1, 2006. p. 24

separador, lo que causa que las gotas oscilen a medida pasa el flujo de crudo por los electrodos en la sección de coalescencia eléctrica<sup>8</sup>.

**Figura 3.** Esquema simplificado de un calentador-tratador electrostático horizontal.



Modificado de: ARNOLD, Ken y STEWART, Maurice. Surface Production Operations: design of oil handling systems and facilities. Third Edition. USA: Gulf Professional Publishing; Elsevier, 2008. p. 380

Los campos eléctricos inducidos por la fuente que genera el tipo de corriente hacia los electrodos y permite la ionización o electrificación de las gotas del agua en emulsión, hacen que las gotas se expandan y contraigan por la variación de la señal forzando a que las gotas ganen un momento mayor gracias a la vibración de estas, para posteriormente colisionar y coalescer.

En la actualidad, la aplicación dual de los campos eléctricos producidos por la señal de corriente AC y DC en separadores electrostáticos, ha demostrado ser un método en el que se pueden obtener grandes eficiencias de remoción, la primera siendo

<sup>8</sup> ZEIDANI, K. y BAHADORI, A. Analysis of Crude oil Electrostatic Desalters Performance. Petroleum Society of Canada. Mayo 1, 2006. p. 22

aplicada cerca de la interfase agua y aceite, y la segunda en la zona de aceite, por medio de los electrodos.

### 1.4.1.3 Mezcladores

- Válvulas de globo: es el método más simple para permitir el mezclado y la dilución del agua dulce en la corriente de crudo y agua en emulsión. Produciendo una caída de presión, por el paso de la corriente de crudo y el agua de mezcla, con el fin de ejercer un esfuerzo de corte que permita al agua dulce mezclarse con el crudo para el lavado.

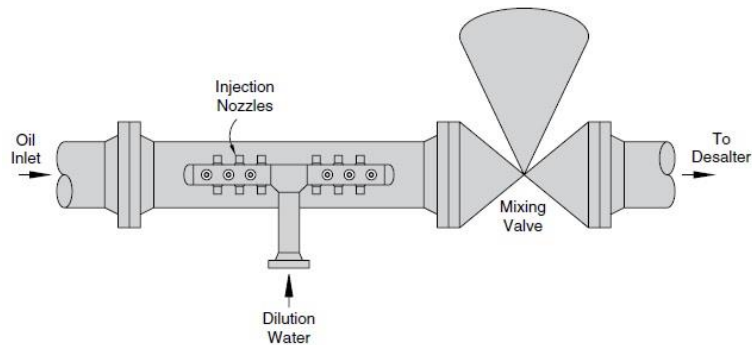
**Figura 4.** Válvula de globo, corte transversal.



Fuente: <http://www.coopervalves.com/media/valves/3-1-1-gate-feat-cutaway.png>

- Boquillas de inyección: las boquillas de inyección se usan para mejorar el rendimiento a la hora del proceso de desalado, las cuales realizan un mezclado inicial antes de ir a la unidad de desalado y la válvula de mezclado. El agua de dilución ingresa hacia unas boquillas para posteriormente ser rociadas a la corriente principal de la emulsión.

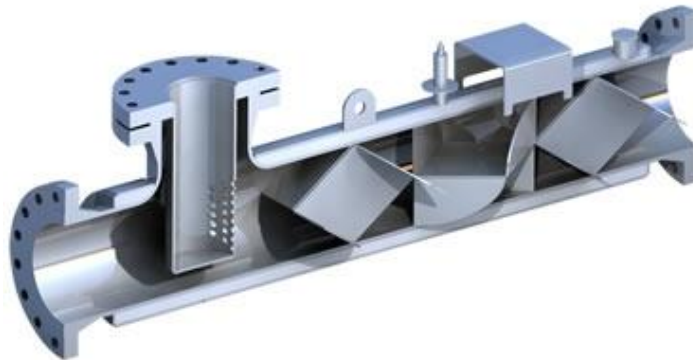
**Figura 5.** Esquema de un sistema de boquillas de inyección para la pre-mezcla entre el agua y el aceite



Fuente: ARNOLD, Ken y STEWART, Maurice. Surface Production Operations: design of oil handling systems and facilities. Third Edition. USA: Gulf Professional Publishing; Elsevier, 2008. p. 442

- Mezcladores estáticos: la configuración principal de estos mezcladores se encuentra dentro, usando piezas de platos corrugados con diferentes aberturas y tamaños, el flujo en emulsión recorre y choca por las diferentes placas o platos, favoreciendo a la recolección de las gotas de agua debido a que se provee un área de superficie mayor, y a su vez, reduciendo su tamaño. La desventaja principal de estos mezcladores es que no son ajustables a las variaciones y cambios en la tasas de flujo de la corriente de entrada.

**Figura 6.** Mezclador estático, corte transversal.



Fuente: <http://www.primix.com/en/products/static-mixers-custom-made.html>

## 1.4.2 Deshidratación

El proceso de deshidratación se encarga principalmente de retirar el agua libre o aquella que se encuentre en emulsión con el crudo, también incluye el proceso de retirar el agua de gases. La emulsión se hace pasar a través de diversos equipos que utilizan diferentes configuraciones, principios y diseños, para obtener un rendimiento específico en cuestión del porcentaje de agua retirada.

### 1.4.2.1 Separación gravitacional

El método de separación por gravedad, es el método primario y más simple usado para separar las fases de agua, aceite o crudo en emulsión, y partículas finas o sólidos. Las diferencias de densidades serán las fuerzas que actúen en este proceso. El agua irá al fondo del recipiente con los sólidos; una zona de emulsión posteriormente; y por último una franja de aceite. El tiempo requerido para la coalescencia de las gotas de agua y su separación se conoce como tiempo de retención, importante para que los efectos de la gravedad tomen lugar en el proceso.

Los factores básicos determinantes que afectan la separación de aceite-agua, se encuentran relacionados directamente con la ley de Stokes<sup>9</sup>, en la ecuación número uno.

$$v_s = \frac{2}{9} \frac{gr^2(\rho_p - \rho_f)}{\mu_f} = f_s r^2 \dots (\text{Ec. 1})$$

---

<sup>9</sup> MONTES PÁEZ, Erik Giovany. Tecnologías de tratamiento de emulsiones en campos petroleros. Bucaramanga, 2010. Trabajo para optar al título de Especialista en Producción de Hidrocarburos. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. p. 41

Donde:

$v_s$ : Velocidad de asentamiento de las partículas (cm/s)

$g$ : Aceleración de la gravedad (cm/s<sup>2</sup>)

$r$ : Radio de la partícula dispersa (cm)

$\rho_p$ : Densidad de la partícula dispersa (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_f$ : Densidad del fluido (g/cm<sup>3</sup>)

$\mu_f$ : Viscosidad del fluido (cp)

$f_s$ : Factor de Stokes (1/cm – s)

Por tanto entre las variables involucradas, el tiempo de retención y la velocidad de asentamiento de la gota dependerá de las diferencias de densidades, viscosidad del aceite, el tamaño de la gota de agua y la constante de gravedad<sup>10</sup>.

- **Separadores Horizontales y verticales:** Los separadores, ya sean, horizontales y verticales son principalmente la primera etapa de separación por la que debe pasar el crudo que sale de los pozos productores. Estos pueden ser separadores de dos fases y tres fases, generalmente en yacimientos donde no se espera grandes cantidades de agua o en yacimientos con pozos de gas, el separador a seleccionar es el de dos fases, y en el resto de casos donde existe más de dos fases en la corriente de entrada, es requerido un separador de tres fases.

Sea vertical o horizontal dependerá del área disponible en las facilidades, y características propias del fluido que se está produciendo. Se recomienda el uso de separadores verticales, cuando se espera que el fluido arrastre consigo cantidades de sólidos considerables.

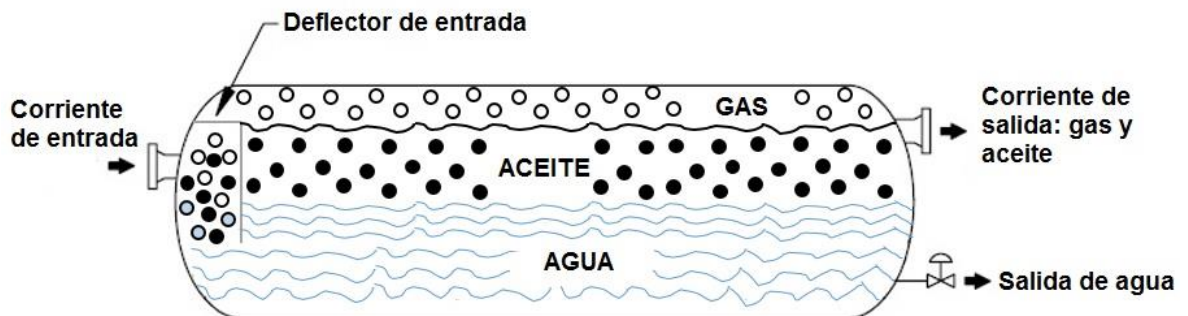
---

<sup>10</sup> CUMMINGA, C. B. y ENGELMAN, C. E. The Theory and Economics of Electrostatic Treaters. Society of Petroleum Engineers. SPE-18850-MS, January 1, 1989. p. 1

En el caso de los separadores horizontales, estos brindan mejor sección de asentamiento gravitacional y proporcionan mayor área de interfase, lo que favorece el equilibrio de fase para permitir la separación.

El FWKO (free-water knockout), es diseñado con el propósito de retirar el agua libre, separarla de la emulsión, y cantidades de gas que sean arrastradas en la corriente debido a la disminución de la presión o expansión del crudo, sin ser este último su prioridad. A diferencia de los separadores de tres fases, un FWKO solo tiene dos corrientes de salida, una de ellas con la emulsión y gas en arrastre, y la otra el agua libre o separada, que es posteriormente enviada a la zona de tratamiento de aguas residuales.

**Figura 7.** Esquema de un separador horizontal (FWKO).

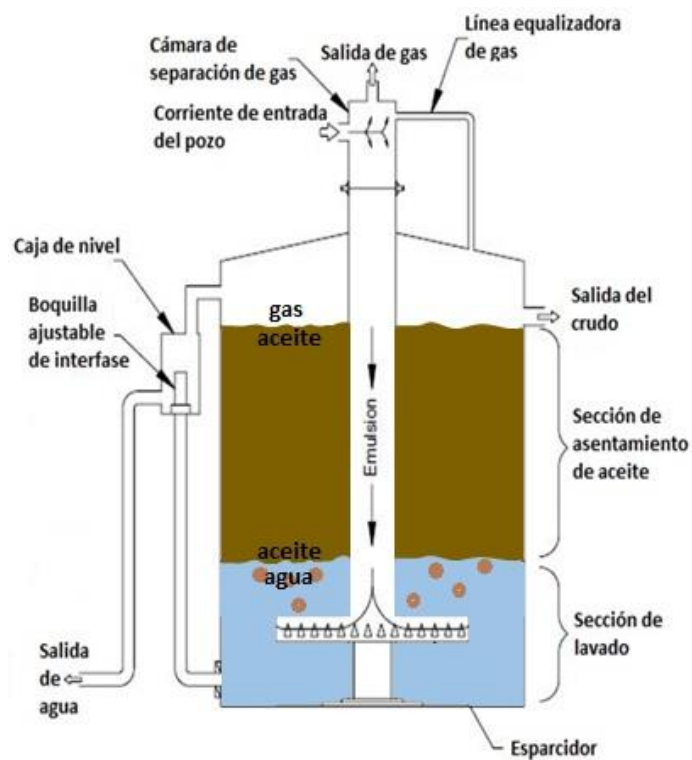


Modificado de: ARNOLD, Ken y STEWART, Maurice. Surface Production Operations: design of oil handling systems and facilities. Third Edition. USA: Gulf Professional Publishing; Elsevier, 2008. p. 251

- **Wash tank:** El Wash tank o gunbarrel es un separador que al igual que el FWKO, se encarga de separar el agua de la emulsión, con la diferencia que este puede tener en su diseño, una bota de gas interna que le permite también separar y disponer por otra salida, el gas asociado a la extracción del crudo.

Como se puede observar en la figura 8, la emulsión entra desde el tope del contenedor por la zona de separación del gas de la bota de gas, proveniente de alguna etapa de separación anterior o previo tratamiento en un calentador, baja a través del downcomer hasta un esparcidor con el cual se atomiza en pequeñas gotas la mezcla favoreciendo a la separación del agua de la emulsión.

**Figura 8.** Esquema de un Gunbarrel o Wash tank con bota interna de gas.



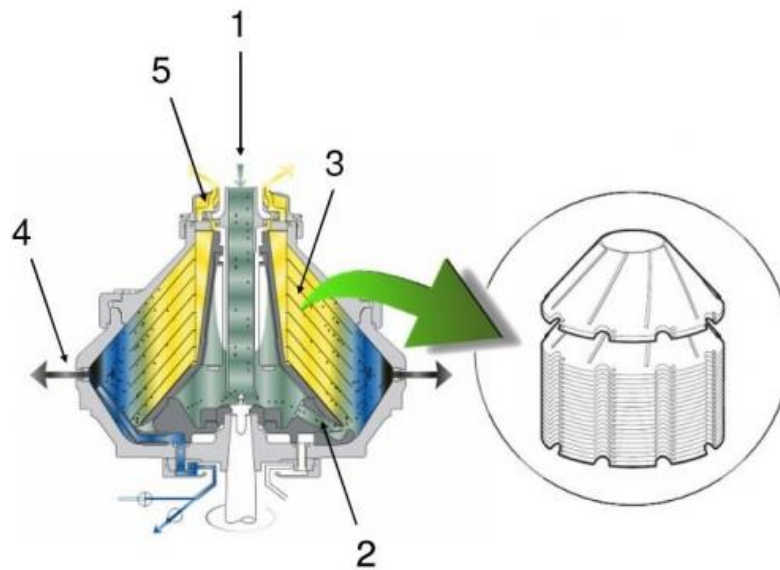
Modificado de: ARNOLD, Ken y STEWART, Maurice. Surface Production Operations: design of oil handling systems and facilities. Third Edition. USA: Gulf Professional Publishing; Elsevier, 2008. p. 353

- **Centrífuga:** Los equipos centrífugos dispuestos para la separación del agua en emulsión con el crudo, lo que buscan es aumentar en un factor mucho mayor la fuerza de gravedad.

Esto se debe a la fuerza centrífuga que se ejerce sobre el fluido, que puede lograr valores de hasta 20,000 veces el valor de la constante de gravedad, y según la ley de Stokes, se logra que la velocidad de asentamiento de la gota se incremente y separe de la mezcla.

Además, el efecto rotacional ayuda a la sedimentación de las partículas dispersas en la corriente de flujo. El equipo es compacto, tiene una alta capacidad y eficiencia de separación. Se encuentra limitado por el porcentaje de arrastre de gases y la cantidad de sólidos presentes.

**Figura 9.** Esquema del funcionamiento de un tratador centrífugo.



Fuente: MONTES PÁEZ, Erik Giovany. Tecnologías de tratamiento de emulsiones en campos petroleros. Bucaramanga, 2010. p. 69

La emulsión ingresa a la centrífuga por medio del tubo estático de alimentación (1), llegando al fondo del equipo por medio de los bujes (2). La pila de discos (3) se encuentra rotando con una frecuencia del orden de 3000 rpm, el agua y sólidos se desplazan hacia la zona externa, donde se

encuentran las boquillas (4) por las cuales se retira estas partículas. Por último, el crudo limpio va hacia la tubería de descarga (5)<sup>11</sup>.

#### **1.4.2.2 Tratamientos químicos**

Los tratamientos químicos son uno de los métodos más usados para las aplicaciones de rompimiento y deshidratación de las emulsiones, para retirar el agua asociada a las corrientes de producción. La selección y dosificación adecuada de los químicos o desemulsificantes serán de vital importancia para obtener resultados positivos en cuestión de la cantidad de agua que logre separar y neutralice los agentes que mantienen estable la emulsión. Para llevar a cabo las tareas mencionadas, es necesario realizar pruebas de compatibilidad y ajuste en laboratorio, con las cuales se determinará, que químico es el más eficiente y brindará mejor respaldo en las operaciones.

Entre las sustancias utilizadas en la preparación de rompedores están los ésteres, uretanos, resinas, polialquenos, glicoles, poliaminas, sulfonatos, etc., aunque se desconoce la composición exacta de los productos ofrecidos por cada empresa fabricante, esta puede variar ampliamente debido a la concentración o porcentaje por cada componente inmerso en la fabricación.

No obstante, siendo la aplicación de químicos una práctica de control constante, ya sea, para problemas de corrosión, de incrustaciones, espumas, aquellos relacionados con la separación de fases (coagulantes, floculantes, rompedores de emulsión, etc.), el uso excesivo de estos no solo acarrea grandes inversiones y costos, sino también puede traer consigo el agravamiento del problema existente que se está atacando. Puesto que, la mayoría de productos químicos destinados para tales fines, están constituidos por sustancias conocidas como tensoactivos, los cuales favorecen a la formación de emulsiones.

---

<sup>11</sup> MONTES PÁEZ, Erik Giovany. Tecnologías de tratamiento de emulsiones en campos petroleros. Bucaramanga, 2010. Trabajo para optar al título de Especialista en Producción de Hidrocarburos. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. p. 68

De la misma manera que se selecciona la dosis óptima y el tipo de químico a utilizar, es necesario establecer el punto o lugar idóneo en donde realizar la inyección de estos. Aquellos puntos donde se favorezca el transporte y mezcla de los productos con la corriente o emulsión, podrán favorecer aún más la acción del agente químico. En lugares como en el pozo o las restricciones en cabeza sería el lugar ideal para tal fin, aunque cuando no se viable la inyección dentro del pozo, se recomienda hacerla en los puntos de recolección o múltiples de estación.

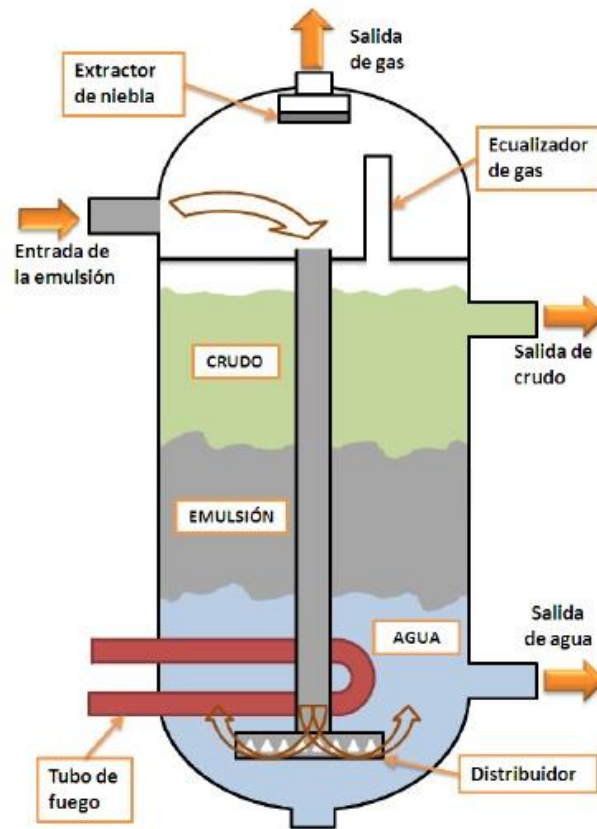
### **1.4.2.3 Tratamientos térmicos**

Con los tratamientos térmicos en definitiva lo que se busca es suministrar a la emulsión calor de manera que el aumento en la temperatura tenga efecto en disminuir la viscosidad del crudo y las gotas de agua dispersas puedan moverse con facilidad para facilitar su coalescencia gracias al aumento en la velocidad de asentamiento de las mismas.

Para poder llevar a cabo lo anterior existen diferentes equipos encargados en el suministro de calor, entre ellos se pueden diferenciar de dos maneras, los calentadores y los tratadores térmicos. La diferencia entre los dos radica en que los tratadores térmicos permiten la separación de las diferentes fases dentro del tratador por las correspondientes corrientes de salida de cada fase (agua, aceite y gas) mientras se le aplica calor en la sección de calentamiento.

Para el caso de los calentadores, solo se encargan de suministrar la energía necesaria a la emulsión para su calentamiento durante el flujo de este por el equipo que puede ser de tipo indirecto o directo, la primera se realiza por el calentamiento de un fluido que entra en contacto con la tubería por la que pasa la corriente emulsionada, y la segunda por medio de tubos de fuego que calienta directamente la emulsión, en consecuencia, posterior al calentador deberá existir un punto de almacén o recipiente que se encargue de separar las fases (gunbarrel, Wash tank, etc.).

Figura 10. Esquema de un tratador térmico vertical.



Fuente: MONTES PÁEZ, Erik Giovany. Tecnologías de tratamiento de emulsiones en campos petroleros. Bucaramanga, 2010. p. 53

#### 1.4.2.4 Tratamientos eléctricos

Como se había mencionado anteriormente en el apartado 1.4.1.1, entre los principales factores que afectan el desalado se encuentra el voltaje aplicado al desalador, y esto es entendible puesto que, entre los principales tratamientos utilizados de este tipo se encuentra los tratadores electrostáticos, los cuales gracias a los electrodos ubicados dentro del equipo, se aplica un campo eléctrico que favorece la coalescencia de las pequeñas gotas de agua dispersas en el crudo.

Un rango de operación de entre 10,000 a más de 30,000 V es aplicado por medio de los electrodos dispuestos dentro del tratador, que estarán ubicados dependiendo de su configuración, en el caso de AC será cercano a la interfase agua-aceite y DC en la zona de aceite.

Como resultado de la aplicación de un voltaje a la corriente de emulsión, se obtiene un gran rendimiento en la deshidratación debido a<sup>12</sup>:

- Las gotas de agua son moléculas polares, debido a la diferencia de cargas entre el átomo de hidrógeno (positivo) y oxígeno (negativo). Debido al campo eléctrico estas son magnetizadas. Por esta razón, se establece una atracción de dipolos entre las gotas de agua en la emulsión, permitiendo la coalescencia, siguiendo la sedimentación y separación.
- A causa del campo de alto voltaje, las gotas de agua vibran rápidamente, causando la desestabilización de la capa que las rodean debilitándola y rompiéndola.
- Las superficies de las gotas de agua se expanden (cambian su forma a elipsoides); así se atraen más fácilmente para colisionar y coalescer.
- A medida que las gotas de agua se combinan, crecen en tamaño hasta que son lo suficientemente pesadas para separarse asentándose en el fondo del tratador.

---

<sup>12</sup> ABDEL-AAL, H.K. y AGGOUR, Mohamed. Petroleum and gas field processing. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003. Chapter 5

### 1.4.2.5 Otros tratamientos

- Hidrociclones: la corriente de flujo entra tangencialmente en el tope del hidrociclón, provocando así, una fuerza centrífuga que hace que choquen las partículas contra la pared interna del equipo. De esta manera, las partículas pesadas van hacia el fondo y son arrastradas por otra corriente interna en espiral que los transporta.
- Skim tanks y skim vessels: el skim tank que trabaja a presión atmosférica y el skim vessel a una presión de operación, tienen el mismo principio para la remoción de las gotas dispersas en la emulsión. La corriente desciende por un ducto de entrada o downcomer, pasa a través de un regador o esparcidor, que dispersa la mezcla sobre un colchón de agua. El agua permite hacer un lavado y atraer las gotas dispersas, facilitando la coalescencia de estas. Generalmente se usa los skim vessels cuando el agua tiene presencia de carbonatos disueltos, para evitar la formación de incrustaciones a bajas presiones.
- Filtración: es un proceso físico con el cual se busca retener cierto tamaño de partícula de la corriente de fluido y retirar de esta partículas más pequeñas que solo pueden pasar a través de un filtro determinado con las especificaciones requeridas para tal separación, esto se logra por la aplicación de un diferencial de presión en el medio que permite la difusión o filtro.
- Magnética: este método de deshidratación consiste en exponer el crudo a un campo magnético, con el fin de reorientar las parafinas o el agente que mantiene estable la emulsión en el crudo en un plano perpendicular a la dirección del campo magnético, así pues, es capaz de neutralizar la acción del agente emulsificante, favoreciendo la atracción de las gotas de agua dispersas, para su posterior coalescencia y precipitación.

- Ultrasonido: diferentes fenómenos ocurren en un líquido cuando es expuesto a irradiación ultrasónica. Esto, debido a la transferencia molecular de pulsos de presión causando un movimiento de vibración que causa períodos alternados de alta y baja presión (compresión y expansión) de las gotas dispersas<sup>13</sup>.
- Microondas: la emulsión es sometida a un tipo de onda electromagnética con una frecuencia que entra en el rango del tipo microondas (100 MHz a 100 GHz). La irradiación producida por la exposición a la onda, produce aumentos en la temperatura debido a la excitación de los iones en solución o polarización de estos, aumentando su energía cinética, permitiendo la colisión y depositación de las gotas dispersas.

## **2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SAL EN CRUDOS**

En general en la industria petrolera, un contenido de sal máximo en el crudo de 15 PTB es aceptable, sin embargo, ese límite podrá ser impuesto por el cliente y si no cumple con las especificaciones dadas, multas por el comprometimiento de la integridad de las líneas y el mismo rechazo del crudo pueden darse.

Es común que en laboratorio se mire el contenido de sal por medio de la afinidad que presente un reactivo a los iones disueltos, en presencia de un indicador químico. Con el fin, de poder determinar los niveles de sal y posteriormente elegir el tratamiento que mejor se ajuste, de los mencionados en la sección anterior.

---

<sup>13</sup> SCHOEPPPEL, R. y HOWARD, A. Effect of Ultrasonic Irradiation on Coalescence and Separation of Crude Oil-Water Emulsions. Dallas: Society of Petroleum Engineers. SPE-1507-MS, October 1966. p. 2

## 2.1 MÉTODOS ESTANDARIZADOS ASTM

### 2.1.1 ASTM-D3230: método electrométrico<sup>14</sup>

Este método mide la conductividad de una solución de crudo en una mezcla con un solvente alcohol, cuando esta es sometida a un esfuerzo eléctrico.

Este método cubre la determinación de la concentración aproximada de cloruros (de sodio, calcio y magnesio) en el crudo. El rango de concentración se encuentra entre 0 y 500 mg/Kg (0 a 150 lb/1000 bbl) como concentración de cloruro por volumen de aceite.

El equipo debe consistir de una unidad de control capaz de producir y exhibir distintos niveles de voltajes por aplicar un esfuerzo a un conjunto de electrodos suspendidos en un vaso de precipitados de ensayo que contiene una solución de prueba.

#### 2.1.1.1 Instrumentación y equipos

Para la consecución de la prueba se requiere los siguientes conjuntos de elementos:

Equipo de cloruro electrométrico, este debe consistir de una unidad de control capaz de producir y mostrar varios niveles de voltaje para la aplicación de un esfuerzo a un par de electrodos suspendidos en una probeta graduada que contiene la solución de prueba:

---

<sup>14</sup> AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3230-13: Standard test methods for salts in crude oil (Electrometric method). United States: ASTM, 2013.

- Miliamperímetro: de 0 a 1 mA dc con escala de 0 a 1 mA ac, 88 ohm de resistencia interna.
- Puente rectificador: de onda completa, 0.75 A de capacidad a 60 Hz, temperatura ambiente; un mínimo de 400 PRV (*Peak reverse Voltage*).
- Voltímetro AC, tipo rectificador, 2000 ohm/V, de 0 a 300 V de rango.
- Autotransformador de voltaje variable, entrada de 105 a 117 V, 50/60 Hz, salida de 0 a 132 V, 1.75 A de capacidad.
- Transformador: suministro de voltaje 240 V, toma central, 50/60 Hz, 250 mA dc de capacidad.
- Potenciómetro. 25-50 ohm, de 10 vueltas.

#### Componentes de la celda de prueba:

- Vaso de precipitado, 100 mL de forma completa sin pico.
- Pipeta, 10 mL (entrega total).
- Cilindro graduado de 10 mL (crudos viscosos).
- Cilindros de 100 mL con tapón.
- Conjunto de electrodo. Los electrodos montados en paralelo, exactamente opuestos y distanciados  $6.4 \pm 0.1$  mm, y eléctricamente separados por un nylon o fluorocarbono (TFE) de espaciador.

### 2.1.1.2 Reactivos y materiales

- Solvente mixto de alcohol (63% de 1-butanol y 37% alcohol etílico en volumen), agregar 3 mL de agua por cada litro de la mezcla.
- Solvente hexano (nafta de petróleo, éter de petróleo, entre otros).
- Solución de cloruro de calcio (10 g/L). Se transfiere  $1.00 \pm 0.01$  g de  $\text{CaCl}_2$ , o el equivalente en peso de una sal hidratada, a un matraz volumétrico de 100 mL y se disuelven en 25 mL de agua. Diluir hasta la marca con el solvente de la mezcla de alcohol.
- Solución de cloruro de magnesio (10 g/L). Se transfiere  $1.00 \pm 0.01$  g de  $\text{MgCl}_2$ , o el equivalente en peso de una sal hidratada, a un matraz volumétrico de 100 mL y se disuelven en 25 mL de agua. Diluir hasta la marca con el solvente de la mezcla de alcohol.
- Solución de cloruro de sodio (10 g/L). Se transfiere  $1.00 \pm 0.01$  g de  $\text{MgCl}_2$ , o el equivalente en peso de una sal hidratada, a un matraz volumétrico de 100 mL y se disuelven en 25 mL de agua. Diluir hasta la marca con el solvente de la mezcla de alcohol.
- Crudo libre de sal y libre de aditivos. Aproximadamente de 20 cSt a 40°C.
- Sales, solución de mezcla concentrada. Combinar 10.0 mL de  $\text{CaCl}_2$  de solución, 20.0 mL de  $\text{MgCl}_2$  y 70.0 mL de NaCl y mezcla bien.
- Solución diluida de la mezcla en solución de sales. Se transfiere 10 mL de la solución de mezcla de sales concentradas en un matraz volumétrico de 1000 mL, y se diluye hasta la marca con el solvente de la mezcla de alcohol.
- Xileno, pureza mínima.

### 2.1.1.3 Procedimiento

Pasos:

- 1) A un cilindro seco de tapón graduado de 100 mL, se le añade 15 mL de xileno y usando una pipeta de 10 mL de total entrega o un cilindro graduado de 10 mL (cuando sea aplicable), se transfiere 10 mL de muestra de crudo al cilindro de tapón de 100 mL.
- 2) Enjuagar la pipeta de 10 mL o el cilindro con xileno hasta que quede libre de aceite. Hasta unos 50 mL con xileno.
- 3) Taponar y agitar el cilindro vigorosamente por aproximadamente un minuto (60 s).
- 4) Diluir hasta 100 mL con el solvente mixto de alcohol, y agitar vigorosamente por aproximadamente 30 segundos.
- 5) Se deja asentar la solución por aproximadamente 5 minutos, luego es vertida dentro del vaso de precipitado seco de ensayo.
- 6) Se colocan los electrodos dentro de la solución en el vaso de precipitado. Asegurándose de que los bordes superiores de las placas del electrodo se encuentren por debajo de la superficie de la solución.
- 7) Se ajusta los voltajes de los electrodos indicados a una serie de valores (ej: 25, 50, 125, 200 y 250 V ac). Para cada voltaje, se hace la lectura de la corriente y se registra el voltaje indicado y la corriente más cercana a 0.01 mA.
- 8) Se remueve los electrodos de la muestra en solución y se limpia el equipo.

Es necesario primero realizar un procedimiento de calibración en el cual se añade una mezcla de solución de sales (cloruros), después de haber añadido el xileno y antes de diluirlo con el solvente de mezcla de alcohol de los pasos mencionados a continuación. La cantidad de solución diluida de sales está dada por la tabla 2.

**Tabla 2.** Cantidad de sal en crudo según mezcla de sales en solución (calibración).

MUESTRAS ESTÁNDAR		
Salt, g/m <sup>3</sup> of Crude Oil	Salt, lb/1000 bbl of Crude Oil	Mixed Salts Solution (dilute), mL
3	1.0	0.3
9	3.0	1.0
15	5.0	1.5
30	10.0	3.0
45	16.0	4.5
60	21.0	6.0
75	26.0	8.0
90	31.0	9.5
115	40.0	12.0
145	51.0	15.0
190	66.0	20.0
215	75.0	22.5
245	86.00	25.5
290	101.0	30.5
430	151.0	45.0

Fuente: ASTM-D3230. p. 3

Se deberá repetir los pasos siguientes para el ensayo de calibración tantas veces sea necesario para cada valor de volumen de dilución de sales según sea el rango de contenido de cloruros que se desee analizar.

Se sustraen los valores obtenidos por el ensayo en blanco de las lecturas indicadas de corriente de cada muestra estándar y se realiza un gráfico en que el contenido de cloruro va en la ordenada y en la abscisa las lecturas de la corriente neta para cada voltaje.

#### 2.1.1.4 Cálculos y reporte de resultado

Luego de haber obtenido las mediciones de las lecturas y los resultados del ensayo de calibración. Se sustraen los valores obtenidos por el ensayo de calibración de los valores obtenidos de la muestra medida para obtener la lectura de corriente neta. De la gráfica de calibración, se procede a leer la concentración de sal correspondiente a la corriente neta (mA) obtenida de la muestra.

Se calcula la concentración de sal en mg/Kg usando la siguiente ecuación que corresponda:

$$\text{Salt}, \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} = 1000 \frac{X}{d} \dots \text{(Ec. 1)}$$

$$\text{Salt}, \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} = 2853 \frac{Y}{d} \dots \text{(Ec. 2)}$$

Donde:

*X*: Concentración de sal medida en g/cm<sup>3</sup>

*Y*: Concentración de sal medida en PTB

*d*: Densidad de la muestra a 15 °C en Kg/m<sup>3</sup>.

En el reporte de resultados debe constatar: la concentración en mg/Kg como cloruro electrométrico en crudo por el método de laboratorio D3230. Alternativamente, se reporta la concentración directamente en g/cm<sup>3</sup> o lb/1000 bbl, si es requerido.

### 2.1.1.5 Precisión

- Repetibilidad: la diferencia entre valores obtenidos sucesivamente, obtenidos por el mismo operador y el mismo equipo bajo condiciones de operación constantes con muestras idénticas que, en el largo plazo, en la operación normal y correcta del método de ensayo, excederá los siguientes valores en uno de veinte casos.

$$r(\text{mg/Kg}) = 0.3401 X^{0.75} \dots(3)$$

$$r(\text{lb}/1000 \text{ bbl}) = 0.2531 Y^{0.75} \dots(4)$$

Donde:

$X$ : Ponderado de dos resultados de prueba en mg/Kg

$Y$ : Ponderado de dos resultados de prueba en lb/1000 bbl (PTB)

- Reproducibilidad: la diferencia entre dos resultados individuales e independientes, obtenidos por diferentes operadores en diferentes laboratorios para una misma muestra que, en el largo plazo, excederá los siguientes valores en solo un caso de veinte.

$$R(\text{mg/Kg}) = 2.7803 X^{0.75} \dots(5)$$

$$R(\text{lb}/1000 \text{ bbl}) = 2.069 Y^{0.75} \dots(6)$$

Donde:

$X$ : Ponderado de dos resultados de prueba en mg/Kg

$Y$ : Ponderado de dos resultados de prueba en lb/1000 bbl (PTB)

### 2.1.2 ASTM-D512: ion cloruro en agua<sup>15</sup>

Esta norma específica tres métodos de prueba para la titulación del agua con el fin de cuantificar la cantidad de iones cloruro. La titulación mercurimétrica, valoración de nitrato de plata y electrodo de ion selectivo, complementan las pruebas a realizar. Pero el enfoque está dado solamente al último método de electrodo de ion selectivo.

Muestras que contienen de 2 a 1000 mg/L de cloruro pueden ser analizadas por este método. El rango de concentración puede ser ampliado por medio de la dilución de una alícuota antes de la adición del ajustador de resistencia iónica.

El ion cloruro es medido potenciométricamente usando un electrodo de ion selectivo al cloruro, en conjunto con una doble unión, un electrodo de referencia de tipo manga o una combinación con un electrodo de cloruro. Los potenciales son medidos usando un medidor de pH teniendo una escala ampliada en milivoltios o un medidor de ion selectivo teniendo una capacidad de lectura directa de concentración.

Los electrodos son calibrados en concentraciones de cloruro conocidas, y las concentraciones que se requieran hallar son determinadas en soluciones con el mismo perfil. Las muestras y los patrones deben estar a la misma temperatura.

Patrones y las muestras se diluyen con un ajustador de resistencia iónica (ISA) que minimiza posibles interferencias de otros iones tales como amoníaco, bromuro, yoduro, cianuro, o sulfuro.

---

<sup>15</sup> AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D512-12: Standard test method for Chloride ion in water. United States: ASTM, 2012.

### 2.1.2.1 Instrumentación y equipos

- Medidor de pH, escala ampliada de milivoltios.
- Electrodo de ion selectivo de cloruro, electrodo de combinación o semi-celda, que tiene una membrana de cloruro de plata.
- Electrodo de referencia de doble unión tipo manga (para uso con media celda de cloruro).
- Mezclador, magnético, con una barra de agitación recubierta con fluorocarbono (TFE).
- Contenedor de vidrio o un polietileno.
- Matraz volumétrico.
- Pipeta.

### 2.1.2.2 Reactivos y materiales

- Ajustador de resistencia iónica de cloruro (CISA): Se disuelven 15.1 g de bromato de sodio en 800 mL de agua; se añade 75 mL de ácido nítrico concentrado ( $\text{HNO}_3$ , gravedad específica 1.42); agitar bien; diluir con agua hasta un litro; por último, almacenar el CISA en un contenedor de vidrio o polietileno.
- Solución de cloruro, existencia de 1000 mg/L: Se disuelve 1.648 g de cloruro de sodio (secado por 2 horas a  $110^\circ\text{C}$ ) en agua en un matraz volumétrico y diluir hasta 1 L.
- Soluciones de cloruro estándar (100, 10 y 1 mg/L): usando pipetas volumétricas, se transfiere 100, 10 y 1.0 mL de la solución de cloruro anterior en matraces diferentes de 1 L y diluir cada una hasta un 1 L con agua.

- Solución de llenado exterior del electrodo de referencia de doble unión: diluir 1 volumen de CISA con 1 volumen de agua.

### 2.1.2.3 Procedimiento

Calibración:

- 1) Se mezclan igual volúmenes de los 1000 mg/L de la solución estándar de cloruro y el diluyente CISA. Se hace lo mismo para cada uno de las otras 3 soluciones estándares.
- 2) Se mezclan igual volúmenes de diluyente, agua y CISA.
- 3) Se ubican los electrodos en la solución del paso anterior, se agita bien; se espera de 3 a 5 minutos; y se registra las lecturas de milivoltios. Esta solución no contiene cloruro añadido, y la lectura del potencial no será muy estable.
- 4) Enjuagar los electrodos bien, ponerlos en la mezcla de 1 mg/L  $[\text{Cl}^-/\text{CISA}]$  y agitar bien. Esperar de 1 a 2 minutos y registrar los resultados.
- 5) Si la diferencia en lecturas del paso 3 y 4 es menor de 15 mV, existe una contaminación por cloruro del diluyente que afectará el bajo nivel de las lecturas y reactivos más puros deben ser obtenidos.
- 6) Enjuagar los electrodos, ponerlos en la mezcla de 10 mg/L  $[\text{Cl}^-/\text{CISA}]$  y se agita bien. Se espera 1 minuto, o hasta que se estabilice y se registra los resultados.
- 7) El paso anterior se repite con las mezclas de 100 y 1000 mg/L  $[\text{Cl}^-/\text{CISA}]$ .
- 8) Se grafica la curva de calibración, con el potencial observado en el eje x, contra la concentración en log de cada uno de los estándares usados en el eje y.

Las correcciones de volumen están incorporadas en la calibración, así que las muestras subsiguientes que sean analizadas pueden ser leídas directamente.

Obtenida la calibración se procede de la siguiente manera:

- 1) Mezclar la muestra con un volumen igual del diluyente CISA y se agita muy bien durante 1 a 2 minutos.
- 2) Se insertan los electrodos, se espera de 1 a 2 minutos, y se registra la lectura.
- 3) Se lee la concentración de cloruro de la muestra en miligramos por litro (mg/L) directamente de la curva de calibración, con la lectura del paso anterior.

#### **2.1.2.4 Precisión**

La precisión global y de un solo operador de este método de ensayo, en su rango designado, varía con la cantidad muestreada, se han usado agua destilada y matrices que incluye a las aguas naturales y de residuo.

#### **2.1.3 ASTM-D6470: método potenciométrico<sup>16</sup>**

Este método cubre la determinación de la cantidad de sal en crudos. El contenido es expresado como porcentaje en masa (%m/m) NaCl (cloruro de sodio) y abarca un rango desde 0.0005% a 0.15 %(m/m), aunque es posible que se detecte un 0.0002 % (m/m) para NaCl. Aplicable a casi todos los productos pesados y

---

<sup>16</sup> AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D6470-99 (Reapproved 2015): Standard test method for salt in crude oils (Potentiometric method). United States: ASTM, 2015.

derivados del petróleo. También puede ser aplicado para estimar la contaminación por agua de mar en aceite de turbina y combustible diésel para embarcaciones. Sales extraíbles con agua, originarias de aditivos presentes en crudos son determinadas también.

Después de homogenizar el crudo con un mezclador, una alícuota pesada es disuelta en xileno a 65°C y extraída con volúmenes específicos de alcohol, acetona, y agua en un equipo de extracción calentado eléctricamente. Una muestra del extracto acuoso es analizada para obtener los haluros totales por titulación potenciométrica.

### **2.1.3.1 Instrumentación y equipos**

Equipo de extracción, hecho de vidrio borosilicato y consiste de los siguientes componentes:

- Matraz de ebullición, capacidad de 500 mL.
- Condensador de reflujo Hopkins. Contando con una salida de vapor conectada por medio de un tubo de goma a una salida de venteo o succión.
- Tubo cardo, aproximadamente de 70 mL de capacidad, con una línea para identificar el nivel de 50 mL.
- Tubo de calentamiento, con una chimenea para aumentar convección en el líquido.
- Bobina de calentamiento, 250 W, con un indicador ajustable con cable de nicromo.
- Reóstato. Resistencia y capacidad ajustables para regular el calentador.

### Equipo de titulación potenciométrica:

- Precisión en la medida de  $\pm 2$  mV o mejor.
- Electrodo de referencia de vidrio e indicador de plata.
- Bureta de 10 mL, preferiblemente tipo pistón.

### Otros:

- Armazón de seguridad.
- Tubo de ensayo, vidrio, longitud aproximada de 600 mm, diámetro aproximado de 5 mm, con un bulbo igual o mayor a un volumen de 100 mL, con boquilla al extremo de un diámetro interno de 2 a 3 mm.
- Agitador magnético, con una barra de agitación recubierta de PTFE.
- Homogeneizador, un mezclador con cuchillas contra-rotativas operando a aprox. 50 rev/s. Ajustable usualmente para homogeneización de muestras de hasta 500 mL.
- Horno a prueba de explosiones, temperatura  $65 \pm 5$  °C.
- Papel filtro, Whatman No. 41, o equivalente.
- Cronógrafo.

### 2.1.3.2 Reactivos y materiales

- Acetona.
- Alcohol (95% v/v de etanol, isopropil o propanol).
- Nitrato de bario. A.R., cristales.
- Ácido clorhídrico, 0.1 mol/L, acuosa. Añadir 9 mL de ácido clorhídrico concentrado A.R. (densidad de 1.19 g/mL) a 1 L con agua.
- Ácido nítrico, 5 mol/L, acuosa. Se añade cuidadosamente 325 mL de ácido nítrico concentrado (densidad 1.42 g/mL) a 1 L con agua, mientras se agita.
- Solución de nitrato de plata estándar, 0.1 mol/L, acuosa.
- Solución de nitrato de plata estándar, 0.01 mol/L, acuosa.
- Solución de cloruro de sodio, aproximadamente 1 mmol/L, acuosa. Se disuelve  $59 \pm 1$  mg de cloruro de sodio en 1 L de agua.
- Xileno.
- Papel de acetato.
- Papel de pulido, grano 800 o más fino, para pulir el electrodo.

### 2.1.3.3 Procedimiento

Antes de iniciar con el desarrollo del método estándar es necesario preparar la muestra y preparar alguno de los equipos, como el aparato de extracción y el equipo de titulación potenciométrica.

- Muestreo y preparación de la muestra: el muestreo es definido como todos los pasos requeridos para obtener una alícuota representativa de los contenidos de cualquier tubería, tanque, u otro sistema, para ser llevados al laboratorio en su respectivo contenedor de muestra para su análisis. Las muestras recolectadas para el análisis de este método, solo son representativas si son obtenidas como se especifica en las prácticas ASTM D4057 y D4177, *Standard Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products* y *Practice for Automatic Sampling of Petroleum and Petroleum Products* respectivamente.
  
- Homogenización<sup>17</sup>:
  - 1) Se homogeniza la muestra en los 15 minutos de haber sido recibida.
  - 2) Se mezcla la muestra a temperatura ambiente (15 a 25 °C), o menos, en el contenedor de muestra del laboratorio, y se registra la temperatura de la muestra inmediatamente andes de mezclar.
  - 3) Se calientan las muestras con contenido de ceras, sólidos a temperatura ambiente, a 3 °C por encima de su punto de fluidez con el fin de facilitar la extracción de la muestra para prueba.
  - 4) Se selecciona un mezclador o homogeneizador adecuado a la cantidad de crudo en el contenedor de muestra. Además, se tiene en cuenta el tipo de crudo, tamaño de la muestra, cambio en velocidad o tiempo del mezclado.
  - 5) Se limpia y seca el mezclador entre muestras.
  - 6) Se registra la temperatura de la muestra inmediatamente después de la homogenización. Un aumento en la temperatura de la lectura inicial, no debe exceder los 10 °C, de lo contrario, pérdida excesiva de vapores volátiles pueden ocurrir o la dispersión puede llegar a ser inestable.

---

<sup>17</sup> AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D4057-12: MPMS 8.1-Standard Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products. United States: ASTM, 2012. p. 46

7) Con el fin de garantizar que los aceites de hidrocarburos con impurezas de rápido asentamiento están correctamente muestreados, se retira el recipiente de la muestra de ensayo inmediatamente después de la homogenización por bajar la boquilla del tubo de ensayo casi hasta el fondo del contenedor, y retirando la muestra de ensayo tan rápido como sea posible. Se limpia y se seca el tubo de muestra antes y después de cada muestreo.

- Extracción:

- 1) Pesar alrededor de 40 g de muestra, aproximándose con 0.1 g, en un vaso precipitado de 250 mL.
- 2) Calentar la muestra en un baño de agua o en un horno a  $65^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- 3) Calentar 40 mL  $\pm$  1 mL de xileno a la misma temperatura del paso anterior y se añade lentamente a la muestra mientras se agita constantemente hasta que la disolución esté completa.
- 4) Se transfiere la solución cuantitativamente al equipo de extracción, se enjuaga el vaso precipitado con 2 porciones separadas de 15 mL  $\pm$  1 mL de xileno caliente y añadiendo estos enjuagues también al equipo de extracción.
- 5) Mientras la solución se mantenga caliente, se añade 25 mL  $\pm$  1 mL de etanol o isopropil y 15 mL  $\pm$  1 mL de acetona, usando estas porciones para posteriores enjuagues del precipitado.
- 6) Se cambia el elemento de calentamiento del equipo de extracción a llama completa hasta que la ebullición comience, luego se ajusta el reóstato para regular el calor para mantener la ebullición a una tasa alta. Permitir el reflujo durante 2 minutos después de que el líquido inicia la ebullición.
- 7) Se apaga el calentador. Cuando la ebullición cesa, se añade 125 mL  $\pm$  1 mL de agua y se lleva de nuevo a ebullición el líquido y el reflujo por unos 15 minutos.
- 8) Se apaga el calentador de nuevo, y se permite que las dos fases se separen por un tiempo entre 5 y 10 minutos. Luego se retira la fase acuosa filtrándola,

con un papel filtro a un matraz cónico, este se tapa, y se retiene el contenido para la posterior determinación de haluros.

- 9) Remover cualquier compuesto de azufre. Para esto se toma 50 mL del extracto acuoso y se lleva hacia un vaso de precipitado y se añade 5 mL de 5 mol/L de ácido nítrico. Se cubre el vaso y se lleva el contenido a ebullición. Los vapores son analizados periódicamente para sulfuro de hidrógeno con el papel de acetato. Se continúa con la ebullición por otros 5 minutos después de haber obtenido resultado negativo para el H<sub>2</sub>S. Se permite que el contenido sea enfriado y cuantitativamente se procede a disponer los contenidos del vaso a un recipiente de titulación de 250 mL, enjuagando el recipiente con agua.

- Determinación de la sal:

- 1) Con la pipeta se añade 10 mL de la solución de cloruro de sodio de 1 mmol/L en el recipiente de titulación. Luego se ajusta el volumen de la solución de muestra en el recipiente hasta 150 mL con acetona.
- 2) Se añade aproximadamente 0.5 g de cristales de nitrato de bario. Se agita para disolver el nitrato de bario.
- 3) Se llena la bureta con 0.01 mol/L de solución de nitrato de plata.
- 4) Se coloca el vaso de precipitado en el agitador magnético, y se sumergen los electrodos en la solución de la muestra. Se sumerge el tope de la bureta aproximadamente 25 mm debajo de la superficie del líquido, y se ajusta el agitador magnético para producir fuerte agitación sin salpicaduras.

- Titulación:

- 1) cuando se aplica titulación manual, se registra la lectura inicial de la bureta y el medidor pH/milivoltio.

- 2) Se titula con solución estándar de nitrato de plata, añadiéndola en pequeñas porciones.
  - 3) Después de cada aporte se espera que se establezca un potencial constante y se registra las lecturas de la bureta y el medidor.
  - 4) Se construye una gráfica donde se gráfica las lecturas del medidor contra los volúmenes estándar de nitrato de plata usados en la titulación.
- Interpretación de la curva:
    - 1) El *endpoint* de la titulación es encontrado como el valor más positivo de la porción más empinada de la inflexión observada de la curva de titulación.
    - 2) La ubicación exacta del punto de inflexión depende de la concentración de cloruro, los electrodos usados, la naturaleza del medio de titulación, y la concentración de la solución de nitrato de plata aplicada.
    - 3) Para establecer el valor del potencial de la celda en el punto de inflexión, se prepara una solución típica que contenga 0.001 mol a 1 mol de cloruro, y se titula como se describió en los pasos de la titulación, y determinar el punto de inflexión.
  - Determinación en blanco:
    - 1) Se prepara una solución en blanco, con la pipeta se llevan 10.0 mL de una 1 mmol/L de solución de cloruro de sodio en un recipiente para titulación.
    - 2) Se añaden 50 mL de agua destilada, 5 mL de 5 mol/L de ácido nítrico y aproximadamente 0.5 g de cristales de nitrato de bario.
    - 3) Se ajusta el volumen de la solución de muestra en el recipiente a unos 150 mL a 175 mL con acetona.

- 4) Se agita para disolver el nitrato de bario.
- 5) Se titula la solución acorde al paso a paso en la titulación.

#### 2.1.3.4 Cálculos y reporte de resultado

- Cantidad de cloruros presentes en la solución acuosa, en  $\mu\text{mol}$ :

$$\text{Cantidad de cloruros, } \mu\text{mol} = (V - V_b) \times C \times 10^3 \dots (\text{Ec. 7})$$

Donde:

$V$ : Volumen de solución estándar de nitrato de plata usado para el *endpoint*, mL.

$V_b$ : Volumen de solución estándar de nitrato de plata usado para titulación en blanco, mL.

$C$ : Concentración de solución estándar de nitrato de plata, mol/L.

- Contenido de sal de la muestra en  $\%(m/m)$  de cloruro de sodio:

$$\text{Sal como cloruro de sodio } \%(m/m) = \frac{A \times 58.44}{m \times P \times 10^6} \times 100 \dots (\text{Ec. 8})$$

Donde:

$A$ : Cantidad de cloruro encontrado en la alícuota del extracto acuoso.

$P$ : Parte proporcional del extracto usado en el análisis (50/158 para etanol y 50/152 para el isopropil).

$m$ : Masa de la muestra, g.

Se reporta el resultado calculado por medio de la ecuación 2 como porcentaje en masa de sal (NaCl), redondeando a dos cifras significativas.

### 2.1.3.5 Precisión

Al igual que en el método electrométrico debido al trabajo de interlaboratorio se obtuvo que en uno de veinte casos se excederán los siguientes valores.

- Repetibilidad:

$$r = 0.0243 X^{0.612} \dots (\text{Ec. 9})$$

Donde:

$X$ : Concentración de sal, porcentaje en masa (NaCl)

- Reproducibilidad:

$$R = 0.0477 X^{0.612} \dots (\text{Ec. 10})$$

Donde:

$X$ : Concentración de sal, porcentaje en masa (NaCl)

## 2.2 MÉTODOS NO ESTANDARIZADOS

### 2.2.1 Métodos indirectos

Los métodos indirectos son aquellos con los que se busca determinar una propiedad con la obtención de otra propiedad física, por medio de herramientas sofisticadas, las cuales en general analizan una señal de entrada; transforman esa señal en información; luego esa información es utilizada para relacionar por medio de una ecuación empírica, en este caso, la salinidad con la propiedad medida en primer lugar, la cual puede ser desde la conductividad hasta densidad, velocidad del sonido o el índice de refracción.

### 2.2.2 Método ARUBA-Mohr

El método consiste en mezclar el crudo con solvente y agua destilada. Después se separa el agua por centrífuga y mediante la aplicación de un indicador y un titulador se determina la cantidad de cloruros. La sal y el agua son sustancias polares, razón por la cual la sal se diluye en el agua y no en el crudo. El NaCl contenida en el agua se titula con una solución estándar de nitrato de plata<sup>18</sup>.

### 2.2.3 Método de Volhard

En una solución neutra o ligeramente alcalina, el cromato potásico puede indicar el punto final de la titulación de cloruros con nitrato de plata. Se precipita cloruro de plata cuantitativamente antes de formarse el cromato de plata rojo<sup>19</sup>. En el caso de

---

<sup>18</sup> PINEDA GÓMEZ, César Augusto. Guía de laboratorio de fluidos: práctica #1 gravedad API, BSW & salinidad. Bucaramanga, 2009. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas.

<sup>19</sup> APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid. 1992. p. 4-77.

Volhard es una valoración por retroceso, involucra adición en exceso de nitrato de plata para la precipitación del  $\text{Cl}^-$ . Se filtra el cloruro de plata y el exceso se valora con tiocianato, con hierro como indicador.

#### **2.2.4 Método de Fajans**

El método de Fajans se basa principalmente en la utilización de un indicador de adsorción como, por ejemplo, la fluoresceína. Un indicador de adsorción es un compuesto orgánico que tiende a adsorberse sobre la superficie del sólido durante la titulación de precipitación. En el caso de la fluoresceína, en solución acuosa, el indicador se disocia parcialmente en iones hidronio e iones fluoresceinato con carga negativa y color verde amarillento<sup>20</sup>.

### **3. ETAPAS DEL PROYECTO**

#### **3.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Las operaciones de separación y tratamiento tanto para el agua emulsionada asociada a la producción, como para el crudo, exigen el seguimiento continuo y oportuno para que los productos finales cumplan con las características mínimas requeridas. Se puede lograr una buena estimación cuando estos controles se realizan por personal capacitado y que se disponga de los equipos necesarios que cumplan a cabalidad los lineamientos del método de ensayo que corresponda según sea la necesidad.

---

<sup>20</sup> OSPINA GÓMEZ, Gustavo Adolfo; GARCÍA DE OSSA, John Jairo y MARTÍNEZ YEPES, Pedro Nel. Gravimetría y Volumetría: Fundamentación Experimental en Química Analítica. Ediciones Elizcom. Armenia, Quindío. Diciembre de 2010. p. 77

Por lo tanto, las empresas convendrán necesario la consecución y/o contratación de los servicios de laboratorio para el análisis de muestras que les permita identificar y diseñar posteriormente en base a las características determinadas, la toma de decisiones correctivas o puntos de partida para la optimización y mejoramiento de los procesos llevados a cabo en el campo. Dado que, retirar y conocer la cantidad de sal en la corriente de flujo es importante, resulta atractivo la oferta de servicio para la determinación de la cantidad de sal en el crudo. Destacando los beneficios que trae consigo este análisis para las operaciones, entre estos, reducen los riesgos y la aceleración de procesos de corrosión en todo el sistema aguas abajo, llevar el agua a las condiciones mínimas para su disposición, ya sea, para procesos de reinyección y recuperación o vertimiento, cumplir con las condiciones de calidad para comercialización del crudo y/o contrato de ventas, etc.

Entendiendo lo anterior, la escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander, en busca de innovar y ampliar las oportunidades de interacción entre la industria y la academia, como eje formador de conocimiento de mayor importancia en la región, se encuentra actualmente en un proceso de reestructuración de su planta física con el fin de mejorar sus procesos de formación y de servicios, ampliando los perfiles de sus laboratorios, espacios en los que se han identificado oportunidades de mejora. Para esto, se plantea la posibilidad de implementar el protocolo ASTM D6470, como método para la determinación de la cantidad de sal en el crudo.

### **3.2 DEFINICIÓN DEL ESTUDIO**

El nivel de estudio que conforma y define este proyecto, es el de prefactibilidad. Un estudio de prefactibilidad se encargará de reunir o profundizar información requerida como base fundamental para describir o realizar un perfil de la naturaleza del proyecto como, por ejemplo, la creación de un producto, la implementación de nuevas tecnologías, diseño de una planta nueva, etc.

Además, el estudio de prefactibilidad profundiza en la investigación de mercado, detalla la tecnología a emplear, determina los costos totales y la rentabilidad económica y es la base para que los inversionistas tomen una decisión<sup>21</sup>. Si es favorable, podrá pasar al siguiente nivel de estudio de factibilidad.

El presente estudio de prefactibilidad para la implementación del protocolo ASTM D6470 determinación de sal en crudos, está enfocado a la cuantificación de los equipos, instrumentación y reactivos; y un análisis financiero que incluye: un estudio del mercado en que se encuentra la aplicación de la prueba y un análisis de costos en que se incide al llevar a cabo el método estandarizado.

### **3.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

Los siguientes puntos son la parte fundamental del estudio de prefactibilidad y se tratarán más adelante en el presente trabajo:

- Identificar y cuantificar los recursos físicos necesarios para implementar prueba de laboratorio acorde a estándar internacional ASTM D6470 respecto a instrumentación, equipos, insumos, reactivos, y demás elementos requeridos.
- Elaborar un estudio de mercado para identificar posibles competidores a nivel regional y nacional, y poder establecer un margen de costos de referencia para prestar el servicio.
- Realizar un análisis financiero con diferentes proveedores para valorar costos de inversión.

---

<sup>21</sup> BACA URBINA, Gabriel. Evaluación de proyectos 6ta Edición. México D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 2010. p. 5

- Documentar los controles necesarios para que el desarrollo de la prueba cumpla con los requisitos del sistema de gestión de la calidad basado en la norma NTC ISO 17025.

### **3.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

Este estudio de prefactibilidad tiene como propósito sentar las bases para la implementación del método estandarizado (ASTM D6470) con el que se determinará la salinidad en crudos, con el fin de ampliar la oferta de servicios de laboratorio en la Universidad, que además pueda resultar provechoso para la formación académica y profesional en el área, lo cual fortalece la misión y visión de la Escuela de Ingeniería de petróleo. La oferta del servicio puede llamar la atención tanto de entidades privadas como públicas, lo que podría traducirse como inversión y nuevos convenios entre industria y academia, además del respectivo beneficio económico por las tarifas propuestas para dicho servicio.

Una de las principales limitantes del estudio en cuestión, es de establecer un estudio de mercado completo, puesto no hay muchas fuentes de información primarias disponibles que brinde información detallada sobre las variables involucradas en la oferta del servicio, como tal, la fuente primaria por excelencia se obtuvo directamente de las empresas que ofrecían el servicio, la mayoría entre ellas privadas. Por otra parte, la lista de proveedores para la puesta en marcha y aplicación de la prueba, principalmente para la obtención del equipo de extracción, es muy limitada.

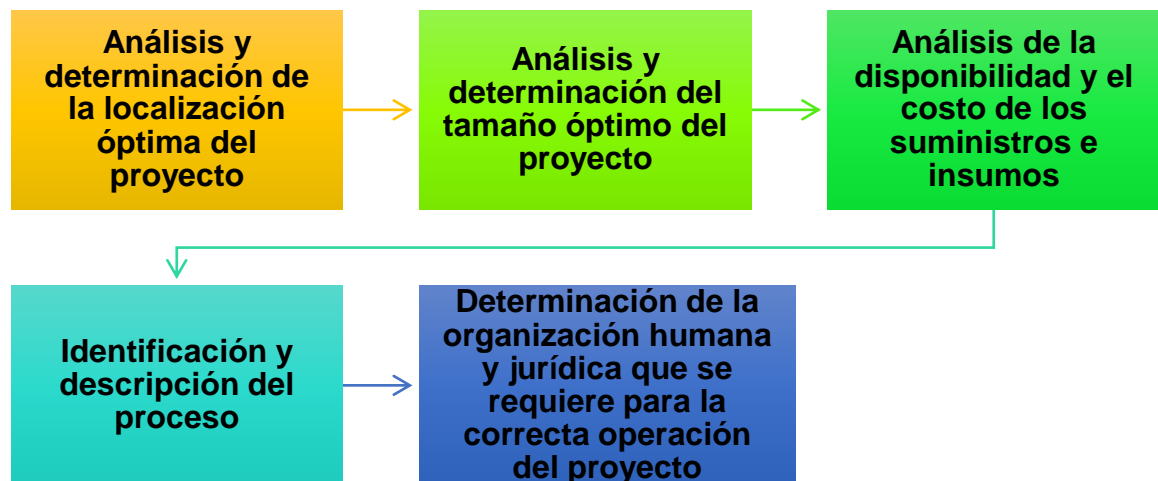
### 3.5 NIVELES DE ESTUDIO

Son las partes por las que se compone el estudio de prefactibilidad y la profundidad de cada una de ellas, dará una mejor apreciación acerca de la situación del proyecto y donde se encuentra ubicado, para la toma de futuras decisiones e identificar posibles cambios en la formulación, dirección y evaluación del proyecto.

#### 3.5.1 Análisis técnico

El análisis técnico representa los aspectos relacionados a la consecución del proyecto. Desde donde estará ubicado hasta cada uno de los equipos e instrumentación necesaria para su completa operación. El siguiente esquema representa las partes por las que se compone un estudio técnico.

**Figura 11.** Esquema, partes de un análisis técnico.



Modificado de: BACA URBINA, Gabriel. Evaluación de proyectos 6ta Edición. México D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 2010. p. 75

Sin embargo, la determinación de la organización humana y jurídica, no es incluida en el presente trabajo, dado que no es uno de los objetivos de este estudio de prefactibilidad. Aunque, se hablará de la organización en el capítulo 6, dado que hace parte del sistema de gestión, requisito fundamental presente en los controles necesarios.

### **3.5.2 Análisis financiero**

En el análisis financiero entra en juego las otras dos partes importantes dentro del estudio de prefactibilidad, el análisis de mercado y el análisis de costos. El primero se encarga de tantear el terreno, es decir, se identifica en este punto el mercado en que se entra en juego con la oferta del servicio, en este caso, la determinación de la sal en el crudo. La oferta y demanda, estudio de precios, hacen parte del análisis de mercado. Con lo cual, se aclara la definición del entorno del proyecto, si resulta atractivo o no.

Para el segundo análisis se reúne la información obtenida en los estudios anteriores, y la utilización de parámetros financieros para prever o extrapolar posibles resultados, en cuanto a ganancias esperadas por el servicio y los costos por inversión, para determinar una rentabilidad neta, que justifique el desarrollo del proyecto.

### **3.6 CONTROLES REQUERIDOS**

La Norma Internacional por la que cada entidad o laboratorio que quiera demostrar competencia y calidad en sus procesos debe instaurar en su sistema organizacional, es la Norma técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025. Se establecen los lineamientos que deben seguir los laboratorios para certificarse por calidad y la parte técnica, que corresponda a la aplicación de ensayos y/o calibraciones, ya sea, de métodos normalizados (estandarizados) o no, y hasta métodos desarrollados por el propio laboratorio.

En el capítulo 6 se resume de manera más detallada la composición de la norma y los requisitos necesarios para la implementación del protocolo ASTM D6470.

## **4. ANÁLISIS TÉCNICO**

En este capítulo se presenta el análisis técnico correspondiente a la implementación del protocolo ASTM D6470, que describe los aspectos relacionados a las condiciones mínimas para que la prueba estándar pueda llevarse a cabo. Es decir, los equipos, implementación y reactivos; espacio y lugar donde se instalarán; identificación de necesidades: suministro de energía, gas, aire o cualquier otro requisito adicional.

### **4.1 OBJETIVOS**

El objetivo principal de este análisis técnico es documentar los requisitos mínimos para la óptima operatividad del proyecto, es decir, la puesta en marcha de la oferta de servicio con la prueba estándar ASTM D6470 para la determinación de sal en crudos.

Para este estudio en particular, el análisis técnico se encuentra conformado por los siguientes puntos:

- Localización del proyecto
- Tamaño o dimensionamiento
- Identificación de los equipos

- Requisitos adicionales

En resumen, se define todo lo relacionado al análisis y determinación de los parámetros que inciden en el desarrollo y funcionalidad técnica del proyecto en sí. En cada punto se especifica aspectos relacionados al proyecto y su injerencia en su selección.

## **4.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

La localización es una decisión realmente importante a la hora de salvaguardar un proyecto. Una localización óptima debe reunir ciertas características que puedan corresponder ya sea a una rentabilidad mayor y/o a una disminución de costos fijos o variables que, en combinación con otros factores como la ubicación geográfica, resulta ser un punto estratégico en la toma de decisiones para obtener provecho en una virtual inversión que dé buenos resultados en el tiempo.

Teniendo en cuenta que la Escuela de Ingeniería de Petróleos se encuentra en una reestructuración de su planta física, y que dado esto, se dispondrá de más y mejores aulas, incluyendo los laboratorios, sería una de las plazas para servir como locación para la oferta del servicio. Por otra parte, el Parque Tecnológico de Guatiguará, cuenta con las mejores instalaciones en materia de desarrollo científico, con laboratorios de punta y personal calificado, quien en conjunto con la industria impulsa y desarrollan grandes proyectos, por tanto, no deja de ser la opción más llamativa.

Para entrar en discusión de qué lugar sería el más óptimo, llamemos la locación “A” a la Escuela de Ingeniería de petróleo y “B” el Parque Tecnológico Guatiguará, es necesario definir los parámetros relevantes de selección que servirán de soporte para su escogencia.

Los siguientes puntos representan los parámetros utilizados para el análisis de la selección de la mejor ubicación para el proyecto:

- **Geográfico:** relacionado con las condiciones naturales que rigen en las diferentes zonas en donde sea factible la ubicación de los equipos como, por ejemplo: los niveles de contaminación de las zonas aledañas, incluyendo vías de acceso, entre otras. Por otra parte, la ubicación también puede ser influenciada por un punto estratégico o zona en la región donde resulte conveniente realizar la instalación.
- **Económico:** representa los gastos asociados a la actividad, que involucra la obtención de suministros e insumos, y los costos fijos como los servicios de agua y electricidad, gastos variables como el transporte o requisitos adicionales de instalación, etc.
- **Infraestructura:** el área de trabajo resulta indispensable para el desarrollo adecuado de la actividad o proyecto, esta debe reunir todas las condiciones técnicas, de espacio y seguridad mínimas.

Por lo anterior, la selección de la localización del proyecto toma un carácter de tipo cualitativo a la hora de definir las ventajas que traería una ubicación con respecto a la otra. Para esto, se puede usar la metodología del método cualitativo por puntos<sup>22</sup>. El método asigna un valor especial a cada uno de los factores relevantes para la selección de la locación de acuerdo al grado de importancia (0,0 a 1,0); segundo, se valora cada factor de acuerdo una escala dada, para este caso de 0 a 5; y por último se desarrolla el ponderado para obtener al final la opción con mayor puntaje obtenido, que resulta de la multiplicación del valor asignado con la puntuación dada para cada factor.

---

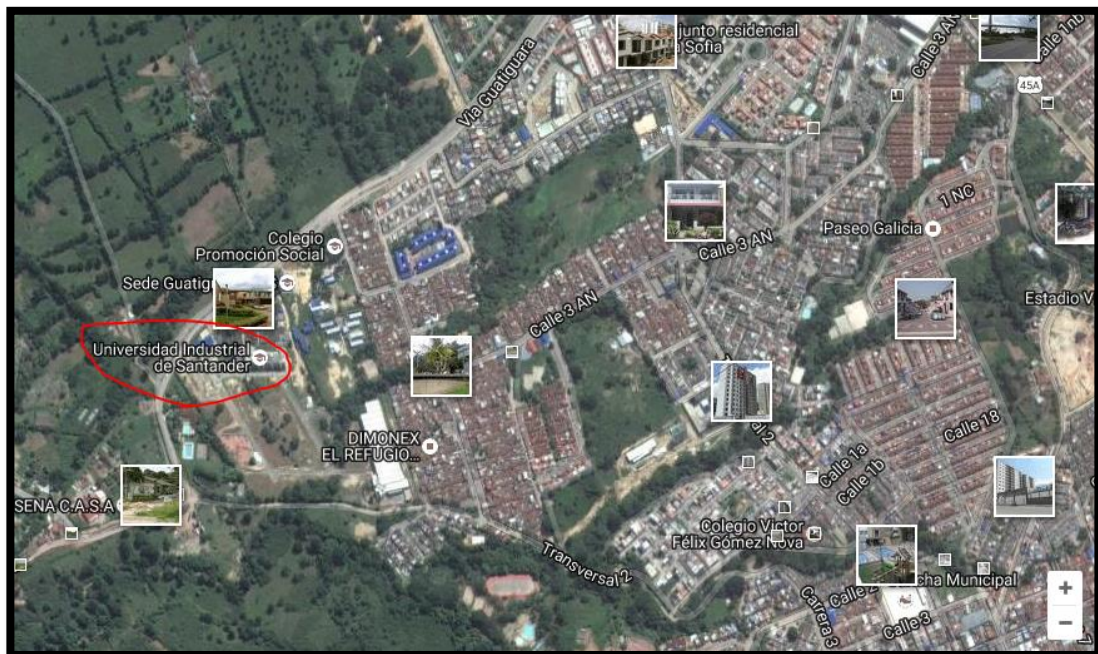
<sup>22</sup> BACA URBINA, Gabriel. Evaluación de proyectos 6ta Edición. México D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 2010. p. 86

**Tabla 3.** Método cualitativo, determinación de la localización del proyecto.

MÉTODO CUALITATIVO POR PUNTOS					
FACTOR RELEVANTE	VALOR ASIGNADO	LOCACIÓN A		LOCACIÓN B	
		PUNTUACIÓN	PONDERADO	PUNTUACIÓN	PONDERADO
Ubicación geográfica	0,35	3,5	1,225	4,2	1,47
Infraestructura	0,25	4	1	4	1
Costos fijos	0,15	3	0,45	3	0,45
Mercado	0,15	2,5	0,375	3,5	0,525
Transporte	0,1	2,5	0,25	3	0,3
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>		<b>3,3</b>		<b>3,745</b>

Con los resultados obtenidos en la tabla 3, podemos observar que por criterio la mejor ubicación sería la localización “B” (PTG). A partir de que los factores más importantes como el geográfico, infraestructura y mercado, tiene más impacto en la selección que los demás.

**Figura 12.** Imagen satelital correspondiente a la ubicación de la localización “B” (PTG).



Fuente: <https://ssl.panoramio.com/map/>

La locación “B” se encuentra en el municipio de Piedecuesta, una zona que cuenta con un buen clima, una infraestructura actualizada y completa, está muy cerca a mercados similares donde se encuentran ubicadas otras entidades y empresas como es el caso del Instituto Colombiano del Petróleo, entre otras y Universidades. Además, cuenta con excelentes vías de acceso que sirven como canales de distribución. Así pues, la locación “B” con un resultado de 3,745 destaca ante la locación “A”, sería el mejor punto para ubicar los equipos y poner en marcha el proyecto.

### **4.3 DIMENSIONAMIENTO**

En este punto se busca dejar constancia de la estructura de la planta, es decir, las partes en las que estará conformada la línea de procesos, con el fin de tener una idea de las unidades de producción que se deseen para obtener una rentabilidad, que al final de cuentas, es lo que nos interesa para que el proyecto sea seleccionado y se obtenga la mayor relación beneficio-costeo.

Para llevar a cabo lo anterior es necesario tener claro los siguientes puntos:

- Capacidad a instalar (instrumentación y equipos).
- Insumos o materia prima para el desarrollo de las actividades.
- Personal calificado para el manejo de los equipos.
- Consumos básicos o adicionales (energía, agua, gas, etc.).
- Conocimiento de los procedimientos y la tecnología empleada en cada etapa de producción o desarrollo.

Cada uno de los puntos mencionados, servirán como puntos de referencia para analizar los posibles lugares donde se pueda optimizar el tamaño del proyecto, con el fin de obtener la cantidad esperada en producción, reducir costos y agilizar los procesos.

En cuestión de espacio que se debe habilitar o disponer para la ubicación de los equipos e instrumentos, un área no mayor a 2 m<sup>2</sup> sería ideal, puesto que, las dimensiones de la unidad principal no sobrepasan el metro cuadrado (540 mm×220 mm×760 mm aprox.).

Para la finalidad de este proyecto, la cuantificación, costos y beneficios con la implementación de la prueba estándar, el dimensionamiento para este proyecto se encuentra limitado solamente para la capacidad e insumos requeridos que, para la facilidad y el manejo en los cálculos, solo se analizará para la aplicación de un solo set de instrumentos, equipos e insumos.

#### **4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PARA PROTOCOLO ASTM D6470**

Se presenta en forma de tabla las listas correspondientes a los equipos e instrumentación necesaria, además de los reactivos o materiales necesarios para llevar a cabo la prueba estándar ASTM D6470, con una nota o referencia especial de los mismos.

#### 4.4.1 Instrumentación y equipos

- Equipo de extracción: es aquí donde las muestras ya homogenizadas y preparadas con los disolventes utilizados para el procedimiento estándar como el xileno y las soluciones de alcohol (etanol o alcohol isopropílico) se añaden y en donde el producto se calienta gracias a los elementos que producen el calentamiento dentro del equipo, para así, producir la ebullición del líquido; posteriormente se filtra la fase acuosa con un papel filtro para la determinación de haluros por el método potenciométrico. La tabla 4 resume la instrumentación que conforma al equipo de extracción.

**Tabla 4.** Instrumentación y equipos correspondientes al equipo de extracción para la prueba ASTM D 6470.

Notas	Equipo de extracción
	<i>Boiling Flask</i> (matraz de ebullición), capacidad de 500 mL
1	Condensador de reflujo tipo Hopkins
2	<i>Thistle Tube</i> (tubo o embudo cardo), aprox. 70 mL de capacidad
3	Tubo de calentamiento
4	Bobina de calentamiento, 250 W
5	Reóstato

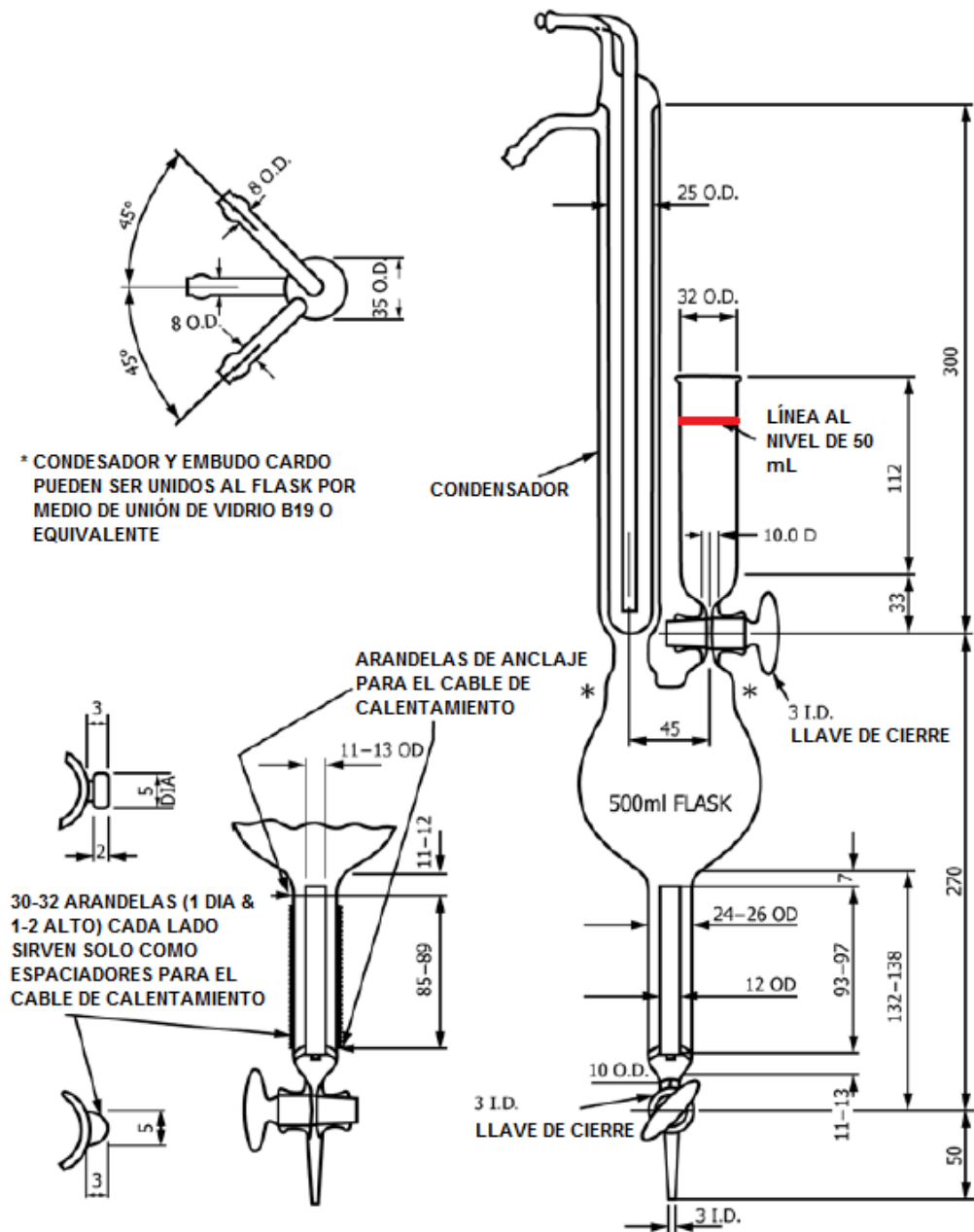
**Notas:**

1. Contando con una salida de vapor conectada por medio de un tubo de goma a una salida de venteo o succión.
2. Debe referenciarse con una línea la marca del nivel correspondiente a los 50 mL.
3. Debe contar con una chimenea para aumentar la convección en el líquido.
4. Indicador ajustable con cable de nicromo.
5. Resistencia y capacidad ajustables para regular el calentador.

La norma advierte que para reducir el riesgo de excesivo calentamiento del equipo y los peligros que eso conlleva, como requisito adicional es necesario introducir una corriente de aire hacia el fondo del equipo de extracción. Además de que el equipo debe ubicarse detrás de un vidrio o pantalla de seguridad, las resistencias eléctricas y dispositivos deben estar protegidos o blindados.

En la figura 13 se presenta el esquema en conjunto con los instrumentos que hacen parte del equipo de extracción. Todas las medidas y longitudes se encuentran en milímetros (mm).

**Figura 13.** Esquema del equipo de extracción y sus dimensiones para la prueba ASTM D 6470.



Modificado de: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D6470-99 (Reapproved 2015): Standard test method for salt in crude oils (Potentiometric method). United States: ASTM, 2010. p. 2

- Equipo de titulación potenciométrico: es el método seleccionado por esta prueba estándar. Con la ayuda de este equipo se procede a la determinación de la cantidad de sal en el crudo, por medio de un electrodo del cual se obtienen las medidas de la variación del voltaje, por cada adición del titulador según el procedimiento descrito para la titulación en el apartado 2.1.3.3.

**Tabla 5.** Instrumentación y equipos correspondientes al equipo de titulación potenciométrico para la prueba ASTM D 6470.

Notas	Equipo de titulación potenciométrico*
1	Electrodo
2	Bureta, capacidad 10 mL
3	Precisión

Notas:

1. Electrodo indicador de plata y de referencia de vidrio.
2. Bureta de 10 mL, preferiblemente de tipo pistón.
3. Precisión en la medida de  $\pm 2$  mV o mayor.

\* Cuando se use un titulador automático, se titula con solución estándar de nitrato de plata, añadiendo incrementos fijos, y debe cumplir con el procedimiento descrito para la titulación mencionado en el apartado 2.1.3.3, con el fin de que ocurra una completa precipitación entre adiciones.

**Figura 14.** Equipo de titulación potenciométrica automático.



Fuente: <http://www.labindia-analytical.com/images/automatic-titrator.jpg>

- En la tabla 6 se resumen la instrumentación y equipos complementarios que hacen parte de la norma para la aplicación del protocolo.

**Tabla 6.** Instrumentación y equipos necesarios para la prueba ASTM D 6470.

Notas	Miscelánea e instrumentos necesarios
	Armazón de seguridad (vidrio protector)
1	Tubo de ensayo
2	Agitador magnético
3	Homogeneizador
4	Horno
5	Papel filtro
	Cronógrafo

**Notas:**

1. Longitud aprox. de 600 mm, diámetro aprox. de 5 mm, con un bulbo igual o mayor a un volumen de 100 mL, con boquilla al extremo de un diámetro interno de 2 a 3 mm.
2. Barra de agitación recubierta de PTFE. Cabe resaltar que el agitador magnético es en caso de que la titulación se realice manualmente. Si el titulador es automático, generalmente el equipo contará con el agitador magnético y, en algunos casos adicional una base de calentamiento.
3. Mezclador con cuchillas contra-rotativas operando a aprox. 50 rev/s. Ajustable usualmente para homogeneización de muestras de hasta 500 mL. El homogeneizador es usado principalmente para obtener una alícuota representativa para la prueba de ensayo, en el apartado 2.1.3.3 se encuentra el procedimiento para esta tarea.
4. A prueba de explosiones, temperatura  $65 \pm 5$  °C.
5. Whatman No. 41 o equivalente.

#### **4.4.2 Reactivos y materiales**

La tabla 7 reúne los reactivos y materiales que hacen parte fundamental para cumplir con los procedimientos estándar a realizar para la determinación del contenido de sal en el crudo, desde la preparación hasta la titulación final.

**Tabla 7.** Reactivos y materiales utilizados para la aplicación de la prueba ASTM D6470.

Notas	Reactivos y materiales	Notas	Reactivos y materiales
1	Agua destilada	6	Solución de nitrato de plata
2	Acetona	7	Solución de cloruro de sodio
3	Alcohol	8	Xileno
	Nitrato de bario, A.R., cristales		Papel de acetato
4	Ácido clorhídrico	9	Papel de pulido
5	Ácido nítrico		

Notas:

1. Cuando se mencione el agua dentro de la norma, esta debe cumplir con las especificaciones acerca de la pureza y la calidad del agua, acorde a la ASTM D1193.
2. Acetona, conforme a la especificación ASTM D329.
3. Alcohol, 95% (V/V) de etanol, o alcohol isopropílico, conforme a la especificación ASTM D770.
- 4-7. Ver apartado 2.1.3.2 (Reactivos y materiales).
8. Xileno, conforme a la especificación ASTM D843.
9. Papel de pulido, de grano 800 o más fino, para pulir el electrodo de plata.

## 4.5 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO TÉCNICO

El estudio técnico documenta la tecnología y requerimientos técnicos relacionados con la implementación del protocolo ASTM D6470. Se identificó la instrumentación, equipos e insumos inmersos en la aplicación de la prueba. Cada uno de ellos hace parte fundamental de los procesos que se deben llevar a cabo con el desarrollo de la norma, desde la preparación y recolección de muestras, elaboración de soluciones, hasta la titulación y por último la obtención del contenido de sal por el método potenciométrico, con la ayuda del equipo de titulación potenciométrica.

La disposición del área física disponible para la instalación de los equipos debe no solo cubrir el dimensionamiento de los equipos e instrumentos, sino también debe permitir que el desarrollo de la prueba se lleve a cabo sin ninguna complicación, es decir, que cada insumo o equipo quede cerca para evitar traslados o pérdidas de tiempo sin comprometer el espacio entre ellos y la operación se lleve de manera continua.

El requerimiento de algunos servicios básicos como agua, energía o fuente de alimentación son obligatorios para el óptimo funcionamiento de los equipos y de las actividades. Para el caso de la electricidad, dado que la mayoría de los equipos funcionan con un suministro de energía de 110-220 V, es fundamental que cumplan con este requisito. Para el equipo de extracción como requisito adicional se necesita una corriente de aire que prevenga el equipo de un sobrecalentamiento y disminuya la probabilidad de riesgo por temperaturas elevadas.

Además, dado que se manejan reactivos con vapores que generan un peligro para la salud, será necesario controlar estas emisiones por medio de un extractor de vapores, donde el equipo se encuentre resguardado por un armazón de seguridad de vidrio, estos vapores se producen durante el proceso de extracción que involucra la adición de xileno y que en conjunto con la alícuota, se llevan a ebullición.

## **5. ANÁLISIS FINANCIERO**

El análisis financiero para este proyecto se encuentra dividido en dos fases, la primera llamada análisis de mercado del cual se analizará todas las influencias relacionadas con la entrada y puesta en marcha del servicio en la región, los proveedores que suministran los equipos y materiales para la correcta operatividad del proyecto, la demandad existente por parte de los entes interesados en el requerimiento de la oferta del servicio, análisis de precios que concurren en la competencia con laboratorios que tienen en su cartera de servicios la determinación de la sal en crudos y por último los canales de distribución posibles para hacer presencia en el mercado.

La segunda fase es el análisis de costos (inversión y operación) y parámetros financieros que sentarán por último la evaluación financiera del proyecto del cual se obtendrá las conclusiones pertinentes en cuanto así resulta factible o no la implementación del protocolo ASTM D6470.

### **5.1 ANÁLISIS DE MERCADO**

El análisis de mercado es una herramienta importante para la evaluación de un proyecto en cuanto a la entrada de un nuevo producto o servicio. Por medio de este el proyecto es ubicado en diferentes aspectos como el social, económico, ambiental, tecnológico, en donde confluye el desarrollo de la actividad por la que se propuso el proyecto en sí. Lo anterior, se resume en dos variables de carácter obligatorias cuando se desea observar y entender el mercado al que se desea ingresar, estas es, la demanda y la oferta.

La demanda para este caso estará representada en la identificación de las entidades o empresas que requieran o estén interesadas en la prestación del servicio para la determinación de la sal en el crudo. Por otra parte, la oferta incluye el estudio de precios y tiene en cuenta la capacidad o tamaño del proyecto, dado

que determinará si con la puesta en marcha o aplicación de este con los recursos con los que se cuente, si es posible satisfacer esa demanda disponible o no.

### **5.1.1 Objetivos**

Los objetivos básicos para el análisis de mercado concerniente al desarrollo de este proyecto se resumen en los siguientes puntos:

- Identificación y descripción de la puesta en marcha del servicio en el mercado.
- Realizar una lista con los posibles proveedores de la tecnología (instrumentación y equipos) y materiales indispensables para llevar a cabo el procedimiento estándar.
- Analizar la demanda, los posibles interesados en adquirir el servicio.
- Analizar la oferta, el estudio de los precios con respecto a los competidores dentro del mercado.
- Conocer los posibles canales de distribución.

### **5.1.2 Identificación del proyecto**

El proyecto surge con el fin de aprovechar los espacios de laboratorio a disposición de la Universidad que permitan la acomodación e ingreso de nuevas tecnologías, lo que implica la actualización de los métodos ya existentes y la implementación de otros nuevos. Lo anterior, permite aumentar la competencia y calidad del proceso educativo, mejorando el portafolio y la prestación de servicios de la Universidad,

generando no solo nuevas capacitaciones y conocimientos prácticos, sino también produciendo nuevas fuentes de ingreso.

Siendo el proyecto, el estudio de prefactibilidad para la implementación de la prueba estándar ASTM D6470, se desea ingresar como una oferta de servicio para el desarrollo de análisis y trabajo de laboratorio, dado que en este caso se determina el contenido de sal en el crudo, el mercado al que se desea ingresar resulta ser muy volátil, puesto se sabe que el precio del crudo es una variable que depende de muchos parámetros que afectan directamente si este se cotiza a la alza o a la baja, lo que en periodos de crisis como el que se vive actualmente, los presupuestos y los ingresos recibidos por las empresas se ven reducidos, y por tanto la inversión también.

Así que, una estabilización de la oferta y un ajuste en los precios será necesario para contrarrestar la disminución en la demanda por las empresas, aunque si bien esto sucede, no muchas veces se ajusta a la realidad, puesto que el hecho de adquirir el servicio resulta indispensable para evitar los problemas que trae consigo no llevar un control de la cantidad de sal que va con el crudo y los daños que puede ocasionar debido a la corrosión y el no cumplir con las especificaciones mínimas de entrega.

#### **5.1.2.1 Definición del servicio**

Como función principal, lo que se plantea es que el laboratorio preste sus servicios para la determinación del contenido de sal por medio del método estandarizado por la Asociación americana para pruebas y materiales, ASTM D6470 método potenciométrico. El resultado final se presenta como la cantidad de cloruros en porcentaje masa-masa (m/m %). Análisis importante para tener control de la calidad del petróleo que ingresa a las refinerías, equipos y es transportado a través de líneas, con el fin de evitar riesgos operacionales y llevar el crudo a sus requerimientos mínimos, esencial para su disposición.

**Figura 15.** Equipo acorde a la Norma ASTM D6470.



Fuente: <http://cqtestkit.com/images/pic/2016119112238.jpg>

En la figura 15, se muestra un equipo de manufactura completo con la instrumentación descrita por el método estándar ASTM D6470, por el proveedor Chongqing Gold Mechanical&Electrical Equipment Co., Ltd., compañía fabricante.

La puesta en marcha del servicio trae consigo no solo un beneficio económico al llamar la atención de empresas o entidades reguladoras, sino también amplía el servicio académico de los laboratorios de la Universidad y donde por parte de la Escuela de Ingeniería de Petróleos los estudiantes desde el área de petrofísica puedan tener esta capacitación fundamental que amplía las competencias del estudiantado como futuros ingenieros en la utilización de nuevos equipos y realización de otros métodos estándar, este sería el objeto o función continua al inicialmente mencionado.

### 5.1.2.2 Descripción del mercado

El mercado al que se desea ingresar y en el cual confluye la actividad o procesos que se llevarían a cabo con el desarrollo del método estándar en el laboratorio, resulta ser muy congestionado, existen muchas empresas en el país que ofrecen sus servicios de determinación del contenido de sal y muchos más análisis con respecto a aceites y derivados del crudo, conocidos como *Crude Assay*.

Muchas de las empresas que cuentan con el servicio de la determinación del contenido de sal en el crudo en el país son multinacionales, ubicadas en puntos estratégicos en zonas cercanas a puertos o vías portuarias como es Barrancabermeja que cuenta con la refinería más importante en el país, otras se encuentran dispuestas en Cartagena donde se encuentra ubicada Reficar y en Bogotá donde la mayoría de empresas ubican a sus filiales por ser zona central en el país siendo la capital.

Al ser un mercado ocupado por muchas empresas y laboratorios, se destacan aquellos que cumplan los más altos requisitos en calidad que pueden demostrar su competencia en cuanto a resultados y procesos se refiere, por tanto, la acreditación o certificación del laboratorio influirá en gran parte en la confianza que se pueda transmitir al cliente o interesados no solo en adquirir los servicios sino también en obtener un producto de calidad.

Actualmente podemos ubicar el proyecto en los siguientes aspectos:

- Tecnológico: en lo que respecta a la tecnología, existen muchos proveedores que pueden suministrar y cubrir, la demanda del laboratorio para implementar el método estándar, esto incluye: equipos, materiales y reactivos o químicos. Los proveedores contactados para las cotizaciones de los equipos se resumen en la tabla 12 y 13, cabe destacar que ningún proveedor tiene en sus inventarios toda la instrumentación y equipos necesaria, por lo que se

hace necesario el contacto de más de un proveedor para el abastecimiento y desarrollo de la prueba de ensayo.

- **Económico:** la inversión y costos de operación para la puesta en marcha del proyecto influirá en la solubilidad de las cuentas y dará una estimación en cuanto a rentabilidad o accesibilidad se tiene con respecto a la factibilidad o no del proyecto, lo relacionado a costos se encuentra en el apartado 5.2 del presente trabajo. Además, se analiza la competencia y como esta influye en el establecimiento de los precios en los apartados 5.1.4.2 y 5.1.5.
- **Calidad:** en cuestión de calidad según un estudio realizado por el Instituto Nacional de Metrología de Colombia (INM<sup>23</sup>) en 2011, acerca de la demanda metrológica en la industria Colombiana, concluyó que de 3.776 laboratorios encuestados el 24,9 % no implementaba ningún sistema de gestión y que solo el 9,9 % contaba con la acreditación de laboratorios (ISO/IEC 17025). Por lo tanto, ratifica la importancia de la necesidad de acreditar el laboratorio en calidad y en los requerimientos técnicos para poder competir en el mercado.

### **5.1.3 Análisis de la demanda**

La demanda resulta de la necesidad de una persona natural, empresa o grupo, en obtener un producto o servicio que satisface las exigencias de aquel que lo adquiere. Por lo tanto, mientras exista un problema base en general, siempre habrá una solución que será requerida, por un determinado valor adquisitivo.

En consecuencia, un factor clave de este análisis es conocer y describir a la clientela: el tipo o razón social del cliente, requisitos o exigencias, motivación a adquirir el servicio, ubicación geográfica, etc. Conociendo lo anterior se puede inferir en cómo se moverá el mercado y, debido a esto saber cómo se debe actuar, las

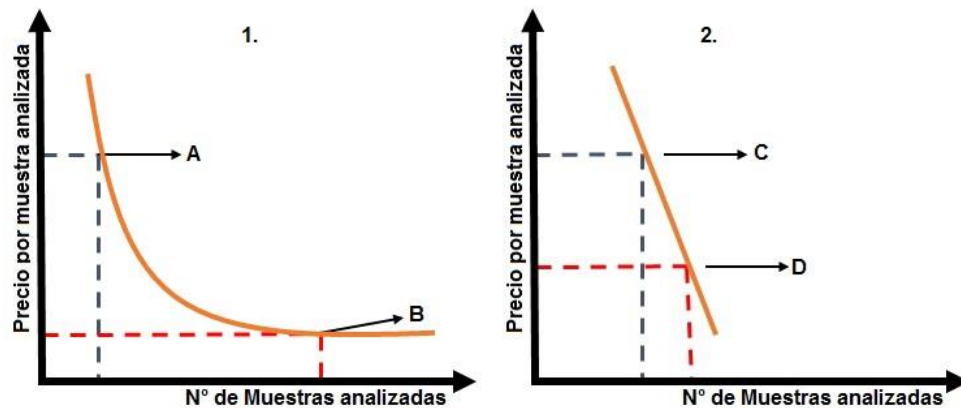
---

<sup>23</sup> INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DE COLOMBIA. [Sitio web]. Bogotá: INM, Informe EDMIC I – Evaluación de resultados de la encuesta de demanda metrológica en la industria colombiana 2011. Disponible en: <http://www.inm.gov.co/images/contenidos/EstudiosSector/INFORME%20EDMIC%20I.pdf>

medidas que tomar, prever capacidades de flujo de la empresa, es decir, los volúmenes de muestras a manejar, la frecuencia o repetitividad de las operaciones.

Además, es posible determinar las ganancias que traen consigo el ensayo o análisis de laboratorio según el número de muestras tratadas o frecuencia de muestreo, que en conjunto con la oferta se puede obtener un punto de equilibrio en el que no se tendrá pérdidas económicas.

**Figura 16.** Curvas de demanda: (1) Curva general, (2) Demanda inelástica.



Modificado de: MANKIW, Gregory. Principios de Economía, 6ta Edición. México, D.F.: Cengage Learning Editores, 2012. p. 93

La figura 16-1 representa el comportamiento del precio de la demanda general de un bien o servicio. En el punto A se tiene un precio mayor para una menor demanda o en este caso la cantidad de muestras que el cliente está dispuesto a ofrecer a determinado precio para su análisis. En el punto B se tiene una disminución en los precios, por tanto, la demanda en una situación normal aumentará. En la 16-2, se tiene el caso de una demanda inelástica, esto quiere decir que pese a las variaciones en los precios (del punto C al D) generalmente el grupo interesado en obtener los servicios requerirán analizar casi la misma cantidad de muestras, dando entender que el cliente requerirá el servicio sin importar las fluctuaciones en los precios.

### 5.1.3.1 Clientes potenciales

Entre los posibles clientes interesados en adquirir el servicio se destacan principalmente las empresas pertenecientes al sector petrolero, empresas operadoras, compañías de servicio que realicen subcontratación, ya sea, empresa de transporte o análisis de laboratorio y las relacionadas directamente con los procesos de refinación y la carga de la capacidad de crudo dentro de la refinería con el fin de evitar el deterioro de los equipos y la caída en el rendimiento de los procesos.

Por otra parte, se encuentra el sector regulador, aquellas empresas o entes encargados de controlar, supervisar y verificar, la calidad, cantidad y contenido de las sustancias, residuos o cualquier otro material involucrado en los procesos industriales o cualquier otra actividad que genere un impacto sobre el ambiente y la sociedad, por ejemplo, los vertimientos de agua hacia fuentes hídricas.

Las tablas 8, 9, 10 y 11 resumen los clientes que podrían estar interesados en adquirir el servicio de la determinación del contenido de sal en el crudo por el método estándar, clientes clasificados en empresas operadoras, de servicio y entidades reguladoras o de control cercanas a la región. Para el caso de las operadoras se tuvo en cuenta aquellas que según la ANH<sup>24</sup> en su informe de Producción fiscalizada de crudo para el período Enero-Junio de 2016 producen en sus campos más de 200 barriles promedio por día calendario (BPDC):

---

<sup>24</sup> AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS-ANH. Bogotá D.C., Colombia. [www.anh.gov.co](http://www.anh.gov.co)

**Tabla 8.** Lista de Empresas operadoras. Posibles clientes.

<b>EMPRESA OPERADORA</b>		
<b>Departamentos</b>	<b>Municipios</b>	<b>Operadora</b>
<b>Santander</b>	Rionegro	ECOPETROL-PETROLEOS DEL NORTE S.A.
	Sabana de Torres	ECOPETROL-PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC.
	Barrancabermeja	ECOPETROL
	Puerto Wilches	
	San Vicente de Chucurí	
<b>Norte de Santander</b>	Cúcuta	ECOPETROL
	Tibú	
<b>Boyacá</b>	Puerto Boyacá	MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD-ECOPETROL
	Corrales	UNION TEMPORAL OMEGA ENERGY
<b>Antioquia</b>	Puerto Nare	MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD
	Yondó	ECOPETROL
	Puerto Triunfo	ECOPETROL
<b>Bolívar</b>	Cantagallo	ECOPETROL
	Talaigua Nuevo	
	Cicuco	
<b>Cesar</b>	San Martín	ECOPETROL
	Río de Oro	PETROLEOS DEL NORTE S.A.

Fuente: Autor.

Las empresas operadoras de oleoductos requieren también del control de las características del crudo que se desea transportar, ya sea, por la misma empresa operadora o por contrato con otras que deseen enviar sus productos a través de las líneas. Estos deben garantizar la seguridad e integridad de los conductos, por lo tanto, es necesario que el crudo cumpla con las exigencias mínimas en su contenido de sal ( $\leq 20$  PTB) y otros, como porcentaje de sulfuros, de lo contrario podría acarrear fuertes sanciones económicas por incumplimiento de contrato.

**Tabla 9.** Lista de empresas operadoras de oleoductos por participación en el país (transporte de crudo).

<b>OPERADORA</b>	<b>CAPACIDAD (KBPD)</b>	<b>PARTICIPACIÓN</b>
<b>ECOPETROL</b>	2134	80,00%
<b>OXY</b>	84	3,15%
<b>OIMEX</b>	75	2,81%
<b>HOCOL</b>	72	2,69%
<b>ANDIAN</b>	48	1,80%
<b>INTERCOL</b>	42	1,57%
<b>EUROCAN</b>	33	1,24%
<b>PETRONORTE</b>	30	1,12%
<b>KELT</b>	26	0,97%
<b>LASMO</b>	26	0,97%
<b>CEPE</b>	25	0,94%
<b>HOUSTON</b>	20	0,75%
<b>CHEVRON</b>	19	0,71%
<b>ANTEX</b>	14	0,52%
<b>PETROCOL</b>	10	0,37%
<b>ESSO</b>	10	0,37%
<b>TOTAL</b>	<b>2668</b>	<b>100%</b>

Modificado de: SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. [Sitio web]. Bogotá: SIC, La promoción de la competencia en el acceso a oleoductos. p. 9 Disponible en: [www.sic.gov.co/drupal/sites/default/files/files/Estudio%20Transporte%20por%20oleoducto.pdf](http://www.sic.gov.co/drupal/sites/default/files/files/Estudio%20Transporte%20por%20oleoducto.pdf)

La tabla 10 muestra una lista de posibles laboratorios que puedan estar interesados en el servicio por subcontratación, en las áreas de análisis y ensayo a: petróleo, carbón, productos derivados y aguas. La información acerca de estos laboratorios se encuentra disponible en la página principal de la ONAC<sup>25</sup>.

**Tabla 10.** Lista de laboratorios acreditados según área de ensayo.

<b>EMPRESAS DE SERVICIOS (LABORATORIOS)</b>	
<b>Área</b>	<b>Laboratorios de Ensayos Acreditados</b>
<b>Petróleo, Carbón y productos derivados</b>	BIO D S.A.
	BIOCOMBUSTIBLES SOSTENIBLES DEL CARIBE S.A.
	CDT MINERAL-CENTRO DE DESARROLLO TECNOLOGICO MINERO ENERGETICO SAS
	INSPECTORATE COLOMBIA LTDA
	PSL PROANALISIS LTDA.
	SGS COLOMBIA S.A.S-SGS
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA-SEDE MEDELLIN- LABORATORIO DE CRUDOS Y DERIVADOS
<b>Agua</b>	BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.
	ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P
	AGUAS KPITAL CUCUTA S.A. E.S.P.
	AGUAS DE LA SABANA S.A. E.S.P-ADESA S.A.

Fuente: Autor.

<sup>25</sup> ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA. [Sitio web]. Bogotá: ONAC, Directorio oficial de acreditaciones. Disponible en: [www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=207](http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=207)

Por otra parte, las entidades reguladoras o de control llamadas CARS (corporaciones autónomas regionales), tienen como objetivo la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio del Medio Ambiente<sup>26</sup>.

Por tanto, estas entidades harán control en las zonas donde se genere un impacto debido a una actividad industrial, como lo es la actividad petrolera en las regiones de los departamentos. El uso final o disposición de las aguas en cada operación deberá cumplir con ciertas características, que no deben exceder las concentraciones permitidas por la resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015 expedida por el Ministerio del Medio Ambiente, por lo que es un factor a medir para minimizar los daños que ocasiona, por ejemplo, el vertimiento de esos efluentes en fuentes hídricas. La tabla 11 muestra las entidades reguladoras más cercanas a la región como posibles entes interesados.

Cabe resaltar que, las empresas operadoras o de servicios también pueden requerir directamente el servicio de análisis para controlar los parámetros de los residuos o efluentes directos a sus operaciones antes de su disposición o eliminación, ya sea, para reutilizarlos a otras actividades (reinyección, riego, etc.) o el vertimiento de estos a fuentes hídricas, con el fin de, cumplir con lo expedido por el Ministerio de Medio Ambiente para garantizar la protección de las zonas de impacto.

---

<sup>26</sup> CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER. [Sitio web]. Santander, San Gil: CAS, Objetivos y funciones. Disponible en: [www.cas.gov.co/index.php/lacas/la-entidad/objetivos-y-funciones-de-la-cas.html](http://www.cas.gov.co/index.php/lacas/la-entidad/objetivos-y-funciones-de-la-cas.html)

**Tabla 11.** Lista de entidades reguladoras.

ENTIDADES REGULADORAS		
Departamento	CARS <sup>27</sup>	
	Santander	Corporación autónoma regional de Santander
	Santander	Corporación autónoma regional por la defensa de la meseta de Bucaramanga
	Magdalena	Corporación autónoma regional del Magdalena
	Norte de Santander	Corporación autónoma regional de la Frontera Nororiental

Fuente: Autor.

#### 5.1.4 Análisis de la oferta

Para el caso de la oferta, esta es la cantidad de bienes o servicios que un cierto número de oferentes o productores están dispuestos a poner a disposición del mercado a un precio determinado<sup>28</sup>. En el caso del mercado que se quiere incurrir, los oferentes son los laboratorios de ensayos que tienen en su portafolio de servicios el análisis de crudo y que determinan el contenido de sal en este.

<sup>27</sup> ASOCIACIÓN DE CORPORACIONES AUTÓNOMAS REGIONALES Y DE DESARROLLO SOSTENIBLE-ASOCARS. Bogotá D.C., Colombia. [www.asocars.org.co](http://www.asocars.org.co)

<sup>28</sup> BACA URBINA, Gabriel. Evaluación de proyectos 6ta Edición. México D.F: McGraw-Hill/interamericana editores, S.A. DE C.V. 2010. p. 41

Debido a esto, existen varios factores que afectan directamente el comportamiento de la oferta del servicio de ensayos, entre estos están<sup>29</sup>:

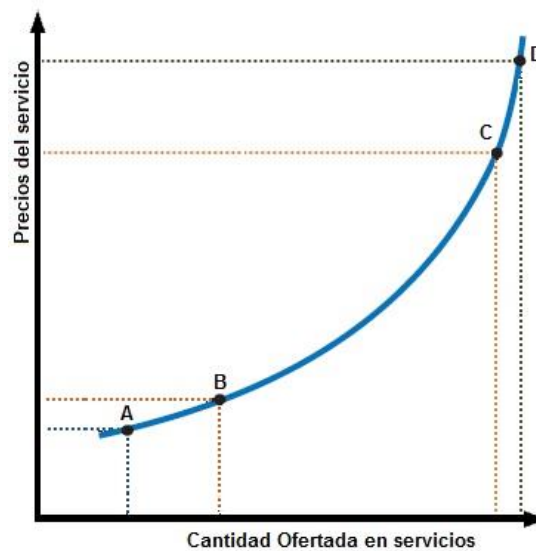
- El precio del servicio: el precio es uno de los factores importantes en el mercado, si los precios aumentan, muchos laboratorios querrán ofrecer el servicio puesto resulta un negocio rentable y, por tanto, aumenta la oferta del servicio en cuestión.
- El precio de los reactivos y materiales: si los productos necesarios para el desarrollo de la prueba estándar aumentan o disminuyen generarán una variación en la oferta. Si aumentan los precios, el costo por servicio aumenta y disminuye la rentabilidad de la actividad, debido a esto, la oferta puede disminuir. Sin embargo, si los costos por servicio disminuyen por una reducción en los precios de los reactivos y materiales, entonces la oferta subirá al resultar atractiva económicamente.
- Tecnología implementada: en cuanto a la tecnología, si esta disminuye los tiempos o los costos del servicio de ensayo, entonces causará un aumento en la cantidad ofertada del servicio. Aunque, la adquisición de nuevas tecnologías puede conllevar a inversiones muy altas y solo aquellos con la capacidad necesaria podrán acceder a ellas, esto genera una diferencia técnica en los laboratorios oferentes.
- El número de oferentes: la cantidad de laboratorios que ofrecen el servicio controlan prácticamente el mercado en cuanto a oferta y precios se refieren, relacionándose directamente con la demanda, entre mayor sea la demanda del servicio, mayor será la oferta que los laboratorios puedan brindar, en caso contrario no podría haber mayor oferta si la demanda es mucho menor que esta, sino habría pérdidas en los flujos de caja.
- Expectativas: las expectativas determinan el comportamiento futuro dentro del mercado, la alza y la baja, por ejemplo, de los servicios, tecnología, materiales, etc., puede generar los cambios de la oferta, ya sean, de manera negativa o positiva y en la relación costo-beneficio.

---

<sup>29</sup> SCHILLER, Bradley R. Principios de Economía. España S.L.: McGraw-Hill Interamericana, 2008. p. 61

La figura 17, muestra el comportamiento general de la oferta según la variación de los precios, la ley de la oferta<sup>30</sup> menciona que, teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente, si se consideran constantes, a excepción del precio, este impone el ritmo al igual que en la demanda, en cuanto mayor sea el precio del servicio ofrecido, mayor será la cantidad de empresas o laboratorios que ofrezcan el mismo servicio, y cuando se da lo contrario, la oferta de este disminuirá con el precio.

**Figura 17.** Curva del comportamiento de la oferta.



Modificada de: MANKIW, Gregory. Principios de Economía, 6ta Edición. México, D.F.: Cengage Learning Editores, 2012. p. 101

#### 5.1.4.1 Proveedores

Los proveedores resultan ser una pieza clave para que se lleve a cabo la implementación de la prueba estándar y que las actividades u operaciones se lleven a cabo sin interrupciones, por tanto, se debe contar con un grupo referencial del

<sup>30</sup> MANKIW, Gregory. Principios de Economía, 6ta Edición. México, D.F.: Cengage Learning Editores, 2012. p. 73

cual se tenga conocimiento por la calidad y accesibilidad a los equipos, insumos y materiales necesarios para el laboratorio de ensayo.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la tabla 12 y 13 se resumen los posibles proveedores para la aplicación del método estándar ASTM D6470, en el ámbito internacional y nacional:

**Tabla 12.** Lista de proveedores Internacionales.

#	Tipo de Suministro	Proveedores	Contacto en sitio web
1	Instrumentación y equipos	Chongqing Gold Mechanical&Electrical Equipment Co., Ltd.	<a href="http://www.cqtestkit.com">www.cqtestkit.com</a>
2	Instrumentación y equipos	Technoglas Laboratorium apparatuur BV	<a href="http://www.technoglas.nl">www.technoglas.nl</a>
3	Instrumentación y equipos	Wilmad-LabGlass	<a href="http://www.wilmad-labglass.com">www.wilmad-labglass.com</a>
4	Instrumentación y equipos	Clarkson Laboratory and Supply Inc.	<a href="http://store.clarksonlab.com">http://store.clarksonlab.com</a>
5	Instrumentación y equipos-Reactivos-Materiales	Hach	<a href="http://latam.hach.com">http://latam.hach.com</a>
6	Instrumentación y equipos-Reactivos-Materiales	Wheaton	<a href="http://www.wheaton.com">www.wheaton.com</a>
7	Instrumentación y equipos	ThomasScientific	<a href="http://www.thomassci.com">www.thomassci.com</a>
8	Instrumentación y equipos	Cole-parmer	<a href="http://www.coleparmer.com">www.coleparmer.com</a>
9	Instrumentación y equipos	AMK GLASS, inc.	<a href="http://www.amkglass.com">www.amkglass.com</a>

**Tabla 13.** Lista de proveedores Nacionales.

#	Tipo de Suministro	Proveedores	Contacto en sitio web
1	Instrumentación y equipos	LanzettaRengifo	<a href="http://www.lanzettarengifo.com.co">www.lanzettarengifo.com.co</a>
2	Instrumentación y equipos-Reactivos-Materiales	TQ Laboratorios	<a href="http://www.tqlaboratorios.com">www.tqlaboratorios.com</a>
3	Instrumentación y equipos-Reactivos-Materiales	Arquilab Ltda	<a href="http://www.arquilab.co">www.arquilab.co</a>
4	Instrumentación y equipos-Reactivos-Materiales	Laboratorios WACOL	<a href="http://www.wacol.com.co">www.wacol.com.co</a>
5	Instrumentación y equipos-Reactivos-Materiales	Annar	<a href="http://www.annardx.com">www.annardx.com</a>
6	Instrumentación y equipos-Reactivos-Materiales	Scientific Products LTDA	<a href="http://www.spltda.com">www.spltda.com</a>
7	Instrumentación y equipos	ANDIA SAS	<a href="http://www.andia.co">www.andia.co</a>
8	Instrumentación y equipos-Reactivos-Materiales	Dotaciones Químico Clínicas SAS	<a href="http://www.dotacioness.com">www.dotacioness.com</a>
9	Instrumentación y equipos-Reactivos-Materiales	QUIMICOS FG	<a href="http://www.quimicofg.com">www.quimicofg.com</a>

#### 5.1.4.2 Competencia

La situación en el país de la competencia a nivel de laboratorios para el año 2011, según el estudio realizado por la INM, demostró que de 3.776 laboratorios el 24,9 % no implementaban ningún sistema de gestión.

Aquellos que sí efectuaban algún sistema, el 54,4 % implementaba la ISO 9001 y solo el 9,9 % contaba con la acreditación de laboratorios, la ISO/IEC 17025<sup>31</sup>. Por tal razón, se toma de referencia aquellos laboratorios que tienen como respaldo la acreditación de sus procesos, con un sistema de gestión y calidad certificados, que puedan servir de referencia, para adoptar los mejores márgenes y puedan servir de base para la construcción de un sistema de gestión propio para que el laboratorio de servicio entre a competir en el mercado.

En la actualidad, por el organismo nacional de acreditación en Colombia (ONAC), en su página web, los laboratorios de ensayo en el área de petróleo, carbón y productos derivados, que se encuentran acreditados se resumen en la tabla 14. Existe otro grupo de laboratorios que se encuentran acreditados por la Superintendencia de industria y comercio (SIC), pero no se encuentra disponible la lista completa por protección de datos. El IDEAM, también acredita a laboratorios para realizar ensayos en materia ambiental, por ejemplo, agua, aire, entre otros.

Por supuesto, hay un número considerable de laboratorios con las mismas características en materia de servicios con respecto a los laboratorios acreditados, pero, estos no han demostrado que sus procesos sean fiables o no presentan un sistema de gestión que brinde la calidad a los productos o resultados finales, es decir, no han presentado la competencia suficiente, ya sea, en ensayos o calibración de sus métodos y/o equipos para ser acreditados por los organismos correspondientes.

---

<sup>31</sup> INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DE COLOMBIA. [Sitio web]. Bogotá: INM, Informe EDMIC I – Evaluación de resultados de la encuesta de demanda metrológica en la industria colombiana 2011. Disponible en: <http://www.inm.gov.co/images/contenidos/EstudiosSector/INFORME%20EDMIC%20I.pdf> p. 26

**Tabla 14.** Lista de laboratorios de ensayos que confluyen en el mercado de prestación del servicio.

ORGANISMO ACREDITADOR	ÁREA ACREDITADA	EMPRESA/LABORATORIO DE ENSAYO
ONAC	Petróleo, carbón y productos derivados	INSPECTORATE COLOMBIA LTDA
		PSL PROANALISIS LTDA
		SGS COLOMBIA S.A.S
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA-SEDE MEDELLÍN-LABORATORIO DE CRUDOS Y DERIVADOS
		INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO-ICP
		INTERTEK COLOMBIA
	Agua	BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S
		ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P
		AGUAS KPITAL CUCUTA S.A. E.S.P.
		AGUAS DE LA SABANA S.A. E.S.P-ADESA S.A.
IDEAM		LABORATORIO AMBIENTAL DE CORPORNOR

Por lo tanto, se resalta la necesidad de que el laboratorio prestador de servicios, cumpla con los requisitos mínimos para la implementación de un sistema de gestión que garantice la certificación de los procesos. La norma técnica que reúne los puntos necesarios para tal fin, se encuentran en la Norma Técnica Colombiana ISO/IEC 17025, aunque cabe resaltar que no es el único alineamiento que se encuentra para abarcar el contexto de calidad y buenas prácticas, también está disponible, la ISO 9001, todo lo concerniente a la calidad y, lo contenido en OHSAS 18001 e ISO 14001, sobre seguridad, salud y ambiente.

### 5.1.5 Análisis y estudio de precios

Existen diferentes factores que afectan directamente al precio del producto o servicio que se desea producir u ofertar y que se deben tener en cuenta para el análisis del precio que se debe establecer, entre estos se encuentran<sup>32</sup>:

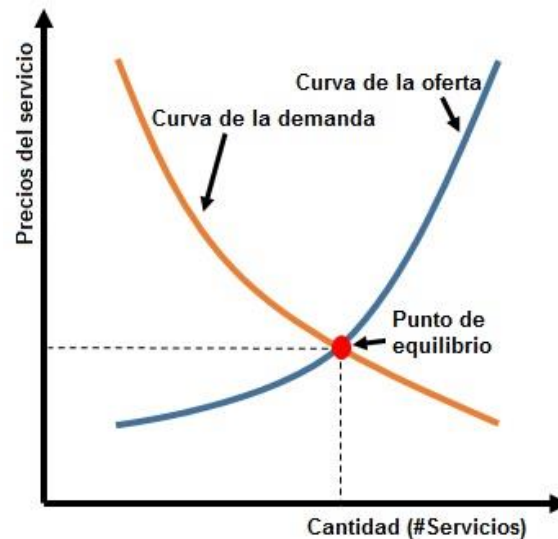
- El costo de producción, administración y ventas, más una ganancia. Esa ganancia depende primeramente de unas consideraciones estratégicas.
- La demanda potencial del servicio. Como es sabido la determinación del contenido de sal en el crudo, es un factor a determinar importante para las empresas operadoras.
- Las condiciones económicas del país. En momentos de crisis como el que vive la actualidad de la industria petrolera, puede producir fluctuaciones en el mercado, lo que puede ocasionar una reducción en la demanda de los servicios y los precios deberán ajustarse a esos escenarios.
- La competencia. La oferta del servicio depende en parte a las acciones de la competencia y, generalmente cuando un nuevo competidor ingresa al mercado, la competencia ajustará sus precios para debilitarlo, frente a esto, el nuevo competidor deberá arriesgar para mantenerse en el mercado.
- La estrategia de mercadeo. Esto, se refiere a las acciones que conducen, pretenden o tienen como resultado introducirse, ganar y permanecer en el mercado, estableciendo los precios del servicio, por ejemplo: costo más porcentaje de ganancia, un porcentaje de ganancia sobre la inversión hecha, igualar el precio del competidor más fuerte, etc.
- El equilibrio entre oferta y demanda. Existe un punto entre ambos comportamientos dentro del mercado en que se define un precio específico para una cantidad demandada y ofertada que son iguales.

---

<sup>32</sup> BACA URBINA, Gabriel. Evaluación de proyectos 6ta Edición. México D.F: McGraw-Hill/interamericana editores, S.A. DE C.V. 2010. p. 46

En la figura 18, se muestra el punto de equilibrio entre oferta y demanda, este punto representa que en ambas partes tanto como empresa que adquiere el servicio y laboratorio que lo ofrece queda satisfecho. Si se excede este precio de equilibrio se observa un exceso de oferta por tanto el laboratorio no podrá ofrecer todos sus servicios y tendrá que reducir sus precios para aumentar la demanda. En cambio, si este punto es inferior al de equilibrio, habrá una demanda insatisfecha la cual deberá ser cubierta, con más oferentes y/o un aumento de los precios.

**Figura 18.** Relación entre Demanda y Oferta. Punto de equilibrio.



Modificado de: MANKIW, Gregory. Principios de Economía, 6ta Edición. México, D.F.: Cengage Learning Editores, 2012. p. 77

Para el estudio en cuestión, se tendrá en cuenta los costos conjuntos y aproximados con la oferta del servicio por el método estándar y se compararán con los precios de algunos oferentes en el mercado que tienen en su portafolio el análisis del contenido de sal en el crudo, para así establecer un precio que pueda ser competitivo y justifique costos operativos en la actividad, más una posible ganancia.

El primer paso es resumir los reactivos y materiales necesarios para el desarrollo, de la prueba y el consumo de estos, en cada una de las etapas del método estándar; con el consumo total de los reactivos se observa la cantidad de veces que se podría llevar a cabo la prueba de ensayo con los materiales que se encuentren en stock o inventario, con el fin de, determinar la capacidad del laboratorio; con los costos directos relacionados al uso de los reactivos y la cantidad de veces que podríamos realizar un ensayo podríamos sacar un precio aproximado de los gastos inmersos; para finalmente establecer un precio que cubra los gastos operativos. La tabla 15 y 16 resume los pasos anteriores.

**Tabla 15.** Consumo de reactivos y materiales por actividad desarrollada durante el método estándar.

Actividad u operación	Reactivos y materiales	#Usos	Cantidad usada	
			mg	mL
<b>Solución de Cloruro de Sodio</b>	Cloruro de sodio (mg)	1	59	
	Agua	1		1.000
<b>Extracción</b>	Xileno	3		15
				15
	Etanol o Isopropil	1		25
	Acetona	1		15
	Agua	1		125
<b>Remoción de H<sub>2</sub>S</b>	Ácido Nítrico (5 mol/L)	1		5
<b>Preparación del equipo de titulación</b>	Ácido Clorhídrico	1		9
	Agua	1		1.000
<b>Determinación de Haluros</b>	Sln. De Cloruro de Sodio	1		10
	Acetona	1		100
	Nitrato de Bario (cristales)	1	0,5	
	Sln. De Nitrato de plata (0,01-0,1 mol/L)	1		10
<b>Determinación en blanco</b>	Sln. De Cloruro de Sodio (1mmol/L)	1		10
	Agua destilada	1		50
	Ácido Nítrico (5 mol/L)	1		5
	Nitrato de Bario (cristales)	1	0,5	
	Acetona			

**Tabla 16.** Número de pruebas disponibles según stock de los reactivos cotizados y su respectivo costo.

Reactivos y materiales	Cantidad total usada		Stock en Inventarios		#Número de Pruebas Posibles		Costo de Reactivos y materiales seleccionados
	mg	mL	mg	mL			
Cloruro de sodio	59		1×10 <sup>6</sup>		16.949,2		\$ 45.000
Agua		2.175		10.000		4,6	N.A
Sln. De Cloruro de Sodio		20		1.000		50	N.A
Xileno		70		4.000		57,1	\$ 236.640
Etanol o Isopropil		25		2.500		100	\$ 90.480
Acetona		215		5.000		23,3	\$ 174.000
Ácido Nítrico		10		1.000		100	\$ 168.896
Ácido Clorhídrico		9		2.500		277,8	\$ 126.087,36
Nitrato de Bario (cristales)	1		250.000		250.000		
Sln. De Nitrato de plata (0,01 mol/L)		10		1000		50	\$ 152.546,96
Sln. De Nitrato de plata (0,1 mol/L)		10		1000		50	\$ 261.000
<b>Costo total por adquisición de reactivos</b>							<b>\$ 1.254.650</b>

Suponiendo una base de 10 L (10.000 mL) de agua destilada y teniendo en cuenta las capacidades de los productos y reactivos cotizados, si dividimos la cantidad de stock de los productos con la cantidad consumida por ensayo de una sola muestra, se encuentra la cantidad de ensayos posibles a realizar según la capacidad del laboratorio. Se puede observar que los reactivos más limitantes son el agua y la acetona, pero debido a que, el agua es de fácil obtención, a partir de los primeros 23 ensayos, se necesitará cotizar más acetona.

Teniendo en cuenta lo anterior, una metodología para el cálculo del precio del servicio, consiste en sumar los valores de todos los costos y gastos, ya sean, fijos o variables, en que se incurre con un determinado volumen de producción. La sumatoria total se divide entre el número de unidades producidas, obteniendo el costo unitario al cual se le agrega el margen de utilidad que el productor desea alcanzar<sup>33</sup>. Para el caso de estudio, se tendrá en cuenta en el número de ensayos posibles que se pueden realizar con la materia prima en stock.

El valor total por reactivos usados es de \$ 1.254.650 pesos y el número de muestras disponibles a realizar es de 23, por tanto, al dividir entre estos valores hallamos el valor por costo unitario, sin incluir los demás costos en el que se incurren por la aplicación del servicio. Esto nos da un valor de \$ 54.550 pesos. Sin embargo, es necesario incluir los gastos relacionados a los servicios básicos como la electricidad, agua; transportes o fletes de envío; gastos extras; y un porcentaje de ganancia al respecto. La tabla 17, muestra el valor total del servicio incluyendo los otros costos directos a la operación representados por un porcentaje sobre el valor del costo unitario. El porcentaje sobre gastos extras, representa aquellos gastos relacionados con el uso diario de los equipos, además de su mantenimiento y calibración.

**Tabla 17.** Costo total de la oferta del servicio de ensayo según gastos directos.

<b>PRECIO DE OFERTA DEL SERVICIO DE ENSAYO</b>		
<b>Costos totales por insumos y reactivos</b>	\$	1.254.650
<b>Pruebas de ensayo posibles con el stock</b>	÷	23
<b>Costo Unitario</b>	\$	54.550
<b>Servicios básicos</b>	20 %	\$ 10.910
<b>Transporte/Fletes</b>	25 %	\$ 13.638
<b>Gastos extras</b>	30 %	\$ 16.365
<b>Ganancia</b>	25 %	\$ 13.638
<b>Costo total del servicio</b>	\$	109.100~110.000

<sup>33</sup> ORJUELA CÓRDOVA, Soledad y SANDOVAL MEDINA, Paulina. Guía del estudio de mercado para la evaluación de proyectos. Santiago, 2002. Seminario de Prueba (Ingeniero Comercial). Universidad de Chile. Facultad de ciencias económicas y administrativas. p. 123

Luego de haber revisado, el valor del precio según los costos inmersos en el desarrollo del método estándar, se detalla en conjunto las ofertas de servicio y precios por parte de otros laboratorios que ofrecen el mismo servicio, aunque cabe resaltar que de los laboratorios consultados por el análisis de muestras, el método preferencial que usan para la determinación del contenido de sal en el crudo, es el método estándar ASTM D3230 (método electrométrico), por tal motivo, las variaciones y las suposiciones en establecer el precio pueden cambiar según los costos directos asociados a cada método y la misma competencia que trata de mantenerse en el mercado.

**Tabla 18.** Comparación de precios de prestación del servicio con laboratorios acreditados que usan un método estándar para la determinación del contenido de sal.

EMPRESA/LABORATORIO	MÉTODO UTILIZADO	COSTO POR MUESTRA (sin IVA)	INCLUYE
<b>SGS COLOMBIA</b>	ASTM D3230	\$ 132.000	MUESTREO Y ANÁLISIS
<b>INTERTEK</b>	ASTM D3230	\$ 144.000	MUESTREO Y ANÁLISIS
<b>PSL PROANALISIS</b>	ASTM D3230	\$ 75.000	ANÁLISIS
<b>PROYECTO</b>	ASTM D6470	\$ 110.000	MUESTREO Y ANÁLISIS

Fuente: Autor.

Cabe destacar que el valor calculado para este estudio, no incluye otros gastos asociados, por ejemplo, al personal técnico encargado de manejar los equipos y desarrollar cada una de las etapas en la línea del proceso, horarios, salarios, prestaciones, etc., todo lo relacionado a la parte administrativa y de gestión. Estos factores pueden hacer que el valor total ascienda en un orden del 20-30 %. Por tanto, si adicionamos ese costo sobre el valor del precio final, nos da un rango de precios sin IVA de \$ 130.000 a \$ 140.000 pesos, con el cual se puede entrar en el mercado, sin embargo, se podría disminuir en un porcentaje el precio o generar descuentos por cantidad de muestras analizadas para llamar la atención de clientes, con el fin, de conseguir mercado.

### 5.1.6 Canales de distribución

Un canal de distribución, es la ruta que toma el producto al pasar del productor al consumidor final y está integrado por los intermediarios que intervienen en el proceso<sup>34</sup>. Como laboratorio prestador de servicios, muchas de las muestras a analizar deben ser recibidas y luego de ser así, regresarán al cliente, por tanto, un ejemplo de canal de distribución, será la empresa de servicio o intermediaria que pueda transportar y envíe aquellas muestras o cualquier material requerido por las necesidades del cliente, esto hace parte también de los canales de comercialización que el laboratorio puede implementar para dar a conocer y mejorar el servicio.

Dado que, el protocolo estándar que se desea implementar está dispuesto a ubicarse en las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander, ya sea, Guatiguará o las nuevas áreas que se encuentran en la sede principal debido a la renovación de la Escuela de Ingeniería de petróleo. La Universidad se convierte en uno de los primeros canales de distribución más importantes, por medio de esta se podrá dar a conocer el servicio, a su vez de servir como plataforma de comunicación para ofrecer, contactar y atraer clientes.

---

<sup>34</sup> ORJUELA CÓRDOVA, Soledad y SANDOVAL MEDINA, Paulina. Guía del estudio de mercado para la evaluación de proyectos. Santiago, 2002. Seminario de Prueba (Ingeniero Comercial). Universidad de Chile. Facultad de ciencias económicas y administrativas. p. 126

## 5.2 ANÁLISIS DE COSTOS

Los costos representan en mayor parte, el riesgo de llevar a cabo un proyecto y, si este resulta rentable o no. Por esto, siempre es necesario analizar cada una de las variables contenidas en él y, que de una u otra manera, generan unos costos con el desarrollo y puesta en marcha, en este caso, del servicio de ensayo de laboratorio. Esto incluye, por ejemplo: los precios de los equipos, reactivos, materiales e insumos, planta física, instalación, calibración, mantenimiento de los equipos, costos relacionados a la gestión administrativa, acreditaciones, subcontratos, etc.

Cuando se habla de costos es necesario definir las variaciones y los tipos que existen, para entender a fondo el comportamiento, ya sea, financiero, productivo y sostenible de la empresa, laboratorio o proyecto. Entre los tipos de costos que se encuentran se habla de:

- Costos fijos: son aquellos que no varían, no tienen en cuenta variaciones en el volumen de producción, por ejemplo: arriendo, servicios, mantenimientos, entre otros.
- Costos variables: son aquellos que varían según el volumen de producción, por ejemplo: si aumento el número de ensayos posibles a realizar, se requerirá mayor cantidad de insumos y reactivos, por tanto, aumentará el valor de los costos.
- Costos explícitos: son los costos por razón de inversión que la empresa debe asumir para la adquisición bienes o insumos, es decir, hay un desembolso de dinero<sup>35</sup>.
- Costos implícitos: Contrario a los explícitos, no existe un desembolso de efectivo, se entiende por costo implícito aquello que pudo recibir y no se

---

<sup>35</sup> MANKIW, Gregory. Principios de Economía, 6ta Edición. México, D.F.: Cengage Learning Editores, 2012. p. 261

obtuvo, que además tiene influencia en la actividad principal de la empresa y, por tanto, se considera costo.

### **5.2.1 Objetivo**

El objetivo principal del análisis de costos es determinar la cantidad total económica para suplir todas las necesidades del proyecto, en este caso, para la obtención de todos los equipos, materiales y reactivos, necesarios para desarrollar e implementar el método estándar ASTM D6470. Teniendo en cuenta, el resumen de costos que conlleva la aplicación de la prueba estándar, se determina en base a algunos indicadores financieros, como es el caso de la TIR y el VAN, entre otros, la evaluación financiera del proyecto.

### **5.2.2 Costos de inversión**

Los costos de inversión van directamente relacionados con la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y diferidos o intangibles necesarios para iniciar las operaciones de la empresa, con excepción del capital de trabajo<sup>36</sup>. Estos costos de inversión se puede dividir en dos, los costos directos e indirectos, en la parte de costos directos (activos fijos) se encuentra lo relacionado a la compra, instalación, calibración de equipos, montaje de conexiones eléctricas, instrumentos, planta física, etc. En los costos indirectos (diferidos), se encuentra la parte de ingeniería, licencias, transporte, entre otros. En el presente estudio de prefactibilidad, solo se registran los costos directos a la implementación de la prueba estándar correspondiente a los equipos e insumos necesarios. En la tabla 19, se documenta la instrumentación y equipos, con su respectivo proveedor y precio seleccionado.

---

<sup>36</sup> BACA URBINA, Gabriel. Evaluación de proyectos 6ta Edición. México D.F: McGraw-Hill/interamericana editores, S.A. DE C.V. 2010. p. 143

**Tabla 19.** Cotización de instrumentación y equipos para la prueba estándar ASTM D6470.

CANT.	EQUIPOS	PROVEEDOR	MARCA	VALOR UNITARIO	COSTO SELECCIONADO (+IVA)
1	Extractores Soxhlet	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	N.A	\$ 475.000	\$ 5.695.600
3	Extractores Soxhlet	TQ LABORATORIOS	N.A	\$ 5.369.863	
		ARQUILAB	FINETECH	\$ 4.910.000	
3	Refrigerante S/Hopkins	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	N.A	\$ 354.000	\$ 1.231.920
1	Titulador potenciométrico automático	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	SI ANALYTICS	\$ 33.588.000	\$ 15.660.000
		ARQUILAB	SI ANALYTICS	\$ 29.388.750	
		ANDIA SAS	HACH	\$ 13.500.000	
1	Titulador potenciométrico	TQ LABORATORIOS	N.A	\$ 5.753.424	\$ 6.673.972
1	Electrodo Plata-Cloruro	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	ELECTRODO SENTIX ORP	\$ 950.000	\$ 1.102.000
1	Agitador magnético (Con calentamiento)	QUIMICOS FG	BOECO	\$ 1.750.000	\$ 2.030.000
		TQ LABORATORIOS	N.A	\$ 1.260.273	
1	Agitador magnético (Sin calentamiento)	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	HEIDOLPH	\$ 3.070.000	\$ 872.320
		ARQUILAB	VELP	\$ 752.000	
2	Barra de agitación magnética PTFE	QUIMICOS FG	BOECO	\$ 8.000	\$ 18.560
3	Tubo de ensayo (250 mL)	ARQUILAB	DURAN	\$ 13.650	\$ 47.502
1	Homogeneizador (Con set de herramientas)	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	KINEMATICA	\$ 23.062.900	\$ 26.752.964
1	Homogeneizador (Sin herramientas)	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	KINEMATICA	\$ 9.580.000	\$ 6.537.760
		TQ LABORATORIOS	N.A	\$ 4.273.972	
		ARQUILAB	LBPRO	\$ 5.636.000	
		ANDIA SAS	SCIOGEX	\$ 4.071.000	
1	Horno	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	BINDER	\$ 8.401.500	\$ 9.517.800
		ARQUILAB	BINDER	\$ 8.205.000	
1	Papel filtro Grado 41 (100 unidades)	QUIMICOS FG	BOECO	\$ 65.000	\$ 75.400
		DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	WHATMAN	\$ 200.000	
		TQ LABORATORIOS	N.A	\$ 222.465	
1	Cronógrafo	TQ LABORATORIOS	N.A	\$ 115.068	\$ 133.479

Existen varias opciones según los proveedores cotizados y el tipo de instrumentación a utilizar, se encuentra el titulador potenciométrico automático, que reduciría tiempos, aumentaría la precisión de las medidas y los resultados, y por otra parte se podría adquirir lo mínimo para realizar la titulación manual o convencional, también se cuenta con un homogeneizador de muestras con paquete completo de repuestos y distintas presentaciones para diferentes trabajos y, por otro lado, se tiene el mismo equipo pero sin herramientas, por tanto, habría que invertir otro porcentaje de presupuesto para adquirirlas. En la tabla 20 y 21, se resume los costos de inversión para las distintas posibilidades, con IVA incluido.

**Tabla 20.** Oferta con titulador automático y homogeneizador full set.

CANT.	EQUIPOS	PROVEEDOR	MARCA	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
3	Extractores Soxhlet	ARQUILAB	FINETECH	\$ 4.910.000	\$ 4.910.000
	Refrigerante S/Hopkins	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	N.A	\$ 354.000	\$ 1.062.000
1	Titulador potenciométrico automático	ANDIA SAS	HACH	\$ 13.500.000	\$ 13.500.000
3	Tubo de ensayo (250 mL)	ARQUILAB	DURAN	\$ 13.650	\$ 40.950
1	Homogeneizador (Con set de herramientas)	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	KINEMATICA	\$ 23.062.900	\$ 23.062.900
1	Horno	ARQUILAB	BINDER	\$ 8.205.000	\$ 8.205.000
1	Papel filtro Grado 41 (100 unidades)	QUIMICOS FG	BOECO	\$ 65.000	\$ 65.000
1	Cronógrafo	TQ LABORATORIOS	N.A	\$ 115.068	\$ 115.068
<b>Costo total</b>					\$ 50.960.918
<b>Costo total (+ IVA 16 %)</b>					\$ 59.114.665
<b>Imprevistos (+ 10 %)</b>					\$ 5.911.466
<b>Costo total de inversión</b>					<b>\$ 65.026.131</b>

**Tabla 21.** Oferta con titulador convencional y homogeneizador full set.

CANT.	EQUIPOS	PROVEEDOR	MARCA	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
3	Extractores Soxhlet	ARQUILAB	FINETECH	\$ 4.910.000	\$ 4.910.000
	Refrigerante S/Hopkins	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	N.A	\$ 354.000	\$ 1.062.000
1	Titulador potenciométrico	TQ LABORATORIOS	N.A	\$ 5.753.424	\$ 5.753.424
1	Electrodo Plata-Cloruro	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	ELECTRODO SENTIX ORP	\$ 950.000	\$ 950.000
1	Agitador magnético (Sin calentamiento)	ARQUILAB	VELP	\$ 752.000	\$ 752.000
2	Barra de agitación magnética PTFE	QUIMICOS FG	BOECO	\$ 8.000	\$ 16.000
3	Tubo de ensayo (250 mL)	ARQUILAB	DURAN	\$ 13.650	\$ 40.950
1	Homogeneizador (Con set de herramientas)	DQC-Dotaciones Quimico Clinicas SAS	KINEMATICA	\$ 23.062.900	\$ 23.062.900
1	Horno	ARQUILAB	BINDER	\$ 8.205.000	\$ 8.205.000
1	Papel filtro Grado 41 (100 unidades)	QUIMICOS FG	BOECO	\$ 65.000	\$ 65.000
1	Cronógrafo	TQ LABORATORIOS	N.A	\$ 115.068	\$ 115.068
<b>Costo total</b>					\$ 44.932.342
<b>Costo total (+ IVA 16 %)</b>					\$ 52.121.517
<b>Imprevistos (+ 10 %)</b>					\$ 5.212.152
<b>Costo total de inversión</b>					\$ 57.333.668

También se consultó dos proveedores y fabricantes internacionales que, distribuyen la instrumentación necesaria del equipo principal con las especificaciones de la norma ASTM D6470 que se resumen en la tabla 22, con sus respectivos costos asociados y el costo de inversión total si se accede a ellos.

**Tabla 22.** Oferta de equipos de proveedores internacionales y los costos de inversión asociados.

#	EQUIPOS	INCLUYE	PAÍS	PROVEEDOR	VALOR	DIVISA	PESOS
1	Set completo para ASTM D6470	Apoyador	China	Chongqing gold mechanical & electrical equipment co., Ltd	USD 3.610	\$ 2.900	\$ 10.469.000
		Caja de control eléctrica					
		Equipo de extracción					
		Tubo de ensayo					
		Horno de ajuste de temperatura constante					
		Contenedor de vidrio					
		Cable de potencia			Dólares		
2	Set completo para ASTM D6470	Condensador tipo Hopkins	Holanda	Technoglass Lab	€ 918,6	\$ 3.200	\$ 2.939.520
		Flask de 500 mL					
		Cable de calentamiento					
		Tubo cardo					
		Tubo de ensayo					
		Control de potencia			Euros		
<b>COSTOS DE INVERSIÓN DE LOS EQUIPOS SIN INCLUIR LOS OFRECIDOS POR LOS PROVEEDORES INTERNACIONALES SEGÚN LA TABLA 21</b>							\$ 44.947.968
<b>COSTO DE INVERSIÓN CON LA #1 (Incluye envío)</b>							\$ 55.416.968
<b>COSTO DE INVERSIÓN CON LA #1 (+ 20 % IMPUESTOS Y TRANSPORTE)</b>							\$ 66.500.362
<b>COSTO DE INVERSIÓN CON LA #2 (No incluye envío)</b>							\$ 47.887.488
<b>COSTO DE INVERSIÓN CON LA #2 (+ 20 % IMPUESTOS Y TRANSPORTE)</b>							\$ 57.464.986

Para la determinación de los costos totales, se tomará como referencia la propuesta dispuesta en la tabla 20 para los cálculos finales de este estudio, ya que, se cuenta con equipos sofisticados y modernizados para la optimización de los procesos.

### 5.2.3 Costos de operación

Los costos de operación se traducen en los costos asociados con la obtención de la materia prima, como también los costos de servicios de electricidad, agua o cualquier gasto extra inmerso, en este caso, los reactivos y materiales necesarios para desarrollar el método estándar. En la tabla 24, se encuentra, la información completa con la que se realizó el análisis de los precios en el apartado 5.1.5 y, en la cual se encuentran los diferentes precios de los distintos proveedores para los reactivos y químicos dispuestos en la norma ASTM, solo que esta vez se determinará los costos para funcionar durante un año, del cual se trabajarán 48 semanas, suponiendo como mínimo el análisis de 4 ensayos por semana, eso da un total de 192 ensayos al año.

Para determinar la cantidad de veces que se debería cotizar un reactivo, según el supuesto dado, dividimos este valor por el número de veces posibles que se encuentran en la tabla 16. La tabla 23, muestra la cantidad necesaria que deberá cotizarse para el funcionamiento del laboratorio durante un año para el supuesto de 192 ensayos durante ese tiempo.

**Tabla 23.** Cantidad requerida de reactivos para el funcionamiento del laboratorio durante un año.

Reactivos y materiales	#Número de Pruebas Posibles		#Número de veces a cotizar	
			Base de ensayos	192
Cloruro de sodio (mg)	16949,2		0,0	
Agua		4,6		41,8
Sln. De Cloruro de Sodio		50,0		3,8
Xileno		57,1		3,4
Etanol o Isopropil		100,0		1,9
Acetona		23,3		8,3
Ácido Nítrico		100,0		1,9
Ácido Clorhídrico		277,8		0,7
Sln. De Nitrato de plata (0,01 mol/L)		100		1,9
Sln. De Nitrato de plata (0,1 mol/L)		100		1,9

**Tabla 24.** Costos de los reactivos por adquisición para un año.

Producto	Proveedor	Cap.	Cant.	Marca	Valor	Valor total Proveedor seleccionado
Acetona	QUIMICOS F.G. SAS	2,5 L	1	SCHARLAU	\$ 110.000	\$ 1.350.000
	AVANTIKA	4 L	1	JT BAKER	\$ 175.700	
	TQ LABORATORIOS	1 L	1		\$ 63.287	
	ANNAR	2,5 L	1	SCHARLAU	\$ 99.000	
	ARQUILAB	5 L	9	MERCK	\$ 150.000	
	WACOL	4 L	1	JT BAKER	\$ 156.534	
Alcohol (95 % v/v de etanol)	QUIMICOS F.G. SAS	1 L	1	SCHARLAU	\$ 67.000	\$ 156.000
	TQ LABORATORIOS	1 L	1	N.A	\$ 56.575	
	ANNAR	2,5 L	2	SCHARLAU	\$ 78.000	
	ARQUILAB	5 L	1	MERCK	\$ 175.000	
	WACOL	4 L	1	JT BAKER	\$ 138.362	
Ácido clorhídrico	AVANTIKA	2,5 L	1	JT BAKER	\$ 122.000	\$ 108.696
	ANNAR	1 L	1	SCHARLAU	\$ 88.000	
	ARQUILAB	1 L	1	MERCK	\$ 48.400	
	WACOL	2,5 L	1	JT BAKER	\$ 108.696	
Ácido nítrico	AVANTIKA	1 L	2	JT BAKER	\$ 145.600	\$ 291.200
	TQ LABORATORIOS	1 L	1		\$ 71.232	
	ARQUILAB	2,5 L	1	MERCK	\$ 260.000	
Solución de nitrato de plata (0,1 mol/L)	TQ LABORATORIOS	500 mL	1		\$ 71.232	\$ 450.000
	ANNAR	1 L	2	SCHARLAU	\$ 225.000	
	ARQUILAB	1 L	1	MERCK	\$ 451.450	
Solución de nitrato de plata (0,01 mol/L)	TQ LABORATORIOS	500 mL	4		\$ 65.753	\$ 263.012
Cloruro de sodio	QUIMICOS F.G. SAS	1 Kg	1	SCHARLAU	\$ 60.000	\$ 45.000
	TQ LABORATORIOS	1 Kg	1		\$ 66.164	
	ANNAR	1 Kg	1	SCHARLAU	\$ 45.000	
	ARQUILAB	1 Kg	1	MERCK	\$ 45.350	
	WACOL	1 Kg	1	JT BAKER	\$ 56.490	
Xileno	QUIMICOS F.G. SAS	1 L	1	APPLICHEM	\$ 122.000	\$ 816.000
	AVANTIKA	4 L	4	JT BAKER	\$ 204.000	
	TQ LABORATORIOS	1 L	1		\$ 116.986	
	ARQUILAB	2,5 L	1	MERCK	\$ 343.650	
	WACOL	4 L	1	JT BAKER	\$ 176.050	

**Tabla 25.** Costos de operación por adquisición de reactivos por un año.

<b>COSTOS</b>	<b>VALOR EN PESOS</b>
<b>Costos de operación total</b>	\$ 3.479.908
<b>Costos de operación (+ IVA 16 %)</b>	\$ 4.036.693,3
<b>Imprevistos (+ 10 %)</b>	\$ 403.669,3
<b>Costos de operación neto</b>	\$ 4.440.362,6

Como costos de operación según la necesidad de adquisición de los reactivos para el desarrollo del método estándar para llevar a cabo el ensayo de muestreo, se obtuvo un costo de operación de operación neto de \$ 4.440.362,6 y, si le añadimos un 20 % por concepto de gastos de servicios, obtenemos un costo de operación de aproximadamente \$ 5.330.000 pesos.

#### 5.2.4 Costos totales

Finalmente, como costos totales, se obtiene de la suma total de los costos de inversión más los costos de operación. Para el estudio en cuestión se obtuvo como costo total del proyecto el resultado basado en la tabla 25, el costo de inversión fue tomado de los cálculos realizados en la tabla 20. Las cifras han sido aproximadas al millón mayor.

**Tabla 26.** Costos totales del proyecto.

<b>COSTOS</b>	<b>VALOR EN PESOS</b>
<b>Costos de Inversión</b>	\$ 66.000.000
<b>Costos de Operación</b>	\$ 6.000.000
<b>Costos totales del proyecto</b>	\$ 72.000.000

#### 5.2.4 Sostenibilidad del proyecto

La sostenibilidad de un proyecto, como indica la definición propia de la palabra, nos habla de las formas en las que el proyecto puede en cierto punto, tener la capacidad de sostenerse, es decir, mantenerse a través del tiempo, en todo lo relacionado a sus operaciones, en su ambiente financiero, que potencien y perdure los servicios ofrecidos, en conjunto con el beneficio obtenido por el desarrollo de la actividad.

No se puede predecir el futuro con exactitud pero, si es posible crear escenarios en los que se pueda dar una estimación de lo que pasaría, si se ingresa diferentes variables con el fin de observar el comportamiento y como estas afectan, la rentabilidad o solvencia del proyecto. Sin embargo, siempre será necesario que, el proyecto sea siempre, factible, viable y, que además sea atractivo para los posibles clientes. Por lo tanto, en mi opinión, si se desea ser sostenible en el tiempo, lo mejor es conocer y estar actualizado acerca del mercado, conocer las necesidades del cliente y en base a esto, mejorar la oferta del servicio.

Por otra parte, el proyecto también tiene la funcionalidad como herramienta, de acercar a la academia por medio de la universidad, con el fin de, reducir la brecha entre la parte teórica y la práctica, fortaleciendo el portafolio de servicios de la Escuela de Ingeniería de petróleo, generando nuevas prácticas y conocimientos, que de ser positivo el impacto, mantendrá el proyecto y el servicio de manera rentable, operativa y eficaz.

## 5.2.5 Indicadores de evaluación financiera

Los indicadores de evaluación financiera, terminan por ubicar el proyecto entre las posibilidades de si es atractivo o no, determinando si la inversión propuesta del servicio será económicamente rentable. Para el estudio de prefactibilidad en cuestión, se utilizaron los siguientes indicadores financieros:

- VPN: valor presente neto
- TMAR: conocido como tasa mínima aceptable de rendimiento.
- TIR: conocido como tasa interna de retorno o rendimiento. Depreciación y amortizaciones

Para la metodología siguiente se supone un período de estudio de 5 años, siendo el período cero como el tiempo en el que se realiza la inversión inicial del proyecto, Para el cálculo y el uso de los indicadores financieros se tomará en cuenta solamente los costos directos o de activos fijos, dado que, son los que se disponen a largo plazo, \$ 66.000.000 de pesos (costos totales a excepción de los costos de operación). Se considera una ganancia neta por número de ensayos al año, obtenida de multiplicar el supuesto de 192 ensayos al año y un valor promedio del apartado 5.1.5, en el que se determinó el precio por ensayo de \$ 135.000 por muestra analizada, esto da una utilidad neta al año de \$ 25.920.000 pesos.

### 5.2.5.1 TMAR

La tasa mínima aceptable de rendimiento, es un factor muy importante a la hora de determinar la viabilidad de un proyecto, en primer lugar, porque determina el riesgo inherente a la actividad y en base a este, el inversionista puede determinar un porcentaje de recuperación, que considera es aceptable para los intereses económicos y de las ganancias que se esperan por la actividad.

Por tanto, esta tasa deberá ser siempre mayor al de la inflación, con el fin de, incrementar el valor del dinero invertido, más un porcentaje de riesgo. La tasa de riesgo depende del mercado al que se desea ingresar, si es un mercado accesible, en crecimiento, sin mucha competencia fuerte, el riesgo será muy bajo, en un orden de 3-5 %, en caso contrario, mercados de difícil acceso con competidores fuertes, el riesgo será mayor y las ganancias esperadas por el rendimiento también<sup>37</sup>.

Como se analizó en el estudio de mercado, resulta ser un mercado accesible, se cuenta con la tecnología disponible con proveedores de calidad, la competencia aunque es fuerte no es excesiva, puesto que, son muy pocos los laboratorios acreditados en el país, el riesgo inherente a la actividad puede ser menor, por lo tanto, es posible obtener buenas ganancias en el período de tiempo analizado, para una TMAR entre 15-25 %, como se verá en el siguiente apartado, VPN.

### 5.2.5.2 VPN

El valor presente simplemente significa traer del futuro al presente cantidades monetarias a su valor equivalente. En términos formales de evaluación económica, cuando se trasladan cantidades del presente al futuro se dice que se utiliza una tasa de interés, pero cuando se trasladan cantidades del futuro al presente, como en el cálculo del VPN, se dice que se utiliza una tasa de descuento<sup>38</sup>.

La siguiente ecuación, representa el cálculo del VPN, utilizando los flujos netos por período, llevándolos del futuro a valor presente, a una tasa que corresponde a la TMAR:

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \dots \text{(Ec. 1)}$$

<sup>37</sup> BACA URBINA, Gabriel. Fundamentos de ingeniería económica 4ta ed. México D.F: McGraw-Hill/interamericana editores, S.A. DE C.V. 2007. p. 87

<sup>38</sup> *Ibíd.*, p. 89

Donde:

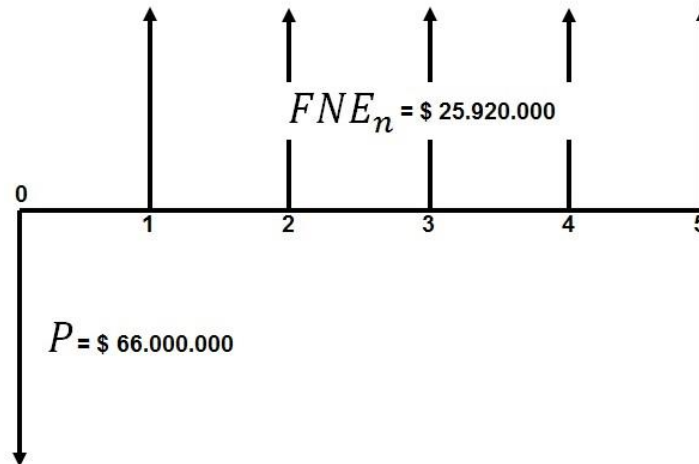
$FNE_n$ : Flujo neto de efectivo en el período  $n$ , ganancia neta después de impuestos.

$P$ : Inversión inicial en el año cero.

$i$ : TMAR, tasa mínima aceptable de rendimiento.

La figura 19, representa el diagrama de flujo de efectivo, para el estudio en cuestión, se asumió un ingreso constante por periodos de un año, sin embargo, esto es solo una suposición, en la realidad, los ingresos por año pueden variar y hasta en algún punto, puede representar un periodo negativo. Además, depende obligatoriamente del número de servicios prestados o muestras analizadas.

**Figura 19.** Diagrama de flujo de efectivo para el proyecto de inversión en 5 años.



Para el cálculo del VPN podemos seguir un principio básico para saber si es conveniente o no invertir en el proyecto, se suponen valores de TMAR, se calcula VPN y se establece lo siguiente:

- Si  $VPN = 0$ , esto significa que a esa tasa mínima es posible o no, a decisión del inversionista si desea invertir en el proyecto.
- Si  $VPN > 0$ , se dice que el proyecto genera ingresos por encima de la tasa de rendimiento.
- Si  $VPN < 0$ , se invertiría a pérdida, no se estaría ganando la tasa mínima de rendimiento esperada.

**Tabla 27.** Cálculo del VPN según TMAR.

TMAR	VPN
<b>5,0%</b>	\$ 46.220.035
<b>10,0%</b>	\$ 32.257.193
<b>15,0%</b>	\$ 20.887.860
<b>20,0%</b>	\$ 11.516.667
<b>25,0%</b>	\$ 3.706.138
<b>30,0%</b>	\$ - 2.870.032

Como se puede apreciar en la tabla 27, para una tasa de rendimiento mínimo mayor a 25 %, se obtiene un VPN negativo, lo que probablemente signifique, que lo mejor no sea invertir en el proyecto. En cambio, para una tasa mínima aceptable menor al 25 % se obtiene resultados positivos y resulta atractivo invertir. Dado que, el riesgo en el mercado, no resulta ser grande, es posible afirmar que, una TMAR entre 15 y 20 %, sería ideal para la rentabilidad del proyecto.

### 5.2.5.3 TIR

La TIR, tasa de interna de rendimiento o retorno, no es más que, la tasa representativa de una ganancia por periodos, ya sea, por año, que adquiere el inversionista, y que se supone está siendo reinvertida dentro de la empresa o laboratorio. La TIR, garantiza que el VPN, sea igual a cero, por lo tanto, también es preciso decir que, el valor de la TIR es la tasa de descuento que hace que los valores de las ganancias por periodos traídos a valor presente, sean igual a la inversión inicial.

Dicho esto, podremos calcular la TIR tomando la ecuación de VPN (Ec. 1) e igualándola a cero, y por medio de métodos numéricos, como el de bisección, software o calculadora, determinar el valor de la tasa o también tantear y estimar un rango cercano.

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \dots \text{(Ec. 2)}$$

Reemplazando tenemos:

$$0 = -66.000.000 + \frac{25.920.000}{(1+i)^1} + \frac{25.920.000}{(1+i)^2} + \frac{25.920.000}{(1+i)^3} + \frac{25.920.000}{(1+i)^4} + \frac{25.920.000}{(1+i)^5}$$

El valor de la TIR que hace cero el valor del VPN es 0,277145586 o 27,7 %, sin considerar el valor de la inflación y con unas ganancias anuales constantes. Dado que la TIR, es mucho mayor que la TMAR, significa que el rendimiento del laboratorio o empresa, es mayor al rendimiento mínimo esperado, por tanto, la inversión resulta económicamente rentable.

### 5.2.6 Conclusiones del estudio financiero

El estudio financiero, se conformó por dos partes importantes, el análisis de mercado y el análisis de costos, estos brindan una idea general del entorno en el que entra en juego la posible puesta en marcha del proyecto, si es posible contar con la tecnología adecuada para llevar a cabo el método estándar, los reactivos y materiales necesarios para la aplicación del mismo y análisis de cada muestra, lo que se traduce en contar con los proveedores que puedan suministrar los insumos para la continua y óptima operación del laboratorio, rentabilidad del servicio, documentación de costos, visión y proyección financiera.

Lo anterior, desencadena un número considerable de análisis que son necesarios realizar para ubicar el proyecto o la prestación del servicio de laboratorio en el mercado.

Los siguientes puntos resumen los resultados del estudio financiero relacionado a la aplicación del método estándar ASTM D6470:

- Se reconoce que existe un mercado al que puede ingresarse, debido a que, la prestación del servicio es para las empresas y entidades interesadas una actividad básica en sus operaciones u actividades, con el fin de, controlar el parámetro a ensayar.
- Se cuenta con los proveedores, intermediarios importantes para obtener la instrumentación, equipos, reactivos y materiales necesarios para el desarrollo y abastecimiento del método estándar.
- Hay varios clientes potenciales interesados en adquirir el servicio de determinación del contenido de sal, lo que genera una demanda importante y que puede traducirse en ingresos.

- La oferta en el mercado, en gran parte, sienta los precios a establecer, pero en el análisis global, es necesario tener en cuenta, los costos que genera la prestación del servicio de ensayo en el laboratorio, además de los precios ya existentes en el mercado por parte de la competencia que también ofrece el mismo servicio.
- Existe una dificultad recientemente para obtener el reactivo Nitrato de bario, muchos de los proveedores e intermediarios en el país han estado dejando de importar el producto por cuestiones de vencimiento de licencias y control de químicos, por lo tanto, se encuentra limitada su obtención. Debido a lo anterior, no fue incluido en los costos, sin embargo, si fue incluido en la determinación de la capacidad del laboratorio y como requisito para llevar a cabo la prueba de ensayo. Scientific Products ofrece Nitrato de bario, en presentación de 500 g por valor unitario de \$ 370.000, sin IVA incluido.
- Se determinó un rango para el establecimiento de precios según los costos operativos que se incurren con la obtención de los reactivos y materiales necesarios. Un rango de \$ 130.000 a \$ 140.000 pesos, el cual encaja no solo con la inversión realizada, sino también, con los precios disponibles en la oferta del servicio por otros laboratorios que hacen parte de la competencia.
- Se determinó, gracias a indicadores financieros para la evaluación económica de proyectos (TMAR, VPN y TIR), la rentabilidad y la viabilidad económica para llevar a cabo el proyecto, con cierto grado de riesgo que se incurre con la entrada al mercado y los costos de inversión asociados a los activos fijos (equipos), para la oferta del servicio y la implementación del método estándar ASTM D6470.
- Donde se hable de extractor tipo soxhlet, resulta ser el homólogo más cercano al aparato de extracción detallado en la norma, sin embargo, la vidriería conforme a la ASTM D6470 se puede obtener por uno de los proveedores internacionales, Wilmad-LabGlass y, AMK Glass, inc., por un valor cercano a los dos millones de pesos incluyendo impuestos, por un solo set que incluye, el matraz de ebullición, el embudo cardo y el condensador tipo Hopkins.

## 6. SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD BASADO EN LA NTC-ISO/IEC 17025

En una economía impulsada cada vez más por la creación de: desde las micro, hasta de medianas y grandes empresas, en conjunto con el dinamismo global por la incursión de nuevas tecnologías, fluctuaciones en la moneda debido a la oferta y demanda de divisas en relación con las importaciones y exportaciones dentro del país, la inversión extranjera, crecimiento de los diferentes sectores industriales y demás, que influyen en los diferentes factores económicos del país. Lo que se busca es que cada organización sustente y demuestre que la capacidad y gestión en cada una de sus operaciones son de calidad.

Debido a lo anterior, la generación de empresas propicia un escenario desde un punto de vista social, en el que se crean nuevos empleos, disminuyendo la tasa de desempleo, y en cuestión de mercado, aumenta la competencia leal de las mismas. Lo que lleva consigo para cada parte involucrada, como las empresas, a mejorar y optimizar sus procesos para conseguir una garantía en que la relación servicio-cliente sea satisfactoria, lo cual se puede conseguir por medio de acreditaciones y cumplimiento mínimo de requisitos de calidad. En el caso de Colombia, ICONTEC es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993, el cual se encarga de redactar, publicar y supervisar, con la ayuda de diferentes gremios involucrados en el proceso de normalización técnica.

En los siguientes puntos del presente estudio de prefactibilidad para la aplicación de la prueba/ensayo estandarizada ASTM-D6470, se presentan los controles requeridos para la acreditación en calidad en base a la Norma NTC-ISO/IEC 17025.

## **6.1 ANTECEDENTES**

La actual NTC-ISO/IEC 17025 tuvo su primera actualización en el año 2005, la cual afianzo las bases de la primera publicación de la edición de 1999, con el aporte y modificación de apartados que fueron necesarios con la implementación de la Norma ISO 9001:2000, dado que, la primera edición hacía referencia a las Normas ISO 9001:1994 e ISO 9002:1994, y estas fueron reemplazadas por la anterior Norma mencionada.

La NTC-ISO/IEC 17025 surgió gracias a la integración de la Norma ISO/IEC 25 que fue publicada en 1978 y revisada posteriormente en 1990 y la Norma Europea EN 45001 (UNE, 1991), la primera conlleva los requerimientos para la competencia de laboratorios de muestreo y calibración, y la segunda los criterios generales para el funcionamiento de los laboratorios de ensayo respectivamente.

## **6.2 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA ISO/IEC 17025:2005**

Como expresa la Norma<sup>39</sup>: contiene todos los requisitos que tienen que cumplir los laboratorios de ensayo y de calibración si desean demostrar que poseen un sistema de gestión, son técnicamente competentes y son capaces de generar resultados técnicamente válidos.

La implementación de la ISO/IEC 17025 concedió un mayor margen en las posibilidades de que cualquier laboratorio pudiera acceder a desarrollar, planear y ejecutar su sistema de calidad que conllevará a una gestión y mejora continua de sus procesos que se adaptarán a sus objetivos y misión de acuerdo a los puntos de la Norma.

---

<sup>39</sup> ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025. Bogotá, 2005.

Dado que, esta norma internacional se encuentra basada en muchos aspectos con la Norma ISO 9001, la cual hace referencia a todo el sistema de gestión de calidad involucrado, en que las organizaciones desean estratégicamente implementar para aumentar su desempeño global, proporcionando bienes y servicios que satisfagan las obligaciones con los clientes y aquellas de tipo legal y reglamentarias que apliquen. Los laboratorios de ensayo y calibración que cumplan con las normativas internacional dispuestas en la NTC-ISO/IEC 17025 funcionarán, por lo tanto, también de acuerdo con la Norma ISO 9001(2015), que tuvo su más reciente actualización el año anterior.

### **6.3 ASPECTOS DESTACADOS**

En cuanto al campo de aplicación la Norma NTC-ISO/IEC 17025 resalta y amplía el objeto de las Normas en las cuales se basó. Abarcando aquellos laboratorios los cuales realicen: ensayos y calibraciones de acuerdo a métodos estandarizados, no estandarizados y hasta aquellos que impulsan métodos propiamente desarrollados por el laboratorio. Además, aquellos laboratorios que deseen acreditarse de acuerdo a esta Norma internacional, según su actividad, podrá o no prescindir de algunos puntos o cláusulas descritos en la norma para los cuales no aplique.

Con respecto a la relación entre la ISO 9001, la NTC ISO/IEC 17025 presenta un enfoque más específico a la competencia y capacidad técnica de los laboratorios de ensayo y calibración, entre ambas Normas, los aspectos que se diferencian son<sup>40</sup>:

- Requisitos de ambiente y plantel físico en donde se realizan los ensayos y calibraciones.
- Requisitos con mayor alcance específico para evaluar, identificar y definir metodologías para asegurar consistencia del ensayo y/o calibración.

---

<sup>40</sup> PALOMINO ESTUPIÑÁN, Álvaro. Lineamientos básicos para iniciar la implementación de un sistema de gestión de calidad de acuerdo a la Norma ISO 17025 en los laboratorios de la escuela de geología UIS. Bucaramanga, 2005. Trabajo de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas.

- Requisitos específicos para mantener, manipular y almacenar las muestras.
- Designar personal técnico y gerencia competente en temas de calidad.
- Aspectos de organización, sanidad y limpieza.
- Medida y trazabilidad a patrones de calibración reconocidos y extender a medida, pruebas y ensayos según sea apropiado.
- Registros de los aspectos previamente indicados.

## **6.4 REQUISITOS PARA LA ACREDITACIÓN EN CALIDAD**

La adopción de un sistema de gestión de la calidad es una decisión estratégica de la organización. El diseño e implementación del sistema de gestión de la calidad de una organización están influenciados por diferentes necesidades, objetivos particulares, los productos suministrados, los procesos empleados, el tamaño y estructura de la organización<sup>41</sup>.

La Norma en el capítulo 4 y 5 nos presenta el conjunto de disposiciones que el laboratorio debe cumplir para entrar a competir con el desarrollo e implementación de un sistema de gestión de calidad, que cumpla con los requisitos de gestión y los requisitos técnicos, allí dispuestos. Los cuales se encuentran agrupados en 25 secciones. Los 15 primeros puntos, se encuentran los requisitos relativos a la gestión, los cuales mantiene el enfoque de la Norma ISO 9001. Las otras 10 secciones, tienen el enfoque técnico, vital para demostrar la competencia técnica y confirmar la validez de los resultados reproducidos.

---

<sup>41</sup> PARRA GAVARIA, Deiby Andrés y POPÓ ALBARRACÍN, Oscar Javier. Documentación de la Norma técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025 en el laboratorio de metrología topográfica en la Universidad del Quindío. Pereira, 2010. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de ingeniería industrial.

Los requisitos dispuestos en la Norma deben ser de total cumplimiento, siempre y cuando estén implícitos en el desarrollo de las actividades que realice el laboratorio, para obtener la competencia y sostenibilidad, que garantice un sistema de gestión basado en las actividades relacionadas a la calidad, administración y la parte técnica, para que pueda ser reconocido por parte de los clientes, entes certificadores o autoridades reglamentarias, como laboratorio cualificado para ejecutar o prestar sus servicios.

#### 6.4.1 Condiciones relacionadas a la gestión

- **Organización:** en este apartado se destaca la importancia y el papel que debe cumplir el laboratorio como entidad, y por tal motivo, debe asumir sus responsabilidades legales que conlleva el desarrollo de sus actividades, es por esto mismo que, el sistema de gestión deberá abarcar el trabajo o servicio que se lleve a cabo en cualquiera de las instalaciones del laboratorio, ya sean, permanentes o temporales.

Otro punto es acerca de las disposiciones de la organización, si el laboratorio hace parte de una organización mayor u otra índole, se aclara que es necesario asegurar que no exista conflicto de intereses entre interdependencias que impidan o influyan en el cumplimiento y desarrollo de la Norma y el sistema de gestión.

Además, se menciona las tareas que debe llevar a cabo el laboratorio para definir y aclarar, el rol de las responsabilidades, funciones y supervisión de las actividades, de igual forma de los controles y políticas necesarias para la implementación, desarrollo y mantenimiento del sistema de gestión.

- **Sistema de gestión:** el sistema de gestión apropiado hace parte fundamental en la consecución de la calidad de cada uno de los procesos que realice el laboratorio. Por esto, el laboratorio debe documentar sus políticas, sistemas, programas, procedimientos e instrucciones tanto como sea necesario para asegurar la calidad de los resultados de los ensayos y/o calibraciones<sup>42</sup>. Es de vital importancia que todo registro dispuesto para el sistema de gestión sea compartido, socializado e implementado por cada parte pertinente dentro de la organización.

Por lo anterior, es requisito indispensable que el laboratorio elabore y defina un 'manual de calidad', el cual incluya una declaración de la política de la calidad. La cual expresará las intenciones de la organización con el cumplimiento y busca de la calidad en el servicio, las buenas prácticas, el compromiso con el mejoramiento continuo y la retroalimentación en el sistema de gestión, para satisfacer las necesidades de los clientes.

- **Control de los documentos:** cada uno de los documentos generados o utilizados como fuente ajena al laboratorio, ya sea, normas o estándares, que hacen parte del sistema de gestión, deberán llevar un registro, revisión y aprobación, por un personal asignado que supervise cada una de esas tareas, para la consecuente emisión de los mismos. Lo anterior, con el fin de que el control permita al laboratorio estar al día con los requisitos, para asegurar la adecuación y cumplimiento, además de garantizar que los procesos y desarrollo de cada actividad relacionada al laboratorio funcionen de la mejor manera.
- **Revisión de los pedidos, ofertas y contratos:** en este punto se aclara que es importante que el laboratorio tenga elaborado políticas y procedimientos en lo concerniente al seguimiento de los contratos en cuestión a la prestación del servicio. Puesto que, en estos se detalla la estructura del servicio, las condiciones del laboratorio, métodos y equipos a usar, además de otros aspectos en materia legal, financieros y la programación de los tiempos, que

---

<sup>42</sup> ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025. Bogotá, 2005. p. 4.

cumpla con las necesidades del cliente y que coincida con las capacidades del laboratorio para llegar a un acuerdo.

Por último toda revisión deberá ser registrada, incluyendo cualquier modificación, y las consultas con los clientes o con los resultados del pedido durante la puesta en marcha del contrato.

- **Subcontratación de ensayos y calibraciones:** si el laboratorio necesita o hace parte de sus operaciones o actividad, la subcontratación de otras entidades, o que exista convenios de cooperación entre laboratorios, estos deben haber sido seleccionados dado que cumplen con la competencia mínima que garantiza la calidad en sus procesos. Debe existir una aprobación por parte del cliente, además de que el laboratorio se hace responsable por el trabajo que realice el subcontratista y lleve a cabo el debido registro de los subcontratistas para los ensayos.
- **Compras de servicios y de suministros:** el laboratorio deberá tener una política y procedimientos para la selección y la compra de los servicios y suministros que utiliza y que afectan a la calidad de los ensayos y/o de las calibraciones<sup>43</sup>. En efecto, el laboratorio deberá evaluar las mejores opciones entre proveedores y tener registro de las valoraciones pertinentes en cuestión de los suministros, reactivos o materiales requeridos por el laboratorio y que cumplan las especificaciones técnicas para la aplicación de los métodos estandarizados.
- **Servicio al cliente:** se establece, que el laboratorio mantenga contacto con los clientes, favoreciendo la comunicación y seguimiento a los intereses y necesidades dispuestos en el establecimiento del contrato entre las partes, con el fin de evaluar el desempeño del laboratorio y en procura de obtener

---

<sup>43</sup> ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025. Bogotá, 2005. p. 8.

una impresión de parte del cliente, para así, poder analizar esa información y ayudar al proceso de mejora continua del sistema de gestión.

- **Quejas:** al igual que la mayoría de los procesos requieren una disposición de una política y procedimientos, en este caso, para la recepción de no conformidades. Se deberá mantener registros de estas quejas con el fin de poner en marcha acciones correctivas o mejorarlas para evitar que estas se presenten.
- **Control de trabajos de ensayos o de calibraciones no conformes:** cuando los resultados de algún servicio, no son conforme o ajustan a los procedimientos implementados por el laboratorio o con los requisitos del cliente. El laboratorio debe asegurar que, se implemente las acciones correctivas inmediatas por el grupo asignado de la organización con la responsabilidad de atender ese tipo de casos. Evaluar, actuar, notificar y reanudar, para la mejora continua del sistema de gestión y poder cumplir las expectativas de los clientes.
- **Mejora:** el desarrollo e implementación del sistema de gestión, requiere que cada uno de los procesos involucrados que lleve a cabo la organización, sean continuamente mejorados, y esto solo es posible, por medio de la aplicación de la política de calidad, objetivos incluidos en el manual de calidad, además del análisis de todas las revisiones o auditorías tanto externas como internas, las acciones preventivas y correctivas, y la revisión pertinente de lo anterior hecha por la dirección del laboratorio.
- **Acciones correctivas:** como se mencionó anteriormente, la organización debe actuar inmediatamente en cuanto se presente una situación en la cual se ponga en duda el correcto funcionamiento de los procesos y/o aplicación de los requisitos de esta norma, que afecten directamente al sistema de gestión. Es por ello que, ante cualquier desvío, se debe procurar realizar el respectivo análisis de las causas, estudiar, seleccionar e implementar las respectivas acciones correctivas y realizar su seguimiento.

- **Acciones preventivas:** se deben incluir acá, todo plan de mejora que sea necesario llevar a cabo para reducir o evitar las posibles fuentes que originan no conformidades, ya sea, tanto técnicas como relacionadas al sistema de gestión, hacer un respectivo seguimiento al desarrollo e implementación de las mismas para asegurar que sean eficaces.
- **Control de los registros:** el laboratorio debe establecer y mantener procedimientos para la identificación, recopilación, codificación, acceso, archivo, almacenamiento, mantenimiento y disposición de los registros de calidad y técnicos. Los registros de la calidad deben incluir los informes de las auditorías internas y de las revisiones por la dirección, así como los registros de las acciones correctivas y preventivas<sup>44</sup>.
- **Auditorías internas:** con el fin de verificar si las actividades de la organización cumplen aún con el sistema de gestión y la Norma descrita, las auditorías internas deben llevarse periódicamente, por aquel personal que tenga inherencia en asuntos directos con la calidad. Es conveniente que la duración de esa revisión interna sea completada en un período de un año.
- **Revisiones por la dirección:** por último, se menciona los diferentes elementos a tener en cuenta por la organización, para que la dirección pueda hacer el análisis y detalle de cada uno de los procesos, y como tal, del propio sistema de gestión y asegurar la eficacia de los mismos, procurando que estos sean lo más adecuados, con el fin de emplear los cambios o actualizaciones necesarias.

---

<sup>44</sup> ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025. Bogotá, 2005. p. 11.

#### 6.4.2 Condiciones relacionadas a los requerimientos técnicos

- **Generalidades:** en el presente capítulo de la Norma se describen los requisitos que debe cumplir el laboratorio para demostrar su competencia y sí es capaz de obtener exactitud y confiabilidad de resultados en los ensayos y/o calibraciones que realice. Muchos factores afectan el desarrollo del trabajo y la obtención de datos, entre estos, factores humanos, las instalaciones y condiciones de ambiente, métodos aplicados, equipos y muy importante, la trazabilidad de las mediciones.
- **Personal:** se aclara la responsabilidad importante del laboratorio de garantizar que se cuente con personal calificado, que tenga competencia y capacidad, para llevar a cabo todos los procedimientos asignados, ya sea, con el manejo de equipos, conocimiento de los métodos, la formación necesaria para aplicación de ensayos, entregar las interpretaciones o resultados pertinentes.

El laboratorio deberá llevar registro y supervisión del personal, con el fin de identificar perfiles de mejora, oportunidades de capacitación y que se trabaje de acuerdo al sistema de gestión implementado en el laboratorio.

- **Instalaciones y condiciones ambientales:** las instalaciones y las condiciones dentro del laboratorio deben garantizar que los resultados de los ensayos y/o calibraciones no se vean afectadas por estas, y por tanto, sean completamente descartadas. El laboratorio deberá tener control y registro de las condiciones requeridas por los métodos o normas internacionales a implementar, para evitar o controlar los factores que puedan comprometer la salida de datos como, la temperatura, humedad, polvo, ruido y vibración, entre otros.

- **Métodos de ensayo y de calibración y validación de los métodos:** los métodos que decida emplear el laboratorio para la prestación del servicio, deben ser debidamente certificados o aprobados por entidades internacionales o por organizaciones técnicas, actualizados, que cumplan con las necesidades y exigencias del cliente, que además haya sido validado por el mismo laboratorio, ya sean métodos desarrollados por el mismo laboratorio o no normalizados.

En los últimos casos el laboratorio deberá tener una estructura definida de cada método (sea desarrollado o no normalizado), y compartida con el cliente, para su posible acuerdo con los términos e implicaciones que el desarrollo de esos métodos tendrá durante el trabajo hasta la entrega de resultados.

Por tanto, ya sean métodos estandarizados o no, el laboratorio ha debido cumplir con la validación respectiva y haber registrado las estimaciones de la incertidumbre en las mediciones para todas las calibraciones y tipos de calibraciones, para que los resultados obtenidos sean acordes a lo esperado.

Por último, hacer el control de los datos pertinentes, su revisión y sistematización, ya sea, con el uso computadoras (software) o equipos automatizados, que almacenen y resguarden la información para su posterior transmisión y procesamiento.

- **Equipos:** el laboratorio debe estar provisto con todos los equipos para el muestreo, la medición y el ensayo, requeridos para la correcta ejecución de los ensayos y/o calibraciones (incluido el muestreo, la preparación de los ítems de ensayo y/o de calibración y el procesamiento y análisis de los datos de ensayo y/o calibración)<sup>45</sup>. Todo equipo usado para tal fin debe cumplir con los requisitos de esta Norma.

---

<sup>45</sup> ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025. Bogotá, 2005. p. 19.

Al igual que los métodos, cada equipo y software que sea dispuesto para el servicio, debe ser verificado para comprobar su desempeño o funcionalidad, para evitar resultados erróneos y fallas durante el muestreo o ensayo. Solo personal autorizado podrá operar cada máquina y además cada equipo y software, será registrado para su identificación e inventario. Por otra parte, el laboratorio hará las respectivas disposiciones para la manipulación, transporte, almacenamiento, uso y mantenimiento de los equipos para evitar daños y deterioro de los mismos.

- **Trazabilidad de las mediciones:** se destaca un punto muy importante, en que el laboratorio antes de poner en marcha sus servicios, cada equipo, ya sea, auxiliar o de apoyo, involucrado en el desarrollo de las actividades del laboratorio, y que afecte significativamente la exactitud o validez de los resultados de las pruebas de ensayo y/o calibraciones, deberá ser calibrado. Por ello, el laboratorio debe establecer un programa y un procedimiento para tal fin.

Lo anterior, debe asegurar que cada una de las actividades llevadas a cabo por el laboratorio, ya sea, de calibración o ensayo, sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI). La trazabilidad se extiende a cada uno de los patrones de medición o de referencia, equipos y materiales de referencia, usados por el laboratorio. La trazabilidad a un sistema internacional de medida, junto al cumplimiento de esta Norma, demuestra que el laboratorio es competente y garantiza calidad en sus resultados.

- **Muestreo:** es muy importante que el laboratorio cuente con un plan y procedimientos para el muestreo, debe incluir, los procesos por el cual se debe seleccionar, extraer y preparar la muestra, ya sea, según una norma específica para el ensayo, incluyendo los factores que pueden interferir o alterar las condiciones de ensayo y/o calibración, con el fin de asegurar la calidad de los resultados y su validez.

Además, los procedimientos de registro de la información de todo lo relacionado con el muestreo, datos, operaciones, condiciones ambientales, procedimiento de muestreo, diagramas, entre otros.

- **Manipulación de los ítems de ensayo o de calibración:** el laboratorio debe contar con procedimientos que abarque todo lo relacionado al transporte, recepción, manipulación, protección, almacenamiento, conservación y/o disposición final de los ítems de ensayo y/o calibración<sup>46</sup>.

Además, se debe contar con un sistema de registro o identificación, con el cual se pueda diferenciar y clasificar cada ítem con el que se trabaje dentro del laboratorio, por otro lado, para así reconocer que equipos requieren ciertas condiciones especiales en cuestión de espacio o si se cuenta con las instalaciones apropiadas, para evitar daños y deterioro de los mismos, ya sea, en su almacenamiento o uso continuo.

- **Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y de calibración:** para este apartado cabe destacar que el aseguramiento de la calidad depende de gran manera de los puntos anteriores, desde la implementación de los procedimientos en cada una de las fases, con la recepción de la muestra, hasta el producto final, que es la obtención de los resultados.

El seguimiento que debe realizar el laboratorio entre procesos, para cada una de las actividades llevadas a cabo por la organización, determinará la calidad de los datos obtenidos. Para ese fin, es necesario que esos datos puedan ser registrados, de manera tal que, la aplicación de técnicas, ya sean, estadísticas o de repetición de ensayos, permitan correlacionar los resultados para su validación.

---

<sup>46</sup> ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025. Bogotá, 2005. p. 24.

- **Informe de los resultados:** el resultado final de cada ensayo, calibración o conjunto de ellos, deberá ser definido de manera exacta, clara y objetiva, según los procedimientos de cada método utilizado por el laboratorio.

Por lo general, la forma de representar la información obtenida, se da a manera de informe o certificado, deben incluir toda la información requerida por el cliente y necesaria para la interpretación de resultados de ensayo y/o calibración, así como toda la información requerida por el método utilizado<sup>47</sup>.

Se incluye la estructura y contenido que debe contener cada informe de ensayo y/o certificado de calibración: un título, información del laboratorio, identificación única del informe o certificado (número de serie), datos del cliente, descripción del método utilizado, resultados, identificación de las personas que autorizan el informe, cualquier desviación durante el trabajo, opiniones e interpretaciones, entre otros.

---

<sup>47</sup> ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025. Bogotá, 2005. p. 25.

## 7. CONCLUSIONES

- El estudio de prefactibilidad brinda de manera estructurada, el análisis de varias fases en las que un proyecto es sometido para su evaluación. Desde la vista preliminar, la identificación del problema o necesidad, conocimiento y bases en los que se apoya, las razones por la que se propone el proyecto, mientras se detalla cada uno de los requisitos necesarios para llevar a cabo el proyecto en su parte técnica, económica y financiera, con el fin de, que este sea ubicado en un mercado al que se quiera acceder, para dar una opinión de si es viable o no y, de ser desfavorable empezar de nuevo y volver a formular los diferentes aspectos antes mencionados.
- Con el análisis técnico en el estudio, se determinó, la localización más idónea por el momento y el dimensionamiento del espacio requerido un área no mayor a 2m<sup>2</sup>, puesto que, las dimensiones de la unidad principal no sobrepasan el metro cuadrado (540mm×220mm×760mmaprox) para la disposición de los equipos que se encontraría en el Parque tecnológico Guatigará. Sin embargo, cabe resaltar que la escuela de ingeniería de petróleos, se encuentra modernizando sus áreas, donde también se pueden crear espacios óptimos para la ubicación de la instrumentación para el desarrollo del método estándar.
- Se identificaron especificaciones técnicas y de costos para equipos, reactivos y materiales permitiendo dimensionar su factibilidad y posibilitando la inclusión de este proyecto entre nuevas iniciativas de la escuela para prestar servicios bajo un protocolo estandarizado. Además, los laboratorios con los que se compete no usan este protocolo, sino el D3230.
- Existe un mercado accesible, en el cual se puede competir. La necesidad del servicio, por ejemplo, por parte de las compañías operadoras o de servicios, mantienen un mercado estable, debido a que siempre va a existir una demanda que atender.

- En estudio de la oferta, se constató que existe un número grande de empresas o laboratorios que prestan sus servicios de ensayos y análisis de muestras pero, muchos de ellos no cuentan con una acreditación de sus actividades, en especial en la parte de análisis de crudos y derivados. Por tanto, es necesario que en la inclusión hacia el mercado, el laboratorio pueda reunir los requisitos necesarios para acreditarse y demostrar calidad en sus procesos, de esta manera, poder atraer y llamar la atención de más clientes.
- Se determinó un precio ajustado, a ciertas consideraciones relacionadas a la parte operacional del proyecto y de la realización de ensayos por el método estándar, en cuestión se obtuvo un costo unitario de \$ 110.000 COP, es decir un 20 % más accesible que la oferta de otros laboratorios. Un precio que permite entrar a competir con otros laboratorios que también cuentan en sus portafolios de servicios la determinación del contenido de sal en el crudo, todos ellos por el método ASTM D3230.
- Se determinó en base a los costos totales, es decir, los costos de inversión y operación, la viabilidad económica del proyecto e indicadores financieros como la TMAR, VPN y TIR. Con una base de 192 ensayos al año, se obtuvo una ganancia por períodos de \$25.920.000, en un tiempo de 5 años. Para lo cual el proyecto resulta rentable para una  $TIR \leq 27 \%$ .

## **8. RECOMENDACIONES**

- Actualizar la información y disponibilidad de todo lo correspondiente a la instrumentación, equipos y reactivos, con los proveedores que ofrecen sus productos, para evitar imprevistos a la hora de requerir los insumos.
- Contactar otros proveedores, ya sean, internacionales o nacionales, para la obtención del equipo principal, que tiene que ver con el equipo de extracción y la vidriería relacionada a este, pues se encuentra muy limitada la obtención del mismo, en cambio se debió obtener referencias similares a los descritos en la prueba.
- Abarcar más la parte de costos, existen muchos costos asociados a cualquier actividad o proyecto, que en este estudio solo se limitó a la parte de activos fijos y costos operacionales.
- Establecer y determinar, un estudio de la parte de gestión y administrativa que acarreen cualquier proyecto o empresa para llevar a cabo las actividades operacionales e incluir los costos asociados a estos, en la parte de costos, para establecer un análisis más completo.
- Si es posible, abarcar más a fondo, el estudio de mercado al que se desea incurrir, la limitante principal, es que no existe información disponible, ya sean, datos históricos, sobre el mercado y de precios. Sería necesario encuestar empresas o clientes potenciales, además de los propios laboratorios en la competencia, para reunir mayor información y dar una mejor idea de cómo se encuentra el mercado del servicio de ensayo en el país.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ABDEL-AAL, H.K. y AGGOUR, Mohamed. Petroleum and gas field processing. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3230-13: Standard test methods for salts in crude oil (Electrometric method). United States: ASTM, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D4057-12: MPMS 8.1-Standard Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products. United States: ASTM, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D512-12: Standard test method for Chloride ion in water. United States: ASTM, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D6470-99 (Reapproved 2015): Standard test method for salt in crude oils (Potentiometric method). United States: ASTM, 2010.

APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid. 1992.

ARNORLD, Ken y STEWART, Maurice. Surface production operations: design of gas-handling systems and facilities. Vol. 2. Houston, Texas: Gulf publishing company.



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

BACA URBINA, Gabriel. Evaluación de proyectos 6ta Edición. México D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 2010.

EGLOFF, G., NELSON, E. F., MAXUTOV, C. D., y WIRTH, C. Desalting crude oils (SPE-938048-G). Oklahoma: SPE, 1938.

GARY, James H. y HANDWERK, Glenn E. Petroleum Refining Technology and Economics. Fourth Edition. New York: Marcel Dekker, Inc., 2001.

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025. Bogotá, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DE COLOMBIA. [Sitio web]. Bogotá: INM, Informe EDMIC I – Evaluación de resultados de la encuesta de demanda metrológica en la industria colombiana 2011. Disponible en: <http://www.inm.gov.co/images/contenidos/EstudiosSector/INFORME%20EDMIC%20I.pdf>

MANKIW, Gregory. Principios de Economía, 6ta Edición. México, D.F.: Cengage Learning Editores, 2012.

MARFISI, Shirley y SALAGER, Jean Louis. DESHIDRATACIÓN DE CRUDO: principios y tecnología. p. 33 En: [http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S853PP\\_Deshidratacion.pdf](http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S853PP_Deshidratacion.pdf)



MONTES PÁEZ, Erik Giovany. Tecnologías de tratamiento de emulsiones en campos petroleros. Bucaramanga, 2010. Trabajo para optar al título de Especialista en Producción de Hidrocarburos. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas.

O. MOHAMED, Abdel-Mohsen; EL GAMAL Maisa y Y. ZEKRI, Abdulrazag. Effect of salinity and temperature on water cut determination in oil reservoirs. En: ELSEVIER [En línea]. Journal of Petroleum Science and Engineering. Vol. 40, 3-4, p. 177-188. Disponible en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA. [Sitio web]. Bogotá: ONAC, Directorio oficial de acreditaciones. Disponible en: [www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=207](http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=207)

ORJUELA CÓRDOVA, Soledad y SANDOVAL MEDINA, Paulina. Guía del estudio de mercado para la evaluación de proyectos. Santiago, 2002. Seminario de Prueba (Ingeniero Comercial). Universidad de Chile. Facultad de ciencias económicas y administrativas.

SCHILLER, Bradley R. Principios de Economía. España S.L.: McGraw-Hill Interamericana, 2008.

WAUQUIER, J.-P. El refino del petróleo: petróleo crudo, productos petrolíferos, esquemas de fabricación. Ediciones Días de Santos, 2004.

ZEIDANI, K. y BAHADORI, A. Analysis of Crude oil Electrostatic Desalters Performance. Petroleum Society of Canada. Mayo 1, 2006.