

**Estudio de Prefactibilidad para Implementar Prueba de Laboratorio para Determinar el
Contenido de Azufre en Hidrocarburos Líquidos**

Cristian Daniel Gil Zapata

Wilmer Javier Sandoval Torres

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero de Petróleos

Director

César Augusto Pineda Gómez

MSc. en Ingeniería de Petróleos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

A Dios, por guiar cada uno de los pasos que he dado hasta el día de hoy, por acompañarme durante todas las etapas de mi vida, verme crecer, y por brindarme parte de su fortaleza para poder superar absolutamente todos los obstáculos que se me han presentado y lograr superar los momentos de desolación por los que alguna vez he pasado.

A mi madre, aquella persona que siempre se ha encargado de cuidarme, de protegerme, de procurar que en ningún momento me falte nada, de brindarme su amor incondicional y su sincera confianza.

A mi padre, la persona que desde pequeño ha intentado formar en mí una persona de bien y a la que agradezco ser la persona que soy ahora.

A mi nonita Marina, quien absolutamente en todo momento me ha brindado su apoyo y su amor absolutos.

A mi familia y amigos, por su confianza y sus buenos deseos.

A mi compañero Wilmer, quien más que compañero, ha sido mi amigo desde que inicié esta etapa de mi vida y que sigue estando presente cuando la misma se culmina.

Cristian Zapata

Dedicatoria

Quiero dedicar esta nueva etapa al ser maravilloso, al cual le debo todos mis logros, gracias

Dios.

A mis padres, por ser un pilar fundamental de mi vida para el desarrollo de este proceso.

Familia, amigos, y personas especiales en mi vida, no son nada más y nada menos que un solo conjunto: seres queridos que suponen benefactores de importancia inimaginable en mis circunstancias de humano. No podría sentirme más a menos con la confianza puesta sobre mi persona, especialmente cuando he contado con su mejor apoyo desde que siquiera tengo memoria.

Este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes; he logrado concluir con éxito un proyecto que en un principio podría parecer tarea titánica e interminable. Quisiera dedicar mi tesis a ustedes, personas de bien, seres que ofrecen amor, bienestar, y los finos deleites de la vida.

Muchas gracias a aquellos seres queridos que siempre aguardo en mi alma

A mi compañero Cristian, por ser esa mano derecha en este proyecto y gran amigo.

Wilmer Sandoval

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander y a todo el cuerpo de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, por habernos formado no solo como buenos ingenieros sino también como personas éticas.

Al ingeniero César Augusto Pineda, por su apoyo y colaboración brindada, por las enseñanzas aprendidas durante el transcurso de este proyecto, las cuales aportaron en gran parte a nuestro crecimiento profesional.

A los ingenieros Félix Arenas Rueda y Luis Felipe Carrillo por sus aportes, los cuales contribuyeron a la excelencia de éste proyecto

Contenido

	Pág.
Introducción	19
1. Azufre en crudo.....	20
1.1 Problemas causados por el azufre en la refinación del crudo	21
1.2 Clasificación del crudo	23
1.2.1. Según su fracción de azufre	23
1.2.1.1. Petróleo Dulce.....	23
1.2.1.2. Petróleo Ácido.	24
1.2.2. Según su gravedad API y contenido de azufre	24
1.3 Contenido de azufre y °API para algunos crudos de referencia.	25
1.4 Calidad del crudo y su dependencia en el valor comercial.....	27
1.5 Naturaleza de los compuestos sulfurados contenidos en los hidrocarburos líquidos	28
1.5.1. Azufre libre (S).	28
1.5.2. Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S).....	28
1.5.3. Tioles o Mercaptanos.....	29
1.5.4. Sulfuros.....	30
1.5.5. Disulfuros.....	30
1.5.6. Tiofeno y derivados.	31
2. Métodos estandarizados para determinar el contenido de azufre en crudo	32

2.1 Norma ASTM D4294	32
2.1.1. Alcance.	32
2.1.2. Resumen de la prueba	32
2.1.3. Significado y uso.....	33
2.1.4. Interferencias.....	33
2.1.5. Equipos.	34
2.1.6. Reactivos y materiales.	36
2.1.7. Muestreo y preparación de muestras.....	37
2.1.8. Calibración y estandarización.	37
2.1.8.1. Preparación de normas de calibración.	37
2.1.8.2. Normas de calibración certificadas.	40
2.1.8.3. Calibración del instrumento.....	40
2.1.8.4. Muestras de control de calidad (QC).	41
2.1.8.5. Almacenamiento de muestras estándar de control de calidad.	41
2.1.9. Preparación del aparato.....	41
2.1.10. Procedimiento.	41
2.1.10.1. Medición de la muestra.....	41
2.1.10.2. Instrumento de calibración.....	42
2.1.10.3. Análisis de muestras desconocidas.....	42
2.1.11. Cálculos.....	43
2.1.12. Informe.....	43
2.1.13. Control de calidad.....	43
2.1.14. Precisión y tendencia.	44

2.1.14.1. Precisión.....	44
2.1.14.1.1. Repetibilidad.....	44
2.1.14.1.2. Reproducibilidad.....	45
2.1.14.2. Tendencia.....	45
2.2 Otros métodos estandarizados para determinar el contenido de azufre en crudo.....	46
3. Estudio de prefactibilidad.....	50
3.1 Análisis de mercado.....	51
3.1.1. Análisis de la oferta.....	51
3.1.2. Análisis de la demanda.....	55
3.2 Análisis técnico.....	58
3.2.1. Ubicación y dimensionamiento.....	59
3.2.1.1. Escuela de Ingeniería de Petróleos.....	59
3.2.1.2. Parque Tecnológico de Guatiguará.....	60
3.2.2. Personal capacitado.....	62
3.2.3. Selección de proveedores.....	62
3.2.3.1. Análisis de requerimientos.....	63
3.2.3.1.1. Equipos.....	63
3.2.3.1.2. Reactivos.....	64
3.2.3.2. Búsqueda y registro de proveedores.....	64
3.2.3.3. Información técnico-financiera de los equipos y reactivos.....	66
3.2.3.4. Instauración de los criterios de selección.....	72
3.2.4. Resultados.....	80
3.2.4.1. Espectrómetro de fluorescencia de rayos x.....	80

3.2.4.2. Balanza analítica.....	82
3.2.4.3. Reactivos.....	83
3.3 Análisis de costos.....	84
3.3.1. Objetivo.....	84
3.3.2. Estimación de inversiones (CAPEX).....	84
3.3.2.1. Inversiones fijas.....	85
3.3.2.2. Inversiones diferidas.....	85
3.3.2.3. Capital de trabajo.....	85
3.3.3. Costos de operación (OPEX).....	86
3.3.3.1. Costos de producción.....	86
3.3.3.2. Costos de administración.....	87
3.3.3.3. Costos de distribución.....	87
3.3.4. Costos totales.....	88
3.3.5. Costo de la prueba.....	89
3.3.6. Ingresos por prestación de servicio.....	92
3.3.7. Indicadores de evaluación financiera.....	96
3.3.7.1. VPN – Contexto oferta-demanda.....	98
3.3.7.2. TIR – Contexto oferta-demanda.....	98
3.3.7.3. VPN – Contexto mercado moderno.....	99
3.3.7.4. TIR – Contexto mercado moderno.....	99
4. Sistema de Gestión de Calidad basado en la norma NTC–ISO/IEC 17025.....	101
4.1 NTC ISO/IEC 17025-2005.....	102
4.1.1. Requisitos de la gestión.....	103

4.1.2. Requisitos técnicos.....	107
4.2 Proceso de acreditación.....	110
4.2.1. Alcance de la acreditación.	111
4.2.2. Criterios de la acreditación.	112
4.2.3. Solicitud de la acreditación.	112
4.2.4. Procedimiento de acreditación.	114
4.2.4.1. Revisión de la solicitud y elaboración de la cotización.	114
4.2.4.2. Cotización de la acreditación.	114
4.2.4.3. Designación del equipo evaluador y programación de la evaluación.....	115
4.2.4.4. Proceso de evaluación.....	115
4.2.4.5. Decisión sobre la acreditación.	116
4.2.4.6. Uso de la referencia a la condición de acreditado.....	117
4.2.4.7. Certificado de acreditación.	117
5. Conclusiones.....	117
6. Recomendaciones	119
Referencias Bibliográficas	120

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Tipos de crudo según su fracción de azufre.....	23
Tabla 2. Países que producen petróleo dulce.....	24
Tabla 3. Países que producen petróleo ácido.....	24
Tabla 4. Clasificación del crudo con base a su API y contenido de azufre.....	25
Tabla 5. Gravedad API y niveles de azufre de los crudos de referencia más importantes a nivel internacional.....	26
Tabla 6. Gravedad API y niveles de azufre de los crudos de referencia más importantes a nivel nacional.....	27
Tabla 7. Mercaptanos y tioles identificados en los crudos.....	29
Tabla 8. Sulfuros identificados en los crudos.....	30
Tabla 9. Disulfuros más conocidos.....	31
Tabla 10. Derivados tiofénicos identificados en los crudos.....	31
Tabla 11. Equipos Requeridos – Norma ASTM D4294.....	34
Tabla 12. Reactivos Requeridos – Norma ASTM D4294.....	36
Tabla 13. Composición de estándares primarios.....	38
Tabla 14. Estándares de calibración sugeridos.....	38
Tabla 15. Intervalos de azufre con respecto al tiempo.....	40
Tabla 16. Valores de precisión.....	42

Tabla 17. Tendencias.	45
Tabla 18. Características de la norma ASTM D3227-16.....	46
Tabla 19. Características de la norma ASTM D2622-16.....	46
Tabla 20. Características de la norma ASTM D1552-16.....	47
Tabla 21. Características de la norma ASTM D129-13.....	48
Tabla 22. Características de la norma ASTM D1266-13.....	49
Tabla 23. Características de la norma ASTM D4045-15.....	49
Tabla 24. Laboratorios que prestan el servicio de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos y aspectos relevantes.....	52
Tabla 25. Personal estudiantil matriculados en la asignatura de laboratorio de fluidos en los últimos siete semestres.....	55
Tabla 26. Clientes en potencia del servicio de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos.	56
Tabla 27. Calificación cualitativa con su respectivo valor cuantitativo.	61
Tabla 28. Registro de proveedores de espectrómetros.....	65
Tabla 29. Registro de proveedores de balanzas analíticas.....	65
Tabla 30. Registro de proveedores de reactivos químicos.....	65
Tabla 31. Información técnica y financiera de los espectrómetros ofertados.....	66
Tabla 32. Información técnica y financiera de la balanza analítica ofertada.....	70
Tabla 33. Especificaciones del sulfuro de di-n-butilo.	70
Tabla 34. Especificaciones del tiofeno.	70
Tabla 35. Especificaciones del aceite mineral blanco.	71
Tabla 36. Especificaciones del helio.....	71

Tabla 37. Especificaciones del polisulfuro di-terc-nonilo.	71
Tabla 38. Criterios por conocer para elección de proveedores.	72
Tabla 39. Principios de selección para las características técnicas del equipo.	73
Tabla 40. Pautas de selección para la calidad del producto.	74
Tabla 41. Aspectos de selección: Capacitación de los usuarios.	75
Tabla 42. Parámetro de selección - Precio unitario.	75
Tabla 43. Criterios para la selección: servicio posventa.	76
Tabla 44. Aspecto de selección: periodo de validez de la oferta.	76
Tabla 45. Aspecto de selección: Plazo de entrega.	76
Tabla 46. Evaluación de parámetros - espectrómetros de fluorescencia de rayos x: CUBE y CK.	77
Tabla 47. Elección de espectrómetro según los criterios planteados en la matriz de decisión de opciones.	78
Tabla 48. Precio más representativo para el sulfuro de di-n-butilo (DBS) 500 ml.	79
Tabla 49. Precio más representativo para el tiofeno 500 g.	79
Tabla 50. Precio más representativo para el aceite mineral blanco 5 gal.	80
Tabla 51. Precio más representativo para el helio 6 m3.	80
Tabla 52. Precio más representativo para el polisulfuro di-terc-nonilo 50 ml.	80
Tabla 53. Espectrómetro de fluorescencia elegido.	82
Tabla 54. Balanza analítica seleccionada.	83
Tabla 55. Proveedores de insumos seleccionados.	83
Tabla 56. Costos de inversión (CAPEX).	86
Tabla 57. Costos asociados a la prueba – Costos de operación (OPEX).	88

Tabla 58. Costos totales del proyecto.	88
Tabla 59. Cantidad de ensayos posibles según el inventario de la prueba y sus respectivos costos.....	89
Tabla 60. Costo total de la prueba según gastos de operación.....	91
Tabla 61. Comparación de precios de entidades que ofrecen el servicio bajo el protocolo ASTM D4294.....	91
Tabla 62. Contexto académico.....	93
Tabla 63. Contexto de oferta-demanda.	94
Tabla 64. Contexto de modernización del mercado.....	95
Tabla 65. VPN para el contexto de oferta-demanda.	98
Tabla 66. TIR para el contexto de oferta-demanda.....	98
Tabla 67. VPN para contexto de mercado moderno.	99
Tabla 68. TIR para el contexto de mercado moderno.....	99
Tabla 69. Requisitos para obtener la acreditación por parte del ONAC.....	112

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Elección de laboratorio para establecer el protocolo ASTM D4294.....	61
Figura 2. Etapas para la selección de proveedores.	63
Figura 3. TMAR vs VPN – Contexto oferta-demanda.	98
Figura 4. TMAR vs VPN – Contexto mercado moderno.	100

Resumen

TÍTULO: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTAR PRUEBA DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE AZUFRE EN HIDROCARBUROS LIQUIDOS*.

AUTORES: CRISTIAN DANIEL GIL ZAPATA
WILMER JAVIER SANDOVAL TORRES.**

PALABRAS CLAVES: PREFACTIBILIDAD, CONTENIDO DE AZUFRE, HIDROCARBUROS LÍQUIDOS, PRUEBA DE LABORATORIO.

DESCRIPCIÓN:

El presente análisis de prefactibilidad está enfocado a la cuantificación y estimación de costos de inversión, asociados a la implementación de la prueba de laboratorio para determinar el contenido de azufre en hidrocarburos líquidos, que a su vez, servirá como guía en la cual se detallarán los diferentes factores involucrados en ésta, tales como recursos físicos, recursos financieros e instrumentación, buscando ulteriormente poder sumarlo a los servicios de la Escuela de Ingeniería de Petróleos en la Universidad Industrial de Santander.

Este proyecto se fundamenta en el protocolo estándar ASTM D4294, y en los requerimientos necesarios para su instauración. Se medirán las implicaciones que conlleva la implementación de este método, conforme se vaya estableciendo en el mercado. Además, se realizará un análisis técnico y locativo, necesarios para evaluar la capacidad óptima que deberá tener el laboratorio. Así mismo, se ejecutará un análisis financiero, esencial para identificar el nivel de competencia, en el cual se encuentra el proyecto y la manera en que éste influye en el establecimiento de los precios. De la mano con éste, se desarrollará un análisis económico, con el propósito de establecer un balance de contabilidad de los costos totales del proyecto, considerando los cambios que se pueden presentar a largo plazo. Por último, se documentan los controles requeridos para la implementación del sistema de gestión de calidad, basado en la norma NTC-ISO/IEC 17025, para ensayos de laboratorio.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: César Augusto Pineda Gómez, Ingeniero de Petróleos

Abstract

TITLE: PRE-FEASIBILITY STUDY TO IMPLEMENT LABORATORY TEST TO DETERMINE SULFUR CONTENT IN LIQUID HYDROCARBONS*.

AUTHORS: CRISTIAN DANIEL GIL ZAPATA
WILMER JAVIER SANDOVAL TORRES**.

KEYWORDS: PRE-FEASIBILITY, SULFUR CONTENT, LIQUID HYDROCARBONS, LABORATORY TEST.

DESCRIPTION:

The present pre-feasibility analysis is focused on the quantification and estimation of investment costs, associated with the implementation of the laboratory test to determine the sulfur content in liquid hydrocarbons, which in turn, will serve as a guide in which the different factors involved in this, such as physical resources, financial resources and instrumentation, seeking to add later to the services of the School of Petroleum Engineering at the Industrial University of Santander.

This project is based on the standard protocol ASTM D4294, and on the requirements necessary for its establishment. The implications of implementing this method will be measured, as it is established in the market. In addition, a technical and locative analysis will be carried out, necessary to evaluate the optimum capacity that the laboratory should have. Likewise, a financial analysis will be carried out, essential to identify the level of competence, in which the project is located and the way in which it influences the establishment of prices. Hand in hand with this, an economic analysis will be developed, with the purpose of establishing an accounting balance of the total costs of the project, considering the changes that may occur in the long term. Finally, the controls required for the implementation of the quality management system, based on the NTC-ISO / IEC 17025 standard, for laboratory tests are documented.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: César Augusto Pineda Gómez, Ingeniero de Petróleos.

Introducción

Actualmente las empresas involucradas en la industria de los hidrocarburos han venido centrándose en procesos de mejoramiento de la calidad del petróleo líquido; estos procesos se enfocan en la caracterización y descontaminación del mismo, ya que por defecto éste puede poseer componentes capaces de afectar las áreas y equipos de operación involucrados en su tratamiento y póstumo aprovechamiento. Uno de los contaminantes más representativo es el azufre, particularmente presente en los hidrocarburos pesados y variante capaz de incidir drásticamente en el refinado de los mismos. Así, estos protocolos estándar buscan cuantificar la presencia de ésta variante (entre otras) por medio de procesos físicos y químicos y de ésta manera, garantizar una mejor calidad del crudo.

El contenido de azufre es uno de los parámetros que más afecta el valor comercial de un crudo o de sus derivados, por ello para las empresas petroleras es necesario contar con un laboratorio de pruebas especializado en todos aquellos procesos de reducción y/o eliminación de éste componente. Cuantificar la cantidad de azufre presente en el crudo, por ejemplo, podría no solamente proteger de corrosión los equipos propios de la refinación sino también garantizar que los agentes catalizadores realicen su función de acelerar las reacciones químicas durante éste proceso sin ningún contratiempo. Más aún, puede acarrear múltiples beneficios durante las etapas de caracterización, comercialización y puesta en venta del mismo.

Partiendo de los supuestos anteriores, el presente proyecto busca realizar un estudio de prefactibilidad orientado a la implementación de la prueba de laboratorio para determinar el

contenido de azufre en los hidrocarburos y combustibles líquidos bajo la Norma ASTM D4294. Debido a que la Escuela de Ingeniería de Petróleos no cuenta con las facilidades y equipos necesarios para la realización de éste ensayo y su ejecución, se brindaría a los estudiantes nuevas oportunidades para desarrollar prácticas aplicadas en la industria y consolidaría la institución como líder a nivel nacional en la prestación de servicios para el sector.

El desarrollo de este proyecto se muestra en cuatro capítulos: en el primero se establece una descripción completa de los conceptos y generalidades del azufre, así como la influencia que este aporta al crudo. Posteriormente se presentan e identifican los recursos físicos correspondientes a la instauración del método que se fundamenta en la Norma ASTM D4294, así como algunas generalidades de diversos protocolos adicionales aplicados a la determinación de contenido de azufre. El estudio del mercadeo y de los aspectos técnico y financiero que intervienen en la implementación de la prueba se presentan en el tercer capítulo y para finalizar, la documentación de los controles para que el desarrollo del ensayo cumpla con los requisitos del sistema de gestión de calidad basado en la Norma NTC ISO 17025 se muestran en el cuarto capítulo.

1. Azufre en crudo

El azufre es un elemento químico considerado como un no metal, insípido e inodoro que hace presencia en los crudos y combustibles, en algunos en mayor grado que en otros. El contenido de azufre en un hidrocarburo puede reflejar la corrosividad potencial de sus compuestos y en la mayoría de éstos, como es el caso de las naftas, las fracciones sulfurosas obstaculizan el

rendimiento de las reacciones químicas afectando directamente la reformación catalítica de sus moléculas.

En general, cuando hay altas concentraciones de azufre presentes en un hidrocarburo, éste es comúnmente denominado *heavy sour crude*; así mismo, cuando es un crudo caracterizado por su bajo grado de azufre se conoce como liviano dulce o *light sweet*.

En muchos hidrocarburos el porcentaje de SH_2 (gas sulfhídrico) contenido puede ser bajo pero la cantidad de compuestos que contienen azufre es alta. El crudo ácido por su parte, tiene también altas concentraciones de SH_2 y mercaptanos con elevados índices de corrosividad. Estos últimos se pueden reducir y/o eliminar con tratamientos químicos.

Determinar el contenido de azufre en un crudo o en un combustible es casi tan importante como el hecho de conocer su gravedad API, ya que: (i) los dos son parámetros de caracterización, estandarización y control de calidad de los hidrocarburos exigidos por la normatividad y, (ii) el valor comercial de los crudos y combustibles depende en gran medida a la reducción de estos componentes sulfurosos.

1.1 Problemas causados por el azufre en la refinación del crudo

- Todos los hidrocarburos poseen heteroelementos (elementos que forman parte de un compuesto orgánico), pero uno de los que más causa afectaciones directas en el proceso de refinación es el azufre, el cual se encuentra en mayor proporción en crudos pesados y de la misma manera es más fácil de retirar y/o eliminar en crudos livianos.
- En la etapa de refinación, la eficiencia se centra en la capacidad de los *agentes catalíticos* para acelerar las reacciones químicas y lograr la reintegración de las moléculas de los

productos, acción que se ve amenazada por la presencia de azufre ya que éste desactiva (contamina) estos agentes catalíticos.

- Se puede presentar corrosión en las facilidades y equipos correspondientes a la etapa de refinación aumentando así los costos de tratamiento y operación.
- También, el tratamiento de combustibles con gran cantidad de compuestos sulfúricos, puede emitir gases tóxicos a la atmósfera para los cuales se tienen estrictos controles reglamentarios.

Así mismo, el azufre de los combustibles para vehículos automotores ocasiona la emisión de compuestos de azufre indeseables e interfiere con los sistemas de control de emisiones de este tipo que están destinados a regular las emisiones perjudiciales como los compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y particulados. A este respecto, todas las empresas deben poseer un control de calidad de los flujos hidrocarburos, tal que les permita atenuar estos efectos no deseados. Cuánto más alto sea el contenido de azufre del crudo, más alto es el grado de control de azufre que se necesita y el costo que insume este procedimiento.

En la industria de la refinación, el petróleo crudo se denomina con poco azufre (bajo nivel de azufre), si su nivel de azufre es inferior al valor umbral (por ejemplo: 0.5% w/w, 5000 ppm) y sulfuroso (alto nivel de azufre), si el nivel de azufre supera el umbral más alto.

La mayoría de los crudos sulfurosos registran niveles de azufre de entre 1.0 y 2.0% w/w, pero en algunos casos se registran niveles de azufre > 4.0% w/w.

1.2 Clasificación del crudo

1.2.1. Según su fracción de azufre. Los compuestos de azufre presentes en el crudo pueden o no ser corrosivos. Atendiendo a la cantidad de azufre presente, los crudos suelen denominarse corrosivos (ácidos) o dulces. El contenido de azufre del crudo es importante para conocer el grado de dificultad en el proceso de refinación, su rendimiento como combustible y su corrosividad.

No existe mundialmente un criterio numérico para la clasificación, pero los valores adoptados comercialmente se encuentran entre los siguientes intervalos:

Tabla 1.

Tipos de crudo según su fracción de azufre.

Tipo de petróleo	Rangos de porcentaje de azufre
Petróleo dulce	< 0.5%
Petróleo medio	0.5 – 1%
Petróleo ácido	> 1%

Nota: * Tipo de petróleo crudo con sus respectivos rangos de porcentaje de azufre. Adaptado de “ICCT”. Octubre 2011, Pág. 7.

1.2.1.1. Petróleo Dulce. Los crudos con menor proporción de azufre (menor al 0.5%) son más valiosos por su versatilidad para obtener derivados. Este tipo de petróleo tiene más demanda, mayor valor y se utilizan normalmente para producir combustibles como la gasolina y la nafta.

Algunos ejemplos de países con yacimientos cuyo crudo es principalmente dulce están dados por la Tabla 2.

Tabla 2.

Países que producen petróleo dulce.

Continente	Países
América	EE. UU (Pensilvania, Montana, Saskatchewan, Manitoba, Luisiana y Texas)
Europa	Mar del Norte (Noruega y Gran Bretaña)
África	Libia, Argelia, Nigeria, Ghana, República Centroafricana, República del Congo, República democrática del Congo y Angola.
Extremo Oriente	China, Indonesia, Malasia, Brunei, India y Vietnam.
Pacífico	Australia y Nueva Zelanda.

1.2.1.2. Petróleo Ácido. Es el crudo con mayor grado de azufre (mayor de 0.5%). Tiene menor demanda y por tanto menor valor. Este tipo de crudo requiere procesos más complejos para su refinación en combustibles, generando costos extra que se utilizan para producir parafinas, aceites, polímeros; también este tipo de petróleo ácido es el crudo más común a nivel mundial.

Algunos países con yacimientos cuyo crudo es principalmente ácido se nombran en la Tabla 3.

Tabla 3.

Países que producen petróleo ácido.

Continente	Países
Medio Oriente	Arabia Saudí, Iraq, Kuwait, Irán, Siria y Egipto.
América	Canadá (Alberta), Golfo de México, México, Venezuela, Colombia y Ecuador

1.2.2. Según su gravedad API y contenido de azufre. Por lo general, el petróleo crudo se cataloga partiendo de su gravedad API, que como es de conocerse es un método de clasificación

según la densidad (teniendo en cuenta propiedades como lo son la viscosidad y fluidez), en comparación con el agua a temperaturas iguales.

Específicamente, el crudo según su gravedad API puede ser: liviano, mediano, pesado y extra pesado. No obstante, y como ha sido mencionado anteriormente, uno de los parámetros más importantes en la caracterización de los crudos es su contenido de azufre. Se presenta un esquema general para categorizar los hidrocarburos en función a su gravedad API y su contenido de azufre dado en la Tabla 4.

Cada tipo de hidrocarburo presenta un rango en términos cualitativos para cada categoría.

Tabla 4.

Clasificación del crudo con base a su API y contenido de azufre.

Tipo de hidrocarburo	Intervalos	
	Gravedad API	Contenido de azufre (%)
Liviano dulce	35 - 60	0 - 0.5
Liviano agrio	35 - 60	> 0.5
Intermedio dulce	26 - 35	0 - 1.1
Intermedio agrio	26 - 35	> 1.1
Pesado dulce	10 - 26	0 - 1.1
Pesado agrio	10 - 26	> 1.1

Nota: *Tipos de crudo de acuerdo a sus intervalos de gravedad API y contenido de azufre presente. Adaptado de “ICCT”. Octubre 2011, Pág. 7.

1.3 Contenido de azufre y °API para algunos crudos de referencia.

La referencia de mercado es también una manera de categorizar los crudos a partir del lugar de donde han sido extraídos. Esta está definida por las características propias de cada crudo dentro de

las cuales se destacan la gravedad API, el grado de azufre presente en su composición e incluso su pureza.

En la Tabla 5 se enumeran los más importantes crudos de referencia comercializados a nivel mundial y sus valores característicos de gravedad API y contenido de azufre.

Tabla 5.

Gravedad API y niveles de azufre de los crudos de referencia más importantes a nivel internacional.

Crudo de referencia	País de origen	Tipo de petróleo crudo	Gravedad API	Contenido de azufre
Brent	U.K	Liviano dulce	40.0	0.5
West Texas Intermediate	U.S.A.	Liviano dulce	39.8	0.3
Arabian Extra Lt. Export	Saudí Arabia	Liviano agrio	38.1	1.1
Daqing	China	Intermedio dulce	33.0	0.1
Forcados Export	Nigeria	Intermedio dulce	29.5	0.2
Dubái	Golfo Pérsico	Intermedio agrio	31	2.04
Arabian Light Export	Saudí Arabia	Intermedio agrio	34.0	1.9
Kuwait Export Blend	Kuwait	Intermedio agrio	30.9	2.5
Marlim Export	Brasil	Pesado dulce	20.1	0.7
Caño Limón	Colombia	Pesado dulce	25.2	0.9
Oriente Export	Ecuador	Pesado agrio	25.0	1.4
Maya Heavy Export	México	Pesado agrio	21.3	3.4

Nota: *Tipos de crudos producidos en varios países, con su respectivo crudo de referencia.

Adaptado de "ICCT". Octubre 2011, Pág. 7.

Así mismo, en la Tabla 6 se enumeran los crudos de referencia más importantes a nivel nacional y sus respectivos valores característicos de gravedad API y contenido de azufre.

Tabla 6.

Gravedad API y niveles de azufre de los crudos de referencia más importantes a nivel nacional.

Crudo de referencia	Tipo de petróleo crudo	Gravedad API	Contenido de Azufre (%)
Castilla Blend	Pesado	18.8	1.97
Magdalena	Pesado	20.4	1.6
Caño Limón	Intermedio	29.1	0.5
South Blend	Intermedio	28.6	0.72
Vasconia	Intermedio	24.3	0.83

Nota: *Crudos de referencia más importantes a nivel nacional. Adaptado de “Petróleo y gas natural: Industria, mercados y precios”. Enrique Parra. 2003. Pág. 42 – 43.

1.4 Calidad del crudo y su dependencia en el valor comercial

Los medios de comunicación con frecuencia hacen referencia al *precio del petróleo crudo* como si todos los tipos de petróleo crudo tuviesen el mismo valor (precio), ya que la realidad no es así. El precio del mercado del crudo es proporcional a la calidad de este en relación con el precio promedio predominante del petróleo crudo en general. Los crudos livianos con poco azufre tienen un *sobreprecio* en comparación con el crudo mediano y pesado.

Los crudos livianos y dulces tienen un costo de refinación más alto que los crudos más pesados y ácidos. Esto es debido no solamente a que los livianos requieren menos energía de procesamiento (por la escasez de azufre), sino porque también generan una mayor producción natural de los componentes que brindan un valor agregado (gasolina, diésel, lubricantes para avión, etc.), y esto es apoyado con una menor inversión para satisfacer la demanda y los estándares de calidad.

Por lo tanto, las refinerías se enfrentan a una decisión económica fundamental. Estas pueden pagar un sobreprecio por los crudos de mayor calidad para aprovechar sus beneficios económicos

o hacer una inversión más alta en acciones de capital de refinería y costos más altos de refinación para beneficiarse de los precios relativamente más bajos de los crudos de menor calidad.

Las diferencias de precios del crudo liviano con poco azufre y el crudo ácido varían con el tiempo y según la región debido a la interacción de diversos factores técnicos y económicos. Sin embargo, las diferencias de precios entre el crudo liviano con poco azufre (dulce) y ácido tienden a aumentar con el incremento del nivel de precios mundial del petróleo, que generalmente oscilan entre el 15% y 25% del precio promedio del crudo liviano con poco azufre.

1.5 Naturaleza de los compuestos sulfurados contenidos en los hidrocarburos líquidos

Generalmente, el azufre en los crudos tiende a determinarse como azufre libre (S), sulfuro de hidrógeno disuelto (H_2S) o en mayor proporción como dióxido de azufre (SO_2), resultante de las reacciones de combustión provocadas durante el desarrollo de algunos métodos estandarizados. Por lo cual, se crea la necesidad de clasificar los compuestos sulfurados con base en su naturaleza química.

1.5.1. Azufre libre (S). Proviene generalmente de la reducción de sulfatos que se presenta durante la maduración de la roca almacén. Es muy baja la posibilidad de encontrarlos en los hidrocarburos y/o combustibles, y cuando se presenta suele encontrarse disuelto o en suspensión.

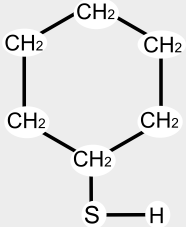
1.5.2. Sulfuro de hidrógeno (H_2S). Se encuentra en el crudo, generalmente en una concentración menor a 50 ppm. También puede hacer parte de la composición de los gases resultantes de procesos de refinación como lo son la hidrosulfuración, el cracking catalítico y el

térmico, o incluso durante la destilación. Anteriormente, un crudo con más de 6 ppm de H₂S era conocido como un hidrocarburo corrosivo. Para ésta fecha, el límite de referencia es de 1% en masa de azufre, con respecto a la masa total del crudo.

1.5.3. Tioles o Mercaptanos. De formula general R-S-H, donde R representa un radical alifático o cíclico. Los tioles llamados *mercaptanos*, son compuestos ácidos por la función S-H. Se presentan con una concentración muy baja, casi nula en los crudos, pero se crean a partir de otros compuestos por medio de operaciones de refinación.

Tabla 7.

Mercaptanos y tioles identificados en los crudos.

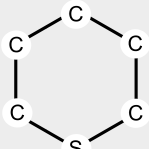
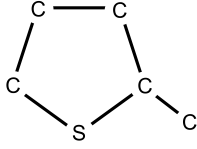
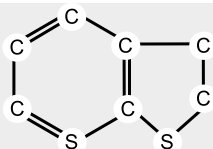
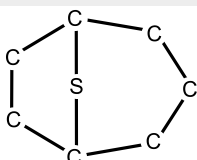
Nombre	Fórmula química	T. de ebullición (°C)	Corte
Metanotiol	$\text{CH}_3 - \text{SH}$	6	Butano Nafta
Etanotiol	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{SH}$	34	Nafta
2 - Metilpropanotiol	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{SH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	85	Nafta
2 - Metilheptanotiol	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - (\text{CH}_2)_5 - \text{SH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	186	Queroseno
Ciclohexanotiol		159	Nafta

Nota: *Adaptado de “El refino del petróleo”. J-P Wauquier. Pág. 320.

1.5.4. Sulfuros. Estos son químicamente neutros; su estructura es de forma lineal o cíclica, siendo la temperatura de ebullición mucho más elevada para un mismo número de átomos de carbono que para los mercaptanos. El queroseno y el gasóleo son algunos de los hidrocarburos sulfurados de los cortes medios.

Tabla 8.

Sulfuros identificados en los crudos.

Nombre	Fórmula química	T. de ebullición (°C)	Corte
3 - Tiapentano	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{S} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	92	Nafta
2 - Metil - 3 Tiopentano	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{S} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	108	Nafta
Tiaciclohexano		141.8	Nafta
2 - Metiltiaciclo - Pentano		133	Nafta
Tiaindano		235.6	Queroseno
Tiabicycloctano		194.5	Queroseno y Gasóleo

Nota: *Adaptado de “El refino del petróleo”. J-P Wauquier. Pág. 321

1.5.5. Disulfuros. Estos productos son difíciles de separar y es la razón por la que muy pocos se han podido identificar:

Tabla 9.

Disulfuros más conocidos.

Nombre	Fórmula química
Disulfuro dimetílico (2, 3 ditiobutano)	CH - S - S - CH
Disulfuro dietílico (2, 3 ditiohexano)	CH - CH ₂ - S - S - CH ₂ - CH

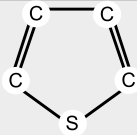
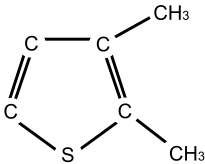
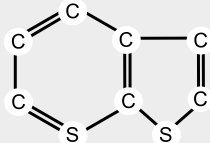
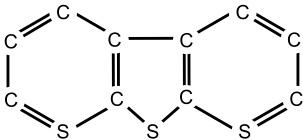
Nota: *Adaptado de “El refinado del petróleo”. J-P Wauquier. Pág. 322.

*Solo recientemente se ha comenzado a poder identificar productos más complejos del tipo trinaftenodifenildisulfuro.

1.5.6. Tiofeno y derivados.

Tabla 10.

Derivados tiofénicos identificados en los crudos.

Nombre	Fórmula química	T. de ebullición (°C)	Corte
Tiofeno		84	Nafta
Dimetiltiofeno		141.6	Nafta y queroseno
Benzotiofeno		219.9	Queroseno
Dibenzotiofeno		300	Gasóleo

Nota: *Adaptado de “El refinado del petróleo”. J-P Wauquier. Pág. 322.

2. Métodos estandarizados para determinar el contenido de azufre en crudo

2.1 Norma ASTM D4294

2.1.1. Alcance. Este método se fundamenta en la medición de azufre en los hidrocarburos como: diésel, nafta, queroseno, lubricantes de base aceite, aceites hidráulicos, aceites crudos, gasolina y otros destilados. Además, el azufre en otros productos tales como M-85 y M-100, se puede analizar usando esta técnica. El intervalo de concentración aplicable es de 0.015% a 5.0% en masa de azufre.

Los valores expresados en unidades del sistema internacional, son considerados como estándar; las unidades de concentración preferidas son porcentaje de azufre en masa.

2.1.2. Resumen de la prueba. La muestra es colocada en el haz emitido desde una fuente de rayos X. La característica resultante de la radiación X es medida y es comparada con el recuento acumulado de las muestras de calibración previamente preparadas para obtener la concentración de azufre en porcentaje en masa, mg / kg, o ambos.

El intervalo de concentración aplicable es de 0.015% a 5.0% en masa de azufre y se requiere un mínimo de dos grupos de muestras de calibraciones para abarcar este rango de concentraciones descrito de la siguiente manera: de 0.015% a 0.1% en masa y de 0.1% a 5.0% en masa respectivamente.

2.1.3. Significado y uso. Este método de ensayo proporciona una medición rápida y precisa del total de azufre contenido en los productos petrolíferos con un mínimo de preparación de muestras. El intervalo de tiempo de análisis típico es de 2 a 5 minutos por muestra.

El conocimiento de la cantidad de azufre que existe en los derivados del petróleo es importante ya que es necesario para el procesamiento de este. Además, hay regulaciones promulgadas en agencias federales, estatales y locales que restringen la cantidad de azufre presente en algunos combustibles.

En comparación con otros métodos de ensayo, este tiene un alto rendimiento ya que requiere de una preparación mínima de la muestra, se obtiene con una buena precisión y es capaz de determinar el azufre en una amplia gama de concentraciones. El equipo especificado es en la mayoría de los casos menos costoso que el requerido para métodos alternativos.

2.1.4. Interferencias. Las interferencias espectrales resultan cuando algún elemento o elementos de composición de muestra presentan lecturas que el detector no puede resolver a partir de la emisión de rayos X de azufre. Como resultado, las líneas producen picos espectrales que se superponen uno con el otro. Las interferencias espectrales pueden surgir de muestras que contienen agua, silicio, fósforo, calcio, potasio y haluros, si se encuentran presentes en concentraciones superiores a una décima de la concentración medida de Azufre.

Los efectos de la matriz son causados por variaciones de concentración de los elementos de una muestra. Estas variaciones influyen directamente en la absorción de rayos X y cambian la intensidad medida de cada elemento. Por ejemplo, los aditivos potenciadores del rendimiento como los oxigenados en la gasolina, pueden afectar el azufre aparente leído. Estos tipos de

interferencia están presentes en el análisis de fluorescencia de rayos X y están completamente sin relación con las interferencias espectrales.

M-85 y M-100 son combustibles que contienen 85% y 100% de metanol respectivamente; estos tienen un alto contenido de oxígeno. Tales combustibles pueden ser analizados utilizando este método de ensayo siempre que los estándares de calibración se preparen para que coincidan con la matriz de la muestra.

En los casos en donde los hidrocarburos contengan agua suspendida se recomienda retirarla antes de realizar la prueba o bien homogeneizar y probar de inmediato la muestra; la interferencia es mayor si el agua crea una capa sobre la película transparente atenuando la intensidad de rayos X para el azufre. Uno de estos métodos para llevar a cabo la eliminación de agua es centrifugar la muestra primero bajo condiciones selladas ambientales teniendo cuidado de que la integridad de la muestra no sea comprometida.

2.1.5. Equipos.

Tabla 11.

Equipos Requeridos – Norma ASTM D4294.

Equipo	Descripción
Espectrómetro de fluorescencia de rayos X	Analizador de fluorescencia de rayos X fundamentado en la dispersión de energía.
Fuente de excitación de rayos X	Debe transmitir un mínimo de energía superior a 25 KeV. Si se utiliza una fuente radioactiva, esta debe estar bien protegida a los requisitos de las normas internacionales y, por lo tanto, no presentar ningún peligro para la seguridad.

Equipo	Descripción
	Sin embargo, la atención a la fuente solo debe llevarse a cabo por una persona totalmente capacitada y competente utilizando las técnicas correctas de blindaje.
Celda de muestra	Deben proporcionar una profundidad de muestra de al menos 4 mm y un diámetro de al menos 10 mm; así mismo, debe estar equipada con ventanas de película de plástico transparentes reemplazables de rayos X.
Detector de rayos X	Con alta sensibilidad y un valor de resolución no superior al rango de 800 eV a 2.3 KeV. Se ha encontrado que un controlador proporcional lleno de gas es adecuado para su uso.
Filtros	Filtros u otros aparatos que discriminen el azufre por radiación y otros rayos X de mayor energía.
Equipos electrónicos de acondicionamiento de señales y manejo de datos	Incluyen las funciones de cuenta de intensidad de rayos X, mínimo de dos regiones de energía (para corregir los rayos X de fondo), las correcciones de superposición espectral y la conversión de rayos de azufre en concentración de azufre.
Equipo	Descripción
Pantalla o impresora	El cual interpreta en porcentajes en masa de azufre, mg / kg de azufre, o ambos.
Balanza analítica	Debe tener una precisión y resolución de 0.1 mg y debe ser capaz de soportar hasta 100 g.

2.1.6. Reactivos y materiales.

Tabla 12.

Reactivos Requeridos – Norma ASTM D4294.

Reactivo	Descripción
Sulfuro de Di-n Butilo (DBS)	Es esencial conocer la concentración de azufre en éste reactivo puesto que puede contener impurezas. Es necesario utilizar el contenido certificado de azufre al calcular las concentraciones exactas de las normas de calibración, ya que el sulfuro de di-n butilo es inflamable y tóxico. La cantidad utilizada generalmente es de 10 ml por medición.
Aceite de polisulfuro	Por defecto polisulfuro di-terc-nonilo ya que contiene una alta concentración de azufre (hasta un 50%w/w). Posee baja viscosidad, baja volatilidad y es miscible por completo en aceite blanco. Se utiliza por defecto una cantidad de 1.1 ml.
Aceite mineral blanco (MOW)	Con un contenido menor a 2 mg/kg de azufre (puede utilizarse otro material base). Para cada medición se utilizan 0.01 galones de este material.
Película transparente de rayos X	Cualquier película que resista el contacto con la muestra y que esté libre de azufre. Son adecuadas las películas de poliéster, polipropileno, policarbonato y poliamida. Son sensibles al contacto con muestras de alto contenido aromático.
Gas helio (opcional)	Depende de las recomendaciones de fabricación. Debido a que su uso es mínimo, se requieren tan solo 0.0001 m ³ de su total.
Celdas de muestra	Compatibles con la muestra. Deben cumplir con la geometría requerida por el espectrómetro.

Reactivo	Descripción
Tiofenos	Muestra de hidrocarburo líquido con contenido de azufre conocido. Usados para determinar la precisión y exactitud de la calibración inicial. Generalmente se utiliza una muestra de 10 gr.

2.1.7. Muestreo y preparación de muestras. Las muestras deben ser analizadas inmediatamente después de verter en una celda de muestra y permitir el escape de las burbujas de aire causadas por la mezcla.

Si se usan celdas de muestras reutilizables, limpiarlas y secarlas antes de usarlas. Las celdas desechables no son reutilizables. Se requiere una película de rayos X sobre una celda de muestra reutilizada antes de analizar la muestra. Evite tocar el interior de la celda o porción de la muestra ya que el aceite de huellas dactilares puede afectar la lectura al analizar bajos niveles de azufre. Las arrugas en la película afectaran la intensidad de azufre rayos X transmitidos, por lo tanto, es esencial que la película sea tensa y limpia para garantizar resultados fiables.

Impurezas o variaciones de espesor pueden afectar la medición de niveles bajos de azufre. Estos se han encontrado en películas de poliéster.

2.1.8. Calibración y estandarización.

2.1.8.1. Preparación de normas de calibración. Al medir azufre en una variedad de matrices es recomendado siempre que sea posible realizar una sola calibración. El diésel debe ser calibrado bajo los *estándares diésel*, ya que este tipo de calibración es propia para el análisis de azufre a niveles bajos.

Las concentraciones de las muestras desconocidas deben estar dentro del rango de calibración que se utiliza. Los niveles aproximados recomendados de concentración nominal de azufre se enumeran en la Tabla 13 para los rangos de concentración de azufre de interés.

Tabla 13.

Composición de estándares primarios.

Contenido de azufre, (%) en masa	Masa de matriz diluyente, gr	Masa de di-n-butyl sulfuro, gr
5	48.6	14.4
0.10	43.6	0.2

Nota: *Adaptado de “Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry”. ASTM. Diciembre 2016.

Determinar los estándares de calibración usando uno o más de los tres rangos sugeridos en la Tabla 14, de acuerdo con el nivel esperado de azufre de las muestras a analizar, mediante la dilución de patrones primarios con el diluyente de matriz aplicable.

Tabla

14.

Estándares de calibración sugeridos.

Rango	1	2
Masa de azufre (0-1000 mg/kg)	0.10 – 1.00	1.0 - 5.0
	% en masa	% en masa
0.0^{A,B}	0.100	1.0
5^B	0.250	2.0
10^B	0.500	3.0
100^B	1.000	4.0
250		5.0

Rango	1	2
Masa de azufre (0-1000 mg/kg)	0.10 – 1.00 % en masa	1.0 - 5.0 % en masa
500		
750		
1000		

*^A Material base

*^B Analice estos estándares por duplicado y use tanto valores individuales como Promedios en la calibración.

Nota: *Adaptado de “Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry”. ASTM. Diciembre 2016.

Si se utiliza el diluyente de matriz para la preparación que contiene azufre, agregue este valor al contenido calculado de azufre de las normas preparadas (consulte a su proveedor para obtener una concentración de azufre certificada o pruebe el aceite mineral utilizando el método de ensayo D3120 o cualquier otro método equivalente de análisis de bajo nivel de azufre).

Es recomendable pesar el diluyente de la matriz a la medida establecida ya que es importante conocer la masa real del mismo. La concentración real de las muestras preparadas se calcula y se introduce en el instrumento con fines de calibración. Tenga en cuenta cualquier azufre en el material base cuando calcule la concentración de estándares por debajo de 0.02% en masa (200 mg/kg), como se muestra en la ecuación 1:

$$S = \frac{((DBS * S_{DBS}) + (MOW * S_{MOW}))}{(DBS + MOW)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

S = % de azufre másico de los estándares preparados.

DBS = Masa real de DBS, gr.

S_{DBS} = % de azufre en masa en DBS (por defecto toma el valor de 21.91%)

MOW = Masa real de aceite mineral, gr.

S_{MOW} = % de azufre en masa en aceite mineral blanco.

2.1.8.2. Normas de calibración certificadas. Los estándares de calibración para los materiales (descritos en la Tabla 14), los cuales están incluidos dentro de los *Materiales de Referencia Estándar (SRM)*, están preparados y certificados por el *Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST)*. En el caso del azufre en diésel se tiene como referencia la *SRM 2724*.

2.1.8.3. Calibración del instrumento. Calibre el instrumento para el rango apropiado como se detalla en la Tabla 14 y siguiendo las instrucciones del fabricante. Típicamente el procedimiento de calibración implica la configuración del instrumento para el registro de la intensidad neta de rayos X de azufre, seguido de la medición de estándares conocidos. Obtenga una lectura en cada estándar usando el tiempo de conteo recomendado para el instrumento según la Tabla 15.

Tabla 15.

Intervalos de azufre con respecto al tiempo.

Rango de contenido de azufre (% en masa)	Tiempo de conteo, (sg)
0.0000 a 0.1000	200 a 300
0.1 a 5.0	100

Nota: *Adaptado de “Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry”. ASTM. Diciembre 2016.

Nota: * En el caso de patrones de calibración menores a 100 mg/kg, repita la medición usando una taza de muestra recién preparada y una porción nueva de la muestra

2.1.8.4. Muestras de control de calidad (QC). La concentración de los estándares QC debe estar cerca de la concentración esperada de las muestras que se analizan. Se pueden usar estándares de control de calidad preparados independientemente de acuerdo con la información de calibración planteada en el apartado 2.1.8.

2.1.8.5. Almacenamiento de muestras estándar de control de calidad. Envuelva las muestras con un material resistente a los productos químicos. Posteriormente, almacene todas las muestras en botellas de vidrio oscuras con tapas de rosca, en un lugar fresco y oscuro hasta que sean requeridas.

2.1.9. Preparación del aparato. Instalar el aparato de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Siempre que sea posible, el instrumento debe permanecer energizado o como mínimo mantener una estabilidad óptima.

2.1.10. Procedimiento.

2.1.10.1. Medición de la muestra. La muestra de control se mide antes de analizar las incógnitas para verificar que el método de prueba esté bajo control. El procedimiento de medición se ejecuta de forma idéntica a cualquier muestra desconocida. Si la repetibilidad de la muestra de control de calidad seleccionada es mayor que el valor de repetibilidad de este método de prueba esperado para esa concentración (valor de aceptación obtenido de la Tabla 16), entonces se considera que el procedimiento está fuera de control y el instrumento debe recalibrarse antes de continuar análisis.

2.1.10.2. Instrumento de calibración. Una vez analizadas las muestras, se deben seguir las instrucciones del fabricante para generar la curva de calibración óptima de concentración de azufre. Inmediatamente después de completar la calibración, determinar la concentración de azufre de una o más muestras de verificación de calibración. Los valores medidos deben estar dentro del 3% relativo de los valores certificados, si este no es el caso se deben tomar medidas correctivas y la repetición de la calibración.

Tabla 16.

Valores de precisión

X, mg/kg	Repetibilidad r , mg/kg Ec. 5 - Valores	Reproducibilidad R , mg/kg Ec. 7 - Valores
16.0	2.6	11
25.0	3.4	15
50.0	5.4	24
100.0	8.5	37
500	24	105
1000	37	165
5000	105	465
10000	165	727
46000	440	1943

Nota: *Adaptado de “Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry”. ASTM. Diciembre 2016.

Nota: * Se puede usar una muestra de control de calidad sólida sintética en lugar de muestras líquidas

2.1.10.3. Análisis de muestras desconocidas. Llene la celda con la muestra que se medirá hasta aproximadamente el 75% de la capacidad de la celda. Antes de llenar la celda puede ser necesario

calentar las muestras viscosas para que sean fáciles de verter en la celda. Asegúrese de que no haya burbujas de aire entre la ventana de la celda y la muestra de líquido. Mida cada muestra una vez.

Mida una muestra de control de calidad al final de cada lote de muestras desconocidas, pero no menos de cada diez muestras desconocidas, para verificar que el método esté bajo control.

Para muestras que contienen 100 mg/kg de azufre total o menos, se requieren determinaciones duplicadas. La diferencia entre estos análisis debe ser igual o menor que los valores de repetibilidad indicados en la Tabla 16. Si la diferencia es mayor, investigue la preparación de la muestra para identificar posibles fuentes de contaminación de la muestra y repita el análisis. El motivo de las mediciones duplicadas es identificar los problemas asociados con la contaminación de la muestra lo que lleva a una mejor precisión de los resultados en los niveles más bajos de azufre.

2.1.11. Cálculos. La concentración de azufre en la muestra se calcula automáticamente a partir de la curva de calibración.

2.1.12. Informe. Registre el resultado como % en masa total de contenido de azufre redondeando a tres cifras significativas, usando la práctica E29. Para concentraciones menores o iguales al 0.01%, informe los resultados en miligramos por kilogramo. Declare que los resultados se obtuvieron de acuerdo con el método de prueba D4294.

2.1.13. Control de calidad. El uso de programas de control de calidad puede ayudar a mantener el control estadístico de este método de prueba.

Con el propósito de establecer el estado de control estadístico del proceso de prueba desde la última calibración válida, muestras de control de calidad preparadas a partir del material

seleccionado y almacenado deben ser probadas regularmente como si fueran muestras de producción desconocidas. Los resultados son grabados e inmediatamente analizados por gráficos de control u otras técnicas estadísticamente equivalentes para determinar el estado de control estadístico del proceso de prueba total. El efecto de la investigación puede dar como resultado la recalibración del instrumento.

Dependiendo los puntos críticos de la calidad que se mide y la estabilidad demostrada del proceso de prueba, la frecuencia de las pruebas de muestra de control de calidad puede variar desde una vez por día. El aparato de prueba está en uso hasta dos veces por semana. Es recomendado que se analice al menos un tipo de muestra de control de calidad que sea representativa de muestras rutinariamente analizadas.

2.1.14. Precisión y tendencia.

2.1.14.1. Precisión. La precisión de esta prueba obtenida mediante el análisis estadístico de los resultados de las pruebas entre laboratorios, está dada por los siguientes parámetros:

2.1.14.1.1. Repetibilidad. La diferencia entre los resultados de prueba sucesivos obtenidos por el mismo operador con el mismo aparato en condiciones de funcionamiento constantes en materiales de prueba idénticos, a largo plazo, en el funcionamiento normal y correcto del método de prueba, excederá los siguientes valores solo en un caso.

$$r = 0.4347 * X^{0.6446} \text{ mg/kg} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$r = (0.4347 * ((Y * 10000)^{0.6446})) / 10000 \text{ \% en masa} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

X es la concentración de azufre en mg/kg total de azufre.

Y es la concentración de azufre en porcentaje (%) en masa total de azufre.

2.1.14.1.2. Reproducibilidad. La diferencia entre dos resultados individuales e independientes obtenidos por diferentes operadores que trabajan en diferentes laboratorios con material de prueba idéntico, a largo plazo, excedería los siguientes valores solo en un caso.

$$R = 1.9182 * X^{0.6446} \text{ mg/kg} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$R = (1.9182 * ((Y * 10000)^{0.6446})) / 10000 \text{ \% en masa} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

X es la concentración de azufre en mg/kg total de azufre.

Y es la concentración de azufre en porcentaje (%) en masa total de azufre.

2.1.14.2. Tendencia. El estudio inter laboratorio incluyó ocho materiales de referencia NIST.

Los valores certificados y la tendencia se dan en la Tabla 17.

Tabla 17.

Tendencias.

NIST Standard	Porcentaje de azufre (%)	Tendencia	Significativo
SRM 1616a	0.0146	0.0009	No
SRM 2724a	0.0430	0.0008	No
SRM 1617a	0.173	0.0003	No
SRM 1623c	0.381	-0.0119	Si
SRM 1621e	0.948	-0.0198	No
SRM 2717	3.02	0.0072	No

Nota: *Adaptado de “Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry”. ASTM. Diciembre 2016.

2.2 Otros métodos estandarizados para determinar el contenido de azufre en crudo

Existen otros métodos estandarizados para el cálculo y la determinación del contenido de azufre en hidrocarburos líquidos, los cuales son descritos a continuación. Cabe resaltar que, este proyecto está basado en la puesta en marcha de la norma guía ASTM D4294, para los aspectos técnicos y financieros del presente estudio.

Tabla 18.

Características de la norma ASTM D3227-16

Norma	Descripción	Aplicación
ASTM D3227 - 16	<p>Con este método se puede determinar la cantidad de azufre en muestras hidrocarbúricas líquidas, inyectándolas en una corriente de hidrógeno a un equipo que emplea el principio de hidrogenólisis.</p> <p>Posteriormente, a una temperatura constante de 1300 °C ocurre la pirolisis que convierte los aditivos de azufre en sulfuro de hidrógeno (H₂S).</p> <p>Por último, se utiliza acetato de plomo para crear una reacción calorimétrica y lograr detectar el sulfuro de hidrógeno producido.</p>	<p>Nafta, queroseno, alcohol, condensado de vapor, combustible para aviones, benceno, tolueno, y diversos destilados.</p> <p>Aplicado a líquidos con puntos de ebullición entre 30 °C y 371 °C. Así mismo, deben contener una concentración de azufre entre 0.02 mg/kg y 10 mg/kg.</p>

Tabla 19.

Características de la norma ASTM D2622-16.

Norma	Descripción	Aplicación
ASTM D2622 - 16	Permite determinar el contenido de azufre en muestras hidrocarbúricas, poniéndolas bajo la	Diésel, queroseno, combustible para aviones, nafta, aceite

Norma	Descripción	Aplicación
	<p>estimulación de un haz de rayos emitido por una fuente de rayos X.</p> <p>En estas circunstancias las intensidades de radiación (máxima y de fondo), son medidas a ciertos valores de longitud de onda anteriormente establecidos. La diferencia de estos valores es comparada con un patrón de calibración, para así lograr obtener la concentración de azufre en porcentaje en masa. Se puede realizar utilizando un espectrómetro de fluorescencia de rayos X, un detector y un analizador de pulso para poder establecer la lectura dada por el haz de rayos x y las longitudes de onda respectivamente.</p>	<p>residual, aceite base lubricante, aceite hidráulico, gasolina sin plomo, M-85 y M-100.</p> <p>Sustancias con 5.3% en masa de azufre.</p>

Tabla 20.

Características de la norma ASTM D1552-16.

Norma	Descripción	Aplicación
ASTM D1552 - 16	<p>Permite la determinación del contenido de azufre en hidrocarburos líquidos mediante la combustión que se presenta cuando se introducen estos en un horno con una atmosfera oxigenada.</p> <p>La temperatura a la que debe mantenerse el equipo depende del procedimiento escogido para la prueba, y éste a su vez, define el sistema de detección del azufre resultante de la combustión (que en su defecto es SO₂), ya sea</p>	<p>Derivados del petróleo entre los cuales están: aceites lubricantes, concentrados de aditivos.</p> <p>Muestras que hiervan a 177 °C (350 °F) y que contengan una fracción másica de azufre entre 0.22% y 242%.</p>

Norma	Descripción	Aplicación
	<p>detección infrarroja o detección por conductividad térmica.</p> <p>Adicionalmente el equipo debe contener trampas de absorción/desorción que aseguren la eliminación y secado de los polvos y la humedad respectivamente, resultantes de la reacción de combustión.</p>	

Tabla 21.

Características de la norma ASTM D129-13.

Norma	Descripción	Aplicación
ASTM D129 - 13	<p>Permite determinar la concentración de azufre en muestras de hidrocarburo con ayuda de una bomba.</p> <p>La muestra se oxida a causa del proceso de combustión que se presenta en la bomba que contiene oxígeno a presión. Posteriormente, en los residuos lavados de la misma se obtendrá sulfato de bario y se podrá determinar gravimétricamente.</p> <p>El procedimiento se puede realizar utilizando una bomba con una capacidad mínima de 300 ml, de acero inoxidable (o cualquier otro material que no se vea afectado por los procesos o los productos de combustión).</p>	<p>Aceites lubricantes, concentrados de aditivos, grasas lubricantes (que no se puedan quemar mediante el método de la lámpara). Básicamente cualquier producto con una baja volatilidad.</p> <p>Sustancias que contengan una fracción de azufre en masa > 0.1 %.</p>

Tabla 22.

Características de la norma ASTM D1266-13.

Norma	Descripción	Aplicación
ASTM D1266 - 13	<p>Permite la determinación del contenido de azufre presente en una muestra hidrocarbura, mediante la incineración de ésta en un sistema cerrado con una atmosfera compuesta por dióxido de carbono y oxígeno y utilizando una lámpara.</p> <p>En los residuos del proceso se obtendrá ácido sulfúrico, el cual posteriormente se enjuagará con aire para eliminar el dióxido de carbono disuelto.</p> <p>Por último, se podrá determinar el azufre acidimétricamente con una solución de hidróxido de sodio o gravimétricamente como sulfato de bario.</p> <p>Para su realización, se utiliza un sistema conformado por absorbedores, chimeneas, lámparas y trampas de pulverización.</p>	<p>Gasolina, queroseno, nafta, aceites combustibles destilados, ácidos nafténicos, alquil-fenoles.</p> <p>Sustancias con concentraciones de 0.01 a 04 % en masa de azufre.</p>

Tabla 23.

Características de la norma ASTM D4045-15

Norma	Descripción	Aplicación
ASTM D4045 - 15	<p>Con este método se puede determinar la cantidad de azufre en muestras hidrocarburas líquidas, inyectándolas en una corriente de hidrógeno, dirigida a un equipo que emplea el principio de hidrogenolisis.</p>	<p>Nafta, queroseno, alcohol, condensado de vapor, combustible para aviones, benceno, tolueno, y diversos destilados.</p>

Norma	Descripción	Aplicación
	Posteriormente, a una temperatura constante de 1300 °C, ocurre la pirolisis que convierte los aditivos de azufre en sulfuro de hidrógeno (H ₂ S). Por último, se utiliza acetato de plomo para crear una reacción calorimétrica y lograr detectar el sulfuro de hidrógeno producido.	Aplicado a líquidos con puntos de ebullición entre 30 °C y 371 °C. Así mismo, deben contener una concentración de azufre entre 0.02 mg/kg y 10 mg/kg.

3. Estudio de prefactibilidad

En el presente capítulo se realizó un estudio detallado de los aspectos técnicos, financieros y de mercado, los cuales encierra la puesta en marcha de la prueba de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos, con el fin de conocer si es factible la adición de esta al portafolio de servicios prestados en los laboratorios de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos por parte de la Universidad Industrial de Santander.

Por tal motivo, es prudente el análisis de todos los aspectos relacionados con este proyecto, como lo son: la valoración de la oferta y la demanda, el dimensionamiento y la ubicación, la capacitación del personal, la selección de proveedores y la inversión aplicada a equipos e insumos, con el propósito de crear varios criterios de comparación entre posibles propuestas, y así, poder realizar la elección de la más adecuada en cuanto a calidad y economía.

3.1 Análisis de mercado

El objetivo de este apartado es demostrar la viabilidad comercial del presente proyecto, puesto que se expone de manera global la representación de la prueba de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos en el mercado.

La oferta y la demanda interactúan entre sí fijando los precios y las cantidades de bienes y servicios que se van a producir. Por consiguiente, se comenzará relacionando lo anteriormente dicho con la prueba a implementar para lograr determinar el costo total del servicio.

3.1.1. Análisis de la oferta. Para esto, se debe conocer la cantidad de laboratorios a nivel local, regional y nacional, que prestan el servicio de la prueba de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos.

Este apartado se fundamenta en la búsqueda intensiva y adquisición de información (relacionada con el protocolo guía, el costo del servicio y el vínculo con algún tipo de organización de acreditación), de las diferentes empresas que brindan el servicio, para así establecer una comparación entre las mismas.

Para solicitar dicha información se pidió formalmente a cada una de las empresas que ofrecen el servicio, las diferentes cotizaciones para la prueba referente a través de un medio virtual. Gran parte de las entidades contactadas a nivel nacional (que conforman las 17 en total a las que se les solicitó información), cuentan con su respectivo registro frente al Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).

Dentro de los laboratorios contactados para prestar el servicio, la mitad dejó en espera la solicitud enviada o sencillamente afirmó no contar con los equipos para la realización de la prueba.

Dicho lo anterior, se presenta la estructura de la información recopilada, en la Tabla 24, en la cual se observan los diferentes aspectos de comparación anteriormente mencionados.

Tabla 24.

Laboratorios que prestan el servicio de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos y aspectos relevantes.

Entidad	Protocolo guía	Acreditación	Costo de prueba	Información
S.G.S COLOMBIA	ASTM D4294	Sí	\$ 230000	SGS (Alemania)
INTERTEK COLOMBIA	ASTM D2622	Sí	\$ 227000	Laboratorio Intertek New Orleans, LA (Estados Unidos)
PROASEM	ASTM D4294	Sí	\$ 196350	Laboratorio PROASEM (Barrancabermeja)
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ASTM D240	Sí	\$ 150000	Laboratorio de Metalúrgica – Planta de Aceros (Sede UIS Bucaramanga)
T.I.P	ASTM D4294	No	\$ 120000	Laboratorio CISLAB. Instalaciones en Girón - Santander
UNIVERSIDAD DEL VALLE	ASTM D1552	No	\$ 103000	Instalaciones Universidad del Valle
P.S.L PROANALISIS LTDA	ASTM D4294 ASTM D2622	No	-	Instalaciones Bucaramanga - Floridablanca

Entidad	Protocolo guía	Acreditación	Costo de prueba	Información
INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO	ASTM D1552	Sí	-	Instalaciones Piedecuesta - Santander
INSPECTORATE	ASTM D2622 ASTM D4294	No	-	Instalaciones Cartagena - Colombia

Nota: *El costo de la prueba de algunas entidades registradas no se encuentra listado, debido a que no se recibió respuesta alguna por parte de sus laboratorios.

Es necesario resaltar que algunas entidades registraron sus cotizaciones en moneda extranjera, por tal motivo, se utilizaron las tasas de cambio del peso colombiano (TRM), dadas para el día 17 de marzo de 2018:

- 1 USD = 2852,48 COP (Tomado de: Banco de la República – Colombia)
- 1 EUR = 3502,56 COP (Tomado de: Banco de la República – Colombia)

Está claro que existen pocas entidades a nivel nacional que prestan el servicio de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos. Así mismo, se escoge la mejor opción de referencia para el proyecto, partiendo de las siguientes consideraciones:

- Dos laboratorios (Universidad del Valle e Intertek Colombia), ofrecen el servicio para determinar contenido de azufre en hidrocarburos líquidos, sin embargo, lo realizan bajo el seguimiento de un protocolo diferente a el protocolo tomando como referencia (ASTM D4294).
- Dos laboratorios (Intertek y S.G.S), ofrecen el servicio de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos, no obstante, realizan la prueba fuera del país, lo cual puede fácilmente maximizar el costo de la prueba en función al factor transporte.

- Cuatro laboratorios (P.S.L, TIP, Universidad del Valle e Inspectorate), ofrecen el servicio de la prueba bajo el protocolo ASTM D4294, sin embargo, no cuentan con acreditación por parte de la ONAC.

Nota: *Inspectorate posee suspendida la acreditación NTC17025, no obstante, se encuentra a espera de una auditoría para el presente mes. PSL se encuentra en proceso de acreditación y la Universidad del Valle, por su parte, a pesar de no estar acreditada, desarrolla su quehacer bajo la norma ISO17025-2005.

- El laboratorio ubicado en la Escuela de Metalúrgica en las instalaciones de la universidad, realiza la prueba de determinación de contenido de azufre en sólidos y en hidrocarburos líquidos, bajo el método de la bomba calorimétrica (ASTM D240), debido a que es necesario realizar un análisis de poder calorífico inicialmente. Así mismo, en el laboratorio de Consultas Industriales, el cual hace parte de los laboratorios de experimentación de la Escuela de Química, se desarrolla esta prueba únicamente para muestras sólidas.
- En el caso del ICP, la prueba de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos es desarrollada bajo la norma ASTM D1552, aunque esta es realizada únicamente para proyectos de Ecopetrol, es decir, el servicio no se presta para proyectos o empresas externas.
- Únicamente un laboratorio (PROASEM), realiza la prueba bajo el protocolo ASTM D4294, se encuentra acreditada por el ONAC y puede realizar la misma en el país.

A manera de conclusión, realizar la prueba de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos en el *laboratorio de fluidos* de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, como ensayo, es una buena opción financiera para la universidad, teniendo en cuenta que es necesario

revisar los requerimientos técnicos, financieros y de calidad de la misma, que incurrirían en un valor adicional con respecto a las entidades que prestan actualmente el servicio.

3.1.2. Análisis de la demanda. En el siguiente apartado se hace un estudio relevante acerca de las entidades que necesitarían en algún momento realizar la prueba de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos.

Es necesario recalcar que los estudiantes de la materia *laboratorio de fluidos* de la Escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander son los más interesados en adquirir este ensayo dentro del portafolio de pruebas ofrecidas por dicho laboratorio, para poderla realizar con fines académicos y así lograr ampliar su conocimiento para permitirse ingresar a una industria siendo más competentes.

A continuación (Tabla 25), se presenta un informe acerca de los estudiantes los cuales en los últimos siete semestres han tenido la oportunidad de matricular la asignatura de *laboratorio de fluidos* dentro de su programa académico (información suministrada gracias a la Dirección de Admisiones), y que así mismo, podrán enriquecerse de manera formativa al poner en funcionamiento esta prueba dentro del laboratorio.

Tabla 25.

Personal estudiantil matriculados en la asignatura de laboratorio de fluidos en los últimos siete semestres.

Semestre	Personas matriculadas
2015-I	100
2015-II	122
2016-I	94
2016-II	110

Semestre	Personas matriculadas
2017-I	88
2017-II	94
2018-I	84

Habría que decir también que, al llevar a cabo dicha prueba existirían más oportunidades y nuevas ideas acerca de estudios que requieran la información que arroja la realización de éste ensayo, como lo es el contenido de azufre en hidrocarburos líquidos, ya que, este dato es muy importante a la hora de comercializar el crudo como tal. Por tal motivo, lo que se puede generar con esto también es la motivación de algunas entidades regionales o nacionales para que piensen en la posibilidad de ejecutar este tipo de prueba y así lograr que el número de clientes aumente.

Cabe señalar que existen también entidades o clientes externos interesados en la posibilidad de experimentar los análisis que esta prueba proporciona, y asegurar una mayor confiabilidad, control y calidad de sus productos.

Debido a esto, se realizó una comparación entre las diferentes entidades que quizás requieran del servicio en algún momento, teniendo en cuenta que estas no lo poseen dentro de su portafolio.

En la Tabla 26, se muestran las empresas que podrían definirse como clientes potenciales del servicio:

Tabla 26.

Clientes en potencia del servicio de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos.

Empresa	Información
BIOMAX	Sociedad colombiana dedicada a la distribución mayorista de combustibles líquidos derivados del petróleo, además de otras

Empresa	Información
	líneas de negocio. Ofrece servicios en comercialización de: gasolina para motor, gas natural, diésel, ACPM, ACEM, turbocombustible Jet A-1, entre otros.
CHEVRON PETROLEUM COMPANY	Unidad colombiana de la petrolera estadounidense Chevron. Su cartera de negocios incluye el desarrollo de operaciones de exploración y producción, así como actividades de comercialización. Brinda el suministro de productos que incluyen: diésel, gasolina, petroquímicos, gas licuado, gas natural, parafina, aditivos y lubricantes.
TERPEL	Empresa colombiana de comercialización y distribución de productos como lo son: combustibles líquidos, gas natural vehicular, lubricantes, aditivos. Así mismo, se enfocan en la distribución de combustibles al mercado de marinos, aviación e industria.
ENERGIZAR AVIACIÓN	Es una empresa colombiana, dedicada a la venta y suministro de combustible de aviación en el país, comercializando JET A1 y Av Gas 100/130. Cuenta con tres terminales principales y 20 estaciones de suministro de combustible en diferentes regiones del país para abastecer a las empresas de aviación.
PETROBRAS	Empresa brasilera con sucursal en Colombia, especializada en los segmentos de: exploración, producción, comercialización, transporte, fabricación de petroquímicos y fertilizantes, distribución de productos derivados del petróleo, suministro de gas natural, biocombustibles y productos químicos y generación de energía eléctrica.
EXXONMOBIL DE COLOMBIA S.A.	Firma estadounidense con fuerte participación en Colombia dentro del mercado de: combustibles, lubricantes y químicos. Realiza operaciones de exploración, producción y comercialización de petróleo y gas en el país.

Empresa	Información
FASTER FUEL S.A.S.	Dentro de sus productos de comercialización y distribución se encuentran: la gasolina corriente, la gasolina extra, diésel y supreme diésel.
COMBUSTIBLES DE COLOMBIA S.A. - COMBUSCOL	Entidad colombiana comercializadora, distribuidora y abastecedora de combustibles. Operan una red de estaciones de servicios en importantes ciudades del país. Dentro de los productos que suministran se encuentran: combustibles, lubricantes y demás derivados del crudo.
COLOMBIANA DE COMBUSTIBLES - CODECO	Empresa colombiana que comercializa, suministra y transporta combustibles, aceites lubricantes y aditivos. Dentro de su portafolio de productos ofrecen: queroseno, gasolina corriente oxigenada, diésel ecológico, biodiesel, gasolina extra oxigenada, turbocombustible Jet A-1, entre otros.
PETROMIL	Es una compañía colombiana, compuesta por las empresas PETROMIL S.A.S, PETROMIL GAS S.A E.S.P y TELBA S.A.S. Realiza operaciones relacionadas con el almacenamiento, procesamiento, refinación, comercialización y distribución de combustibles líquidos, lubricantes, gas domiciliario, gas vehicular, gas industrial, entre otros.
PROLUB S.A (GULF)	Empresa de distribución al por mayor de combustibles, dedicada a la fabricación y comercialización de lubricantes. Ofrece servicios en: análisis de aceites de segunda, asesoramiento técnico-comercial y logístico, para motores a gasolina o diésel, 2T, 4T, y fuera de borda.

3.2 Análisis técnico

El principal enfoque de este análisis técnico es asegurar que la prueba de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos se desarrolle en un ambiente con las condiciones

adecuadas, de manera infalible, confiable, y que siga todos y cada uno de los parámetros y lineamientos establecidos por las entidades de control de calidad. Este ámbito abarca los siguientes criterios.

3.2.1. Ubicación y dimensionamiento. Teniendo en cuenta el dimensionamiento de los equipos utilizados en el protocolo ASTM D4294, se requiere un área de aproximadamente $2 m^2$ para la instalación del espectrómetro, la balanza analítica y los reactivos e insumos indispensables para la realización de dicha prueba.

Dicho lo anterior, se crea la necesidad de encontrar un lugar que cuente con una infraestructura que asegure el óptimo funcionamiento del proyecto, que garantice la mínima posibilidad de que exista algún tipo de riesgo y que esté a la mano de los usuarios y el personal.

Para el cumplimiento de la premisa anterior se tienen presentes dos ubicaciones: la primera, el nuevo laboratorio de la Escuela de Ingeniería de Petróleos (EIP), localizado dentro de las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander, la segunda siendo el Parque Tecnológico Guatiguará (PTG), situado en Piedecuesta.

3.2.1.1. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Para poder facilitarle la utilización de los equipos anteriormente descritos a los estudiantes que lo requieran, sería factible que el proyecto se desarrollara en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, ya que para ellos les es más sencillo el ingreso a este lugar y adicional a esto, contarían con el acompañamiento académico de los maestros, quienes son los que poseen capacitación profesional y determinan el correcto desarrollo de la prueba.

En contra parte, una de las limitaciones con las que cuenta dicho laboratorio es el insuficiente espacio libre y la escasa probabilidad de extender éste para la instalación e implementación de nuevos equipos y protocolos respectivamente.

3.2.1.2. Parque Tecnológico de Guatiguará. Por otro lado, se presenta una segunda opción de ubicación la cual, al contrario de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, cuenta con una mayor cobertura relacionada con el área a utilizar por parte de los equipos, reactivos e insumos, si se llega a implementar la prueba establecida. Así mismo, sus instalaciones están completamente modernizadas en el ámbito tecnológico e investigativo y esto, además de brindar altos índices de calidad, permite asegurar la garantía en todos los procesos que allí se realizan.

Sumado a esto, existe un gran número de profesionales que hacen parte de la unidad científica e ingenieril de estas instalaciones, quienes además de prestar soporte académico son pilares en el ámbito investigativo y fundamentales en materia de oferta para dicha institución. Por ende, siendo éste uno de los entes investigativos más reconocidos del país, se beneficiaría al ampliar su gama de servicios.

La principal desventaja del PTG es la ausencia de personal docente del área de Laboratorio de Fluidos en dichas instalaciones de manera permanente, lo que implicaría que los equipos fueran manipulados por parte de auxiliares o en su defecto por profesores encargados del Laboratorio de Petrofísica, los cuales también hacen parte del personal de la Escuela de Ingeniería de Petróleos.

Por esta razón, se enseña un breve esquema que comprende la Tabla 28 y la Figura 1, para poder llegar a una mejor conclusión sobre la selección de las diferentes instituciones, y así, lograr conocer cuál sería la opción más recomendable.

Primero, se establece una valoración conceptual (cualitativa) con su correspondiente valoración numérica (cuantitativa). A partir de esto, se le otorgará un valor a cada uno de los criterios a evaluar que demostrará qué tan alejado o cercano se encuentra éste factor del objetivo.

Tabla 27.

Calificación cualitativa con su respectivo valor cuantitativo.

Valoración cualitativa	Valoración cuantitativa
Óptimo	5
Sobresaliente	4
Aceptable	3
Insuficiente	2
Deficiente	1

EIP	Criterios de evaluación	PTG
1	Área y/o dimensionamiento	4
5	Localización	5
2	Probabilidad de extensión	5
1	Laboratorios certificados	5
5	Personal capacitado	5
5	Presencia de la nómina de docentes	3
5	Factor ambiental	5
5	Factor seguridad	5

Figura 1. Elección de laboratorio para establecer el protocolo ASTM D4294.

Como es evidente, la mejor locación para implementar el protocolo ASTM D4294, es el Parque Tecnológico de Guatimar, con una valoración cuantitativa total de 37 puntos con respecto a los 29 puntos que obtuvieron los laboratorios de la Escuela de Ingeniería de Petróleos. De manera general, el PTG cuenta con mejor infraestructura, mayor probabilidad de extensión y aún más importante, las pruebas que se realizan en sus laboratorios se encuentran acreditadas, lo cual genera confianza en los clientes potenciales.

Así mismo, las desventajas que tiene el PTG como localización, se pueden cubrir si los maestros en acuerdo con los estudiantes cumplen un lineamiento de visitas para realizar las clases en los laboratorios, de acuerdo a ciertos horarios ya establecidos, para que el objetivo del aprendizaje con las pruebas experimentales sea satisfactorio.

3.2.2. Personal capacitado. Es necesario que sea personal que se encuentre familiarizado tanto con el ambiente de laboratorio, como con el protocolo estándar ASTM D4294. No es obligatorio que posea algún tipo de certificación o título con especialización en la prueba, ya que uno de los requerimientos a los proveedores es capacitación en el manejo de los equipos.

3.2.3. Selección de proveedores. Este apartado se concentra en establecer un punto de búsqueda y selección de los proveedores, quienes ofertarán los equipos, reactivos, y demás implementos para la puesta en marcha del protocolo ASTM D4294, que consiste en la determinación del contenido de azufre en hidrocarburos líquidos.

Fue apta la utilización de la red de internet para la búsqueda intensiva de los posibles proveedores de los equipos, insumos y demás herramientas. Para la selección de estos, se utilizó el modelo que se presenta a continuación en la Figura 2.

3.2.3.1. Análisis de requerimientos. Los componentes fundamentales en los cuales radica este proyecto de prefactibilidad para el laboratorio de fluidos son los equipos y reactivos propios de la prueba de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos establecida en la norma ASTM D4294.

3.2.3.1.1. Equipos. Partiendo de lo establecido en el apartado 2.1.5., que hace parte de la descripción de la norma ASTM D4294 (la cual fue escogida como referente financiero), se tienen presentes los equipos a cotizar.

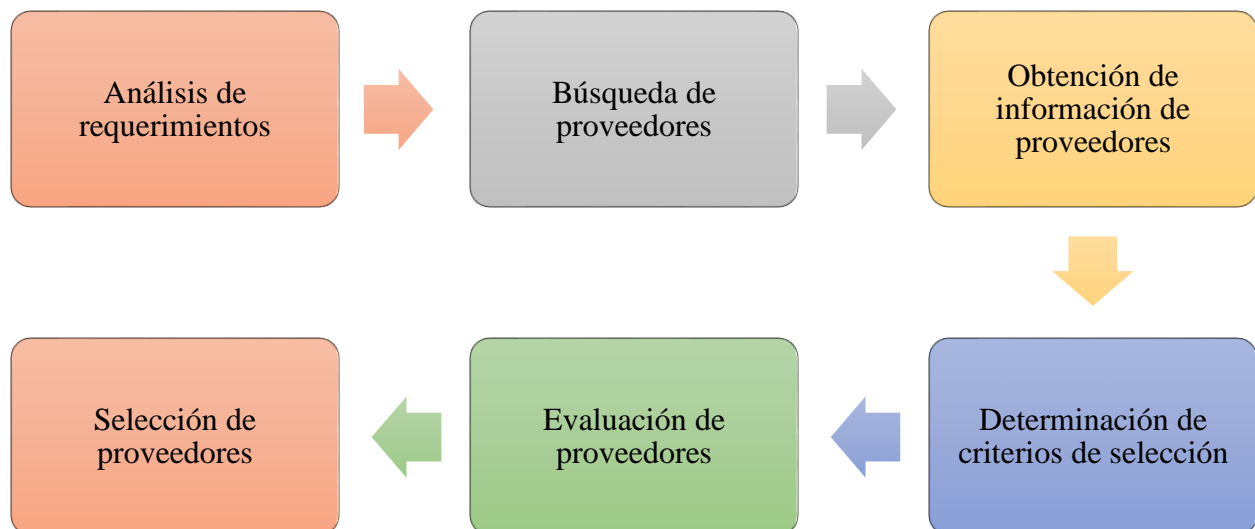


Figura 2. Etapas para la selección de proveedores.

Nota: *Adaptado de “Gestión logística y comercial”. GÓMEZ APARICIO, Juan Miguel.

Cabe resaltar que, para el referido de búsqueda se definieron únicamente el espectrómetro de fluorescencia de rayos x y la balanza analítica, ya que los demás elementos como son: la fuente de excitación de rayos x, detector de rayos x, las celdas de muestra, los filtros y demás equipos

electrónicos de acondicionamiento de señales y manejo de datos, son actualmente complemento de este primero en el mercado.

3.2.3.1.2. Reactivos. Por otra parte, se tienen en cuenta los reactivos listados en la Tabla 12. Reactivos requeridos – ASTM D4294, para solicitar las cotizaciones de estos a los diferentes proveedores. Dentro de los materiales a adquirir se definió cotizar los siguientes: sulfuro de di-n-butilo (DBS), polisulfuro di-terc-nonilo, aceite mineral blanco (MOW), tiofenos y helio.

3.2.3.2. Búsqueda y registro de proveedores. Para comenzar, se realizó una búsqueda intensiva con el propósito de encontrar ofertantes que suplieran las necesidades de materiales e instrumentación expuestos en el anterior apartado. Cabe resaltar que esta investigación se realizó únicamente a través de la red de internet, debido a que el mercado tiene en la actualidad más interacción por este medio.

Es necesario aclarar que, para los equipos requeridos, específicamente para el espectrómetro de fluorescencia de rayos x, se tuvieron en cuenta fuentes web de marcas tanto nacionales como internacionales, contactando para estas últimas con distribuidoras existentes en el país.

En cambio, para la búsqueda de proveedores de reactivos y materiales, y partiendo del punto financiero, se definió utilizar únicamente marcas nacionales a las cuales solicitarles información sobre sus productos (exceptuando el polisulfuro di-terc-nonilo, ya que éste no se comercializa a nivel nacional).

De tal manera que se realizó un registro de aquellas entidades que ofrecieron sus productos, con información técnica y sus respectivas cotizaciones de los equipos e insumos, y se representan a continuación:

Tabla 28.

Registro de proveedores de espectrómetros.

Proveedor	Marca	Correo
LAB - KITS	U-THERM	info@lab-kits.com
PETROLEUM TOTAL EQUIPMENT	CK	ventas@pte.com.co
KREIS MASCHINEN LTDA	EDX	msanchez@kreismaschinen.com
KREIS MASCHINEN LTDA	CUBE	msanchez@kreismaschinen.com
SyZ COLOMBIA SAS	KOEHLER	crisrina.ocana@grupo-syz.com
CASA CIENTIFICA	EDX	ventas2@casacientifica.com
ARQUITEC SOLAR	-	info@arquitecsolar.com

Tabla 29.

Registro de proveedores de balanzas analíticas.

Proveedor	Marca	Correo
CASA CIENTIFICA	OHAUS	ventas2@casacientifica.com
SCHMIDT SUCESORES S.A.S	AND	info@schmidtsucesores.com.co

Tabla 30.

Registro de proveedores de reactivos químicos.

Proveedor	Correo
ANNARDX ARTILAB SA	ventas@annardx.com
ARQUILAB LTDA	arkilab@gmail.com
ARTILAB SA	artilab@artilab.com.co
AVÁNTIKA	Cotizaciones@avantika.com.co
ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA.	ventas1@elementosquimicos.com.co
DELTA OIL	servicioalcliente@detaoil.com
HACH	servicioalcliente@andia.com
PRAXAIR	sergio_reyes@praxair.com
QUIMICOS FG SAS	servicioalcliente@quimicosfg.com

3.2.3.3. Información técnico-financiera de los equipos y reactivos. Teniendo como base lo postulado en los dos anteriores apartados, relacionados con el seguimiento de los posibles proveedores, se procedió con la siguiente etapa que abarca la solicitud y el ingreso de las ofertas por escrito, teniendo como referentes los aspectos técnicos y financieros de las propuestas, ya que son estos los que establecen el filtro de selección de la mejor opción.

En el caso del espectrómetro, se aseguró que cumpliera con las siguientes características: tipo de espectrómetro, tipo de fuente radioactiva, clase de filtro, marca, kit de operación y mantenimiento, garantía, instalación y capacitación, condiciones ambientales soportadas, sistema de manejo de datos, requerimientos eléctricos, certificación de normas, dimensiones (tamaño y peso) y costo del equipo.

Así mismo, para la balanza analítica, se tuvieron como referentes su capacidad máxima, su lectura mínima de precisión, marca, modo de aplicación, requerimientos eléctricos y de alimentación, unidades de medida, tamaño, peso y costo.

Por otro lado, para los reactivos químicos se fijaron los parámetros de: marca, presentación, tiempo de entrega y costos.

Para complementar, se presentan las ofertas recibidas por parte de los proveedores y el catálogo presentado por los mismos para los productos demandados (los equipos y los reactivos respectivamente), como sigue:

Tabla 31.

Información técnica y financiera de los espectrómetros ofertados.

Proveedor	Marca / Referencia	Características		Precio
LAB - KITS	U-THERM	Integración	electromagnética.	\$ 38930663
		Controlado	por microprocesador.	

Proveedor	Marca / Referencia	Características	Precio
		<p>Precisión: (1) Repetibilidad: <0.029 (S+0.6), (2) Reproducibilidad: <0.063 (S+0.6). Rango de medición: 7 ppm a 5 Wt%. Volumen de muestra: 2 a 3 ml. Profundidad de la muestra 3 a 4 mm. Tiempo de medición: 60, 120, 240, 300 y 600 sg. Determinación automática (1 sola muestra). Película Mylar, 3" diámetro, 3.6 µm. Temperatura de operación: 41 a 104 °F. Humedad relativa: ≤85% (86°F). Corrección automática de presión y temperatura. 9 curvas de calibración. Pantalla LCD. Fuente de alimentación: CA 220V ± 20V, 50 Hz. Potencia: 30W. Dimensiones: 36.8 cm x 46.8 cm x 13.6 cm. 13 kg.</p>	
PETROLEUM TOTAL EQUIPMENT	CK/220-2018	<p>Energía monocromática dispersiva XRF. Precisión: -. Rango de medición: 2.6 ppm a 10 Wt%. Volumen de muestra: 7 ml. Tiempo de medición: 30 - 900 sg. Temperatura de operación: 41 a 104 °F. Humedad relativa: 30 – 85%. 30 curvas de calibración.</p> <p>Película Mylar, 3" diámetro, 3.6µm. Cesta de muestra, 1.38", 3,6 um. Filtro de ventilador Asm, 60mm Fan. Set de calibración 9 estándares x 10 ml. Pipeta desechable, 4,8 ml, graduada en 2 ml. Impresión de salida de datos. Fuente de</p>	\$124579348

Proveedor	Marca / Referencia	Características	Precio
		alimentación: 110 – 240 VAC \pm 10%, 50-60 Hz. Dimensiones: 36.8 cm x 41.9 cm x 15.3 cm. 12.7 kg.	
KREIS MASCHINEN LTDA	EDX/3200S PLUS	Cámara de gas cerrada (helio). Precisión: \pm 15% del valor en concentraciones <100 ppm, \pm 10% del valor en concentraciones \geq 100 ppm. Rango de análisis: 2.8 ppm a 20 %Wt. Límite de detección: 10 ppm (3 ppm bajo He). Porta muestras: \varnothing 24mm x 22mm. Colimadores 1 mm y 3 mm. Volumen de muestra: 17 ml. Tiempo de medición: 50 a 100 sg. Temperatura de operación: 50 – 95 °F. Humedad relativa: \leq 70%. PC e impresora ink-jet (chorro de tinta). Tubo de rayos x de 50 W (Fuente de excitación anti-radiactiva). (Resolución 165 KeV). Detector Si-Pin. Flujómetro. Fuente de alimentación: AC 110V/220 V. Dimensiones: 37 cm x 36 cm x 41.8 cm. 32 kg.	\$ 89831638
KREIS MASCHINEN LTDA	CUBE/100S	Método de prueba: EDXRF. Rango de análisis: 1 ppm a 99.99 WT%. Límite de detección: 20 ppm. Tiempo de medición: 30 a 130 sg. Temperatura de operación: 5 a 50 °F. Humedad relativa: \leq 90%. Colimador por defecto. Tubo de rayos X – 4W (0 – 50 Kv). Detector SDD. Sistema de protección de rayos x de 3D. Paquete de software (corrección de intensidad). Cámara para visualización	\$ 76011386

Proveedor	Marca / Referencia	Características	Precio
		de la muestra. Fuente de alimentación: AC 220 ± 5V o 110 ± 5V Dimensiones: 21.2 cm x 25.8 cm x 25.8 cm. 4.5 kg.	
SyZ COLOMBIA SAS	EDX1000/K47900	Filtración automatizada. Límite de detección: 5 ppm en aire (3 ppm en He). 32 a 40 mm de apertura de muestra. Temperatura de operación: 50 – 95 °F. Humedad relativa: < 85% (sin condensación). Enfriamiento termoeléctrico Peltier. Tubo de rayos X de 50 kV. 6 posiciones de tubo con óptica. Detector de diodos Si-Pin. Fuente de alimentación: AC 100/240V, 1.4A, 50 – 60 Hz, Monofásico. Potencia máxima de 4W. Computadora y pantalla táctil WVGA de 8". Dimensiones: 13 x 17 x 14.8. 16 kg.	\$ 147908610
CASA CIENTIFICA	EDX/7000-8000	Método de medida: Dispersión de energía. Rango de medición: 11Na a 92U (EDX7000), 6C a 92U (EDX8000). Tamaño de muestra: 30 x 27.5 x 10 cm. Masa de muestra: 5kg. Espacio para 12 muestras. Temperatura de operación: 50 – 86 °F. Humedad relativa: 40 – 70% (sin condensación). Refrigeración electrónica con aire. Tubos de rayos X Rh de 4 a 50 KeV. Detector SDD. Filtros primarios. Calibración automática. Fuente de alimentación: 100 V AC ±	\$ 347475072

Proveedor	Marca / Referencia	Características	Precio
		10%, 15 A. Dimensiones: 46 x 59 x 36 cm. 45 kg.	

Nota: *Se utilizaron las tasas de cambio del peso colombiano, dadas para el 02 de abril del 2018, para convertir los valores recibidos en USD y EUR.

Tabla 32.

Información técnica y financiera de la balanza analítica ofertada.

Proveedor	Marca/Referencia	Características	Costo
CASA CIENTIFICA	OHAUS, PIONEER/PA124	Precisión: 0.1 mg Capacidad: 120 g	\$ 5488280
SCHMIDT SUCESORS S.A.S	AND/HR250	Precisión: 0.1 g Capacidad: 320 g	\$ 9675890

Tabla 33.

Especificaciones del sulfuro de di-n-butilo.

Proveedor	Marca	Presentación	Costo
ELEMENTOS	Alfa (USA)	100 ml	\$ 464358
QUIMICOS LTDA		500 ml	\$ 2082500
QUIMICOS F.G S.A.S	Sigma	2.5 ml	\$ 1547000

Tabla 34.

Especificaciones del tiofeno.

Proveedor	Marca	Presentación	Costo
ELEMENTOS	Alfa (USA)	50 g	\$ 194021
QUIMICOS LTDA		250 g	\$ 411326
		500 g	\$ 798076
	Sigma	100 g	\$ 1309000

Proveedor	Marca	Presentación	Costo
QUIMICOS S.A.S	F.G	500 g	\$ 1547000

Tabla 35.

Especificaciones del aceite mineral blanco.

Proveedor	Presentación	Costo
DELTA OIL S.A.S	5 gal	\$ 119000
LUBRIGRAS S.A.S	5 gal	\$ 283000
TECNOLUBRICANTES POWER S.A.S	5 gal	\$ 124950

Tabla 36.

Especificaciones del helio.

Proveedor	Presentación	Costo
PRAXAIR	6 m ³	\$ 1547000

Tabla 37.

Especificaciones del polisulfuro di-terc-nonilo.

Proveedor	Presentación	Costo
TIANJIN XI ENSHI BIOCHEMICAL TECHNOLOGY LTD	50 ml	\$ 72584

Nota: *Los precios descritos anteriormente tienen el IVA del 19% incluido.

Es necesario mencionar que la mayoría de los proveedores investigados y contactados no contaban con los insumos requeridos dentro de su portafolio de productos ofrecidos.

3.2.3.4. Instauración de los criterios de selección. Para hacer una correcta elección acerca de los proveedores, se deben tener en cuenta diferentes aspectos, los cuales los hacen más significativos al momento de elegir. En algunos casos se tienen en cuenta ciertos factores como la forma de pago por dicho producto o también si la entrega es inmediata, siendo estos sencillos de evaluar. Cabe aclarar que esas condiciones también pueden variar dependiendo de la situación que se presente.

Teniendo la lista de los posibles proveedores, se requiere conocer algunos aspectos o criterios que son necesarios para poder facilitar la elección de los mismos, y se describen a continuación:

Tabla 38.

Criterios por conocer para elección de proveedores.

Criterios referidos a la calidad	Criterios económicos	Otros criterios
Calidad de los productos	Precio unitario	Periodo de validez de la oferta
Materiales utilizados	Descuento comercial	Causas de terminación del contrato
Características técnicas	Descuentos por volumen	Circunstancias que pueden dar lugar a revisiones en los precios
Garantía	Forma de pago	Plazo de entrega
Formación de los usuarios	Plazo de pago	Embalajes especiales
Servicio postventa	Precios de envases y cubiertas	Tiempo de la empresa
Servicio de atención al cliente	Pago del transporte	Recomendaciones de otras empresas
Otra información necesaria	Pago del seguro	
	Recargos por aplazamiento de pago	

A continuación, se tienen en cuenta los aspectos anteriormente mencionados para poder hacer una elección para el espectrómetro de fluorescencia de rayos x.

- Espectrómetro de fluorescencia de rayos x

Los aspectos elegidos para la elección de proveedores de espectrómetros de fluorescencia de rayos x fueron: características técnicas, calidad del producto, capacitación de los usuarios, precio unitario, servicio de posventa y asistencia técnica, periodo de validez de la oferta y plazo de entrega.

Para poder facilitar la selección de la oferta más conveniente, se siguió un procedimiento basado en una matriz de decisión de opciones, en donde a cada uno de los parámetros a analizar se le otorgara un valor de 0 a 1, con el propósito de que al realizar las suma de estos se calcule una puntuación total. Así mismo cada uno de los criterios secundarios tendrá una valoración de 0 a 10, de tal forma que 10 el valor más aproximado a lo que se busca y 0 el valor más alejado.

Cabe resaltar que la valoración de cada criterio es atribuida bajo juicio propio.

❖ **Características técnicas:**

Información que el proveedor debe suministrar sobre las características de un equipo al cliente para poder conocer de forma verídica las prestaciones de dichos equipos.

Se le asigna un porcentaje de 0.3, ya que de estas características depende del correcto funcionamiento del equipo bajo criterio de la norma.

Tabla 39.

Principios de selección para las características técnicas del equipo.

Criterio secundario	Condición	Valoración
Fuente de excitación de rayos x	Capacidad / requisitos bajo la norma	1.5

Criterio secundario	Condición	Valoración
Celda de muestra	Profundidad – película utilizada	1.5
Detector de rayos x	Sensibilidad	1.5
Filtros	Tipo de filtro	1.5
Equipo de acondicionamiento de señales	Capacidad de corrección	1.5
Pantalla o impresora	-	1
Norma	ASTM D 4292 / Otras	1.5

❖ Calidad del producto:

Este parámetro es muy importante, ya que se deben hacer evaluaciones comparativas de las características físicas y composicionales del producto, aunque este aspecto no necesariamente busca la mejor calidad sino la que la organización esté buscando en el momento. Si los productos poseen la misma calidad se busca escoger el más económico.

El correcto funcionamiento del equipo depende en gran parte de la calidad de este, por tanto, se le otorga a este parámetro un valor de 0.2.

Tabla 40.

Pautas de selección para la calidad del producto.

Criterio secundario	Valoración
Tiempo de medición	2
Condiciones térmicas y de humedad	3
Precisión en los resultados	2
Rango de medición	3

❖ Capacitación de los usuarios:

A este aspecto se le otorga un valor de ponderación de 0.05.

Tabla 41.

Aspectos de selección: Capacitación de los usuarios.

Criterio secundario	Valoración
Incluye capacitación	10
No incluye capacitación	0

❖ Precio unitario:

Este aspecto es muy importante, en cuanto al capital con el cual se cuenta para poder satisfacer los requerimientos de la norma. A este parámetro se le asignó un valor de 0.2.

Tabla 42.

Parámetro de selección - Precio unitario.

Rango de precios (Millones COP)	Valoración
\$ 10 - \$ 30	10
\$ 30 - \$ 60	7.5
\$ 60 - \$ 90	5
\$ 90 - \$ 120	2.5
> \$ 120	0

❖ Servicio posventa:

Aspecto que abarca todo lo relacionado con la asistencia, seguridad y soporte técnico brindada después de la venta, para reforzar la interacción cliente – proveedor.

Básicamente infiere las actividades de atención y garantía a un plazo posterior a la compra que asegure la fidelidad del cliente. A este aspecto, se le asigna un valor de 0.1.

Tabla 43.

Criterios para la selección: servicio posventa.

Criterio secundario	Valoración
Soporte y seguridad \geq 1 año	10
Soporte y seguridad $<$ 1 año	0

❖ **Periodo de validez de la oferta:**

Se especifica como el plazo máximo de vigencia de la cotización. A este aspecto se le otorga un valor de 0.05.

Tabla 44.

Aspecto de selección: periodo de validez de la oferta.

Periodo de validez	Valoración
Validez de la oferta \geq 30 días	10
Validez de la oferta $<$ 30 días	0

❖ **Plazo de entrega:**

Por último, a este aspecto se le otorgó un valor de 0.1

Tabla 45.

Aspecto de selección: Plazo de entrega.

Plazo de entrega	Valoración
- 30 días	10
30 – 45 días	7.5
– 60 días	5
> 60 días	2.5

Una vez propuestos los parámetros de análisis, se procede a desarrollar el *método de la matriz de decisión de opciones*, evaluando todas las propuestas. Se presenta por ende un ejemplo del proceso ya desarrollado con dos de las marcas de espectrómetros recibidas dentro de las propuestas: CUBE y CK.

Tabla 46.

Evaluación de parámetros - espectrómetros de fluorescencia de rayos x: CUBE y CK.

Parámetro	Porcentaje	CUBE	CK
Características técnicas	0.3	7	7
Calidad del producto	0.2	8	7
Capacitación de los usuarios	0.05	10	10
Precio unitario	0.2	5	0
Servicio posventa	0.1	10	10
Periodo de validez de la oferta	0.05	10	10
Plazo de entrega	0.1	5	5

Partiendo de las valoraciones estipuladas en la Tabla 46, se obtienen los siguientes cálculos:

$$\text{Calificación}_{\text{CUBE}}: (0.3*7) + (0.2*8) + (0.05*10) + (0.2*5) + (0.1*10) + (0.05*10) + (0.1*5) = 7.2.$$

$$\text{Calificación}_{\text{CK}}: (0.3*7) + (0.2*7) + (0.05*10) + (0.2*0) + (0.1*10) + (0.05*10) + (0.1*5) = 6.$$

Así mismo se obtuvieron los porcentajes respectivos para cada uno de los equipos ofertados, representados en la siguiente tabla:

Tabla 47.

Elección de espectrómetro según los criterios planteados en la matriz de decisión de opciones.

Espectrómetro de fluorescencia de rayos x	Ponderación
EDX 3200S - PLUS	8.5
U-THERM	7.22
CUBE 100S	7.2
EDX 7000	6.4
EDX 8000	6.4
CK 220 - 2018	6
EDX 1000 – K47900	6

Partiendo de los resultados obtenidos anteriormente, se pueden deducir varias conclusiones dentro de las cuales están:

- Ninguno de los espectrómetros cotizados cumple con la total de los requerimientos estipulados en la norma ASTM D4294, y por tal motivo se le dio más peso a ciertos criterios que se acercaban a las especificaciones del equipo requerido.

Cabe resaltar que el valor unitario de los equipos ofertados varía, dependiendo de si estos deben ser importados o no.

Por otra parte, en algunas de las especificaciones, las entidades no describen dentro de su rol la instalación de dichos equipos; Únicamente aseguran la entrega y garantía de estos.

- Balanza analítica

Para el caso de este equipo, no se tiene en cuenta el modelo de selección de proveedores basado en el método de decisión de opciones. Esto se debe a que: (1) Los criterios de comparación para este equipo se fundamentan únicamente en las características de precisión, capacidad de soporte y precio, y (2) Se recibieron sólo dos cotizaciones de manera no inmediata por parte de los diferentes proveedores.

Así mismo, cabe resaltar que la cotización y futura compra de este producto no interfiere en el método, ya que el lugar en donde se hará la respectiva instalación del espectrómetro de fluorescencia de rayos x, ya cuenta con la utilización de este producto en otras pruebas de análisis de crudo.

- Reactivos

Este aspecto, al igual que el anterior, no se argumenta a partir de ningún modelo de selección de criterios; por el contrario, se definió el costo de venta como el aspecto más importante en el momento de establecer un punto de comparación entre las ofertas recibidas de dichas sustancias.

A partir de lo mencionado anteriormente en el apartado 3.2.3.1, que corresponde al análisis de requerimientos, se realizó un estudio comparativo para los reactivos a continuación: sulfuro de di-n-butilo (DBS) 500 ml, polisulfuro di-terc-nonilo 50 ml, aceite mineral blanco (MOW) 5 gal, tiofenos 500 g y helio 6 m³. Se espera que estos materiales tengan una vida útil de aproximadamente 1 año.

Tabla 48.

Precio más representativo para el sulfuro de di-n-butilo (DBS) 500 ml.

Entidad	Costo de venta	Distinción
ELEMENTOS QUIMICOS LTDA	\$ 2082500	<input type="checkbox"/>

Tabla 49.

Precio más representativo para el tiofeno 500 g.

Entidad	Costo de venta	Distinción
ELEMENTOS QUIMICOS LTDA	\$ 798076	<input type="checkbox"/>
QUIMICOS F.G S.A.S	\$ 1547000	×

Tabla 50.

Precio más representativo para el aceite mineral blanco 5 gal.

Entidad	Costo de venta	Distinción
DELTA OIL S.A.S	\$ 119000	<input type="checkbox"/>
LUBRIGRAS	\$ 283000	×
TECNOLUBRICANTES POWER S.A.S	\$ 124950	×

Tabla 51.

Precio más representativo para el helio 6 m³.

Entidad	Costo de venta	Distinción
PRAXAIR	\$ 1547000	<input type="checkbox"/>

Tabla 52.

Precio más representativo para el polisulfuro di-terc-nonilo 50 ml.

Entidad	Costo de venta	Distinción
TIANJIN XI ENSHI BIOCHEMICAL TECHNOLOGY LTD	\$ 72584	<input type="checkbox"/>

3.2.4. Resultados.

3.2.4.1. Espectrómetro de fluorescencia de rayos x. En función de los resultados obtenidos en el apartado anterior, en donde se desarrolla la selección de la mejor oferta, teniendo como base el modelo de decisión de opciones y la apreciación personal de los autores, se determina que la mejor alternativa para la prueba de determinación de azufre en hidrocarburos líquidos, la marca EDX 3200S – PLUS cuyo proveedor en Colombia es la empresa KREIS MASCHINEN LTDA.

A continuación, se presentan los motivos por los cuales esta marca obtuvo una alta valoración en el ponderado global y por tanto fue seleccionada:

- Su sistema de ejecución se basa tanto en la dispersión de energía, como en la dispersión de longitud de onda establecidas para el desarrollo de las pruebas ASTM, principalmente la ASTM D4294 y la D2622.
- Cuenta con una cámara sellada de helio que disminuye el consumo de este, permitiendo controlar el flujo y asegurando mediciones más precisas en comparación con otras ofertas y/o equipos más antiguos.
- Dentro de sus componentes de instalación incluye: fuente de alimentación AC 110V/220V con corriente ajustable (0 a 1000 μ A), cable para balanza, cable pc o impresora (USB), tubo de rayos x de 50 watts (con resolución de 165 eV a Fe 55 KeV), ventana de berilio con detector Si – Pin (con límite de detección de 15 ppm en aire y de 2.8 en helio), con muy buena capacidad disipadora de calor para asegurar análisis estables (temperatura de trabajo 50 – 95 °F).
- Cuenta también con porta muestras con dimensiones de 19 mm x 10 mm, y colimadores de 1 mm y 3 mm. Asegura tiempos de análisis de 100 a 300 segundos.
- Aparte de ser específico para la realización de las normas ASTM D4294 y D2622, también puede ser utilizado bajo otros métodos ASTM adicionales como lo son el D5453 y el D7220, lo cual extendería su aplicación a otras sustancias como por ejemplo el E – 85, M – 85, RFG, combustible JET, biodiesel, entre otros.
- El costo de este equipo es del orden de \$ 89'831.638 COP, parámetro que representa un beneficio para la prueba, siendo una de las opciones que cumple con casi todos los criterios evaluados.

- Así mismo, asegura capacitación para el uso correcto del equipo ya instalado dentro de las instalaciones.
- La garantía que ofrece la empresa por este producto es de un año, a partir de su respectiva entrega e instalación; este criterio cubre los defectos del equipo a la hora de entrega, si ocurren durante el transporte. Por otra parte, no cubre el mal uso de los usuarios hacia el mismo.

Además, el espectrómetro EDX 3200S – PLUS permite el análisis de otros elementos aditivos para aceite como lo son: bario (Ba), fósforo (P), zinc (Zn), potasio (K), molibdeno (Mo) y plomo (Pb), todo esto dependiendo de la configuración de calibración que ofrece este equipo.

Tabla 53.

Espectrómetro de fluorescencia elegido.

Proveedor	Espectrómetro elegido	Costo
KREIS MASCHINEN LTDA.	EDX 3200S - PLUS	\$ 89831638

3.2.4.2. Balanza analítica. La oferta que mejor se adecua a los requerimientos establecidos para la prueba, bajo la norma ASTM D4294, fue el equipo de marca OHAUS, modelo PIONEER PA124, ofertada por casa científica como proveedor en Colombia. Esta cumple con los requerimientos necesarios para la prueba como lo son: su capacidad máxima de 120 gramos (g) y una lectura mínima de 0.1 miligramos (mg). De la misma manera, es el equipo menos costoso. Seguidamente, se muestra la oferta seleccionada a continuación.

Tabla 54.

Balanza analítica seleccionada.

Proveedor	Balanza seleccionada	Costo
CASA CIENTIFICA	OHAUS, PIONEER PA124	\$ 5488280

3.2.4.3. Reactivos. Debido a que sería una acción tediosa conseguir cada uno de los materiales con sus respectivos proveedores, Se decidió elegir a ELEMENTOS QUIMICOS LTDA como el principal proveedor, ya que esta empresa posee el sulfuro de di-n-butilo (DBS) 500 ml y el tiofeno 500 g a un menor costo comparado con otras entidades.

Por otra parte, se escogió a PRAXAIR como la proveedora del helio, ya que esta es una empresa distribuidora localizada a las afueras de la ciudad de Bucaramanga y, por lo tanto, su entrega sería de forma inmediata.

En la siguiente tabla se ilustran los diferentes resultados correspondientes al estudio de los reactivos con sus diferentes proveedores.

Tabla 55.

Proveedores de insumos seleccionados.

Empresa	Insumo	Costo
ELEMENTOS QUIMICOS LTDA	Sulfuro de di-n-butilo	\$ 2082500
ELEMENTOS QUIMICOS LTDA	Tiofeno	\$ 798076
DELTA OIL S.A.S	Aceite mineral blanco	\$ 119000
PRAXAIR	Helio	\$ 1547000
TIANJIN XI ENSHI BIOCHEMICAL TECHNOLOGY LTD	Polisulfuro di-terc-nonilo	\$ 72584
TOTAL		\$ 4619160

3.3 Análisis de costos

La evaluación financiera representa el estudio que se realiza de la información contable de la empresa (realidad económica), utilizando como complemento ciertos criterios de financiación.

En otras palabras, el análisis financiero es el estudio completo de toda la planeación del servicio, abarcando elementos cualitativos y cuantitativos que relacionan la interacción costo – beneficio con los factores internos y externos que puedan afectar la operación.

3.3.1. Objetivo. En este apartado, se busca presentar cada uno de los aspectos relacionados con la construcción financiera del servicio, incluyendo como requisito las inversiones necesarias para implementarlo, los costos de elaboración y ventas, los posibles ingresos vinculados a su prestación y el valor al cual se podría ofrecer en el mercado.

3.3.2. Estimación de inversiones (CAPEX). Los costos de inversión o costos preoperativos son todos aquellos activos necesarios para poner en marcha un determinado proyecto, que abarcan desde el inicio de su prefactibilidad (concepción de la idea), hasta la producción del primer producto o servicio.

Para la puesta en marcha de un proyecto desde el punto de vista financiero, se deben tener en cuenta la fase de instalación o ejecución, la fase de operación o funcionamiento y la fase de preliquidación. Lo concerniente a las inversiones se ubica en esta primera fase, representando cierta salida de dinero en pro del proyecto.

Partiendo de esta premisa, las inversiones se pueden catalogar como inversiones fijas, diferidas y capital de trabajo.

3.3.2.1. Inversiones fijas. Se refieren a todos aquellos activos cuya vida útil es despreciable si es mayor a un año, que tienen la finalidad de proveer las condiciones necesarias para que una entidad lleve a cabo un proyecto y que no son motivo de transacciones corrientes.

Aplicando el concepto anterior al proyecto planteado, las inversiones fijas incluyen: la adquisición de equipos, insumos y demás materiales necesarios para la realización de este, y para los cuales su valor es inversamente proporcional al desgaste generado por su uso.

3.3.2.2. Inversiones diferidas. A diferencia de las inversiones fijas, estas son recuperables a largo plazo ya que son intangibles e incluyen: gastos y costos operativos del proyecto, durante su periodo de funcionamiento. Este tipo de inversiones también son importantes en la función preoperativa del producto, aunque no se interpone directamente con la producción. Estos son derechos necesarios para un estudio anticipado a la hora de realizar un proyecto, como lo son: trabajos de investigación, gastos de asistencia técnica, licencias, entre otros.

3.3.2.3. Capital de trabajo. Básicamente contemplan como activos corrientes, todos los recursos necesarios para dar inicio al ciclo productivo del proyecto en su fase operativa. Estos recursos se requerirán una vez efectuadas las inversiones fijas y diferidas. Cabe resaltar que, para este proyecto, este factor es despreciable ya que la compra del espectrómetro de fluorescencia de rayos x incurre únicamente en el aprovechamiento académico.

En el presente estudio de prefactibilidad, solo se registran las inversiones fijas a la implementación de la prueba estándar correspondiente a los equipos necesarios. A continuación, se ilustra una tabla donde se puede observar el valor total de las inversiones:

Tabla 56.

Costos de inversión (CAPEX).

TIPO DE INVERSIÓN	PRECIO
INVERSIONES FIJAS	
Espectrómetro	89831638
Balanza analítica	5488280
Recipientes de laboratorio	0
INVERSIONES DIFERIDAS	
Gastos de instalación	0
Formación de usuarios	0
CAPITAL DE TRABAJO	
Activos corrientes	0
TOTAL DE INVERSIÓN	\$ 95319918

3.3.3. Costos de operación (OPEX). Son aquellos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento; se traducen en los importes asociados con la obtención de la materia prima, servicios públicos como la electricidad y el agua, o cualquier gasto extra inmerso, en este caso, los reactivos e insumos necesarios para desarrollar el método estándar. Adicional a esto, los costos por ventas y administración también son de este tipo. Los costos de operación se pueden clasificar en:

3.3.3.1. Costos de producción. Hacen referencia a los importes generados durante la transformación de la materia prima en aquellos productos finalizados. Se dividen en tres tipos: los primeros son los costos directos de los materiales integrados al servicio (*materia prima directa*), como son los combustibles a los cuales se le aplica la prueba estándar (derivados, entre otros), e insumos y químicos, siendo estos el helio, el tiofeno y demás reactivos. Los segundos son los

asociados a la fabricación que incluyen todas aquellas herramientas que intervienen indirectamente en el proceso de conversión del producto como lo son: elementos de protección personal, formularios, etc. En tercer lugar, se encuentran aquellos relacionados con la reparación o mantenimiento de la instrumentación necesarios para la realización de la prueba como el consumo de energía eléctrica y demás prestaciones públicas.

3.3.3.2. Costos de administración. En este aspecto se encuentran todos los costos generados dentro del ámbito administrativo, es decir, aquellos que se originan por la mano de obra que interviene directamente en la transformación del producto y por ende se denominan gastos. Para el estudio en cuestión este parámetro se desprecia, ya que el proyecto se encuentra estructurado como una prueba adicional del laboratorio de fluidos y este a su vez, ya cuenta con el personal capacitado para operar y asesorar en el establecimiento.

3.3.3.3. Costos de distribución. Estos se originan por concepto de publicidad y mercadeo con el fin de lograr que la oferta del producto llegue a oídos de los consumidores. Para el presente caso, los costos por ventas no están incluidos, puesto que el proyecto tiene como finalidad incluir esta prueba dentro del portafolio académico por medio de la asignatura de laboratorio de fluidos, de tal manera que los interesados en el servicio puedan consultarlo a través de ésta.

Dadas las premisas anteriores, se describen los costos de operación respectivos para este proyecto en la tabla 58.

Tabla 57.

Costos asociados a la prueba – Costos de operación (OPEX).

TIPO DE COSTO DE OPERACIÓN	VALOR
COSTOS DE PRODUCCIÓN	
Insumos	
Helio	1547000
Reactivos	3072160
Costos directos	
Papelería	10500
Elementos de protección personal	
Gafas	4900
Mascara de gas	70000
COSTOS DE DISTRIBUCIÓN	
Mercadeo y ventas	0
COSTOS DE ADMINISTRACIÓN	
Retribución salarial y asistencia	0
COSTOS DE OPERACIÓN TOTALES	\$ 4721160

Nota: *Los datos presentados en la tabla anterior (papelería y elementos de protección personal propios para el laboratorio), fueron consultados vía on – line a la presenta fecha (17 de abril del 2018), con el fin de establecer un aproximado de los costos de operación totales.

3.3.4. Costos totales. Para finalizar, los costos totales se obtienen de la suma entre los importes de inversión y los costos de operación (registrados en las tablas 56 y 57 respectivamente).

Tabla 58.

Costos totales del proyecto.

	COSTOS TOTALES
Inversiones	\$ 96000000
Costos generales	\$ 5000000

COSTOS TOTALES	
Total	\$ 101000000

Nota: *Con el propósito de tener en cuenta el margen de variación en los costos y facilitar cálculos, las cifras fueron aproximadas al millón siguiente.

3.3.5. Costo de la prueba. Para el estudio en cuestión, se tomó como referente el conjunto de costos asociados a la operación del servicio bajo el método estándar (específicamente aquellos relacionados con los insumos y reactivos), y se contrastaron con los precios de las ofertas adquiridas de aquellas empresas que tienen la prueba de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos dentro de sus servicios (Tabla 24), para así establecer un precio que pueda ser competitivo en el mercado y justifique los gastos totales de la actividad.

Inicialmente se compila la información asociada a los reactivos e insumos requeridos para el desarrollo de la prueba y el consumo total de cada uno (Tabla 12); con éste último se observa la cantidad de mediciones que se podrían realizar con los materiales incluidos en el inventario, con el propósito de determinar la capacidad del laboratorio. Con los costos relacionados al uso de estos reactivos y la cantidad de ensayos que es válido realizar, se podría determinar una aproximación del precio factible con el cual se cubran los gastos operativos.

Tabla 59.

Cantidad de ensayos posibles según el inventario de la prueba y sus respectivos costos.

Reactivos e insumos	Cantidad total usada				Inventario				Cantidad de ensayos posibles	Costo de reactivos e insumos
	g	ml	gal	m ³	g	ml	gal	m ³		
Tiofeno	10				500				50	\$ 798076
Sulfuro de di n - butilo		10							50	\$ 2082500

Reactivos e insumos	Cantidad total usada				Inventario				Cantidad de ensayos posibles	Costo de reactivos e insumos
	g	ml	gal	m ³	g	ml	gal	m ³		
Polisulfuro di-terc-nonilo		1.1			50				45.45	\$ 72584
Aceite mineral blanco			0,01				5		500	\$ 119000
Helio				1x10 ⁻⁴				6	60000	\$ 1547000
Costo total por adquisición de reactivos e insumos										\$ 4619160

Si se divide la cantidad de materiales que se tienen en el inventario en la cantidad de estos mismos requerida para el desarrollo de la prueba, se puede determinar el número de ensayos posibles, teniendo como referente la capacidad del laboratorio. A partir de los datos expuestos en la tabla anterior, se puede concluir que al finalizar el ensayo número 45 se requerirá cotizar nuevamente el polisulfuro di-terc-nonilo.

Partiendo de la premisa anterior, se puede establecer una metodología financiera para obtener el precio total del servicio, a partir de la suma de los costos totales de operación (ya sean fijos o variables). Esta sumatoria es dividida entre el número de unidades que fueron producidas a lo largo de la operación, obteniéndose de esa manera el valor unitario del proceso, al cual se le adicionarán los gastos por factores externos. En este caso, el número de unidades producidas viene siendo la *cantidad de ensayos posibles*.

Los costos totales referentes a reactivos e insumos son del orden de \$ 4619160.03 y la cantidad de ensayos posibles a realizar es de 45. Al dividir estos valores se obtiene un costo unitario de \$ 102648; en este punto, es necesario incluir los gastos que comprenden los servicios de orden público como lo son: la electricidad y el agua; el transporte de las muestras o fletes de envío; los gastos extra generados para la correcta realización de la prueba (gafas, guantes, máscara, etc.) y el

porcentaje de ganancia a obtener. En la Tabla 60 se presenta el valor total del servicio con base a los costos de producción.

Tabla 60.

Costo total de la prueba según gastos de operación.

PRECIO DE OFERTA DEL SERVICIO		
Costos totales de insumos y reactivos	\$	4619160
Cantidad de ensayos posibles	÷	45
Costo por medición	\$	102648
Servicios de orden público	20%	\$ 20530
Transporte o fletes	25%	\$ 25662
Gastos extra	30%	\$ 30794
PRECIO DE OFERTA DEL SERVICIO		
Ganancia	25%	\$ 25662
Costo total del servicio	\$	205296 ~ \$ 206000

Una vez establecido el precio de la prueba a partir de los costos inmersos al desarrollo del método estándar, se procede a establecer una comparación de éste con las ofertas recibidas por parte de las entidades que de la misma manera ofrecen el servicio de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos bajo el protocolo ASTM D4294, como se describen en la tabla a continuación:

Tabla 61.

Comparación de precios de entidades que ofrecen el servicio bajo el protocolo ASTM D4294.

Entidad	Costos totales
T.I.P	\$ 142800
PROASEM	\$ 196350

Entidad	Costos totales
SGS COLOMBIA	\$ 230000
PROYECTO	\$ 206000

Nota: *Los datos descritos fueron tomados de la Tabla 24, la cual contiene el registro total de las entidades de las cuales fue recibida la oferta.

Como podemos observar, el valor calculado de la prueba se encuentra dentro del rango de precios ofrecidos por las demás entidades que prestan el servicio de determinación de azufre. Esto puede tomarse como una oportunidad para acceder al mercado como nuevos competidores.

Es necesario resaltar que el valor de la prueba determinado anteriormente no incluye gastos por nómina y/o importes en materia de prestaciones, entre otros. Estos factores pueden hacer que el valor de la prueba aumente una cantidad de un 20%. Por tal motivo, si sumamos este porcentaje al costo de la prueba establecido, el precio podría aumentar a \$ 247000 sin embargo, se podría utilizar un método para disminuir en tanto porcentaje el costo de los bienes y servicios que se ofrecen, como lo es el *dumping*; esto podría llamar la atención de los clientes.

3.3.6. Ingresos por prestación de servicio. Debido a la necesidad de obtener un estimado en función de la relación ingresos – egresos referentes a la prestación del servicio en un futuro, se presentan tres circunstancias en las cuales se darán a conocer los posibles usuarios y la manera en que se les ofrecerá el servicio de determinación de contenido de azufre en la universidad.

El primer contexto va enfocado hacia el ámbito académico, el cual tiene como objetivo promover el conocimiento de la prueba de determinación de contenido de azufre en hidrocarburos líquidos. Este contexto es el primordial porque aparte de ser la esencia del proyecto, tiene su fundamento en aquellos estudiantes matriculados en la asignatura laboratorio de fluidos y en los

que pudiesen necesitar del análisis de esta prueba, bien sea para un proyecto particular o en su defecto una tesis de grado.

En el segundo contexto se ubica la oferta – demanda, con el fin de ofrecer la prueba de determinación de contenido de azufre como servicio a empresas o entidades las cuales lo requieran (como fue estipulado en la Tabla 18), además de ofrecerlo a la comunidad estudiantil. Basándose en el requerimiento de éste servicio en el país, el aspecto *oferta – demanda* se centra en la búsqueda del reconocimiento de los laboratorios de fluidos de la EIP como institución prestadora del ensayo bajo el método ASTM D4294.

El tercer contexto se centra en el aspecto de la transformación del mercado y la posibilidad de orientar el servicio al análisis de otros productos relacionados o no relacionados con la industria del petróleo, buscando obtener un beneficio económico con el fin de compensar la inversión realizada para la puesta en marcha de este proyecto.

Partiendo de los contextos anteriormente planteados, se establecen las consideraciones de la solicitud del servicio, teniendo como referencia los dos semestres del año en el calendario académico.

Tabla 62.

Contexto académico.

Variable	Alumnos	Total
Número de pruebas necesitadas	40	40

Existe un promedio de 100 estudiantes matriculados en la asignatura de laboratorio de fluidos. Estos se reparten en 10 grupos de 10 estudiantes cada uno. Así mismo, para fortalecer el ámbito pedagógico, cada uno de estos se divide en dos subgrupos, que a su vez indica la realización de

dos pruebas por grupo en el semestre. Partiendo de las anteriores premisas, se puede deducir que se realizan aproximadamente 40 pruebas de determinación de contenido de azufre al año.

La realización de estas pruebas no incurre en costos, porque como ya fue establecido anteriormente son realizadas con fines académicos.

Tabla 63.

Contexto de oferta-demanda.

Variable	Proyectos de investigación	Entidades interesadas	Total
Número de pruebas necesitadas	5	192	197

Este contexto abarca la prestación de éste servicio a empresas que lo requieran. Algunas de éstas fueron listadas en la Tabla 26.

Son planteadas cuatro apreciaciones en el presente contexto: 1) Se establece un supuesto de 5 estudiantes en promedio fuera de la asignatura de laboratorio de fluidos, que requieran de la realización de ciertos experimentos bajo la norma ASTM D4294 en proceso de estudio. 2) Al menos 7 de las entidades consultadas requerirán el servicio de determinación de contenido de azufre en combustibles y contratarán con la Universidad. 3) Para cada entidad se vendería como mínimo un servicio al mes (12 al año por empresa). 4) *Terpel* es una de las 7 empresas demandantes y con la que se trató en mayor medida a lo largo del estudio realizado para el proyecto (vía telefónica). De acuerdo a esto se establecen dos premisas especiales; la primera hace referencia a la venta de 1 servicio mensual de determinación de contenido de azufre (correspondiente al biodiesel); la segunda fundamentada en las plantas de abasto de esta empresa en el país, que en total son 26 (9 de estas aledañas a la ciudad). Debido a la ubicación geográfica y facilidad de

entrega de las muestras de algunas centrales, se proyecta que el 40% de los análisis de azufre (correspondiente a las 10 centrales aledañas) sean concedidos a la UIS, ya que la totalidad de los análisis de contenido de azufre para *Terpel*, son realizados en el laboratorio de crudos y derivados de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Con base en las consideraciones planteadas, se tendrían 10 plantas para las cuales se realizaría un servicio al mes, que correspondería a un total de 120 ensayos anuales.

Sumando estas 120 pruebas a las 72 a realizar para las otras seis empresas, y a los 5 ensayos para proyectos de investigación, se tendría un total de 197 pruebas anuales, cuyo costo sería de \$ 40'582.000.

Tabla 64.

Contexto de modernización del mercado.

Variable	Proyectos de investigación	Entidades interesadas	Modernización del mercado	Total
Número de pruebas necesarias	5	192	30	227

En este contexto, aparte de incluirse los nuevos sectores de operación, los cuales podrían ampliar el catálogo de servicios, también se tienen en cuenta los valores estipulados en materia de oferta demanda.

Se establece que la prueba de contenido de azufre también puede ser aplicada en mercados como lo son los aceites de calefacción N°2 y combustibles jet, utilizando la norma correspondiente (ASTM D7220). Así mismo, con el espectrómetro de fluorescencia también se pueden realizar análisis elementales de suelos y desechos sólidos, como se estipula en el protocolo ASTM D8064,

las cuales representan un mercado poco común en comparación al referido hasta el momento. Se realiza entonces un supuesto de 30 pruebas en materia de nuevos mercados.

El costo de realizar estos 30 ensayos adicionales por concepto de nuevos mercados y la utilización de otros protocolos sería de \$ 6'180.000; eso, sumado al costo de los anteriores contextos mencionados, daría un equivalente de \$ 46'762.000 anuales para un total de 227 pruebas.

3.3.7. Indicadores de evaluación financiera. Con el propósito de conocer que tan factible (en el entorno económico), es realizar el proyecto establecido, se analizan dos de los contextos presentados en el anterior apartado a un plazo de término de 5 años, comenzando una vez se haya realizado la inversión.

Como este es un proyecto de prefactibilidad, se utilizan ciertos indicadores de evaluación financiera como el Valor Presente Neto (VPN); este básicamente mide el aporte económico que brindan los inversionistas del presente estudio (en éste caso la universidad), por tanto, refleja el aumento o la disminución en concepto de liquidez que acarrearán dichos inversionistas al participar en el proyecto.

El Valor Presente Neto, depende a su vez de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y de la Tasa Mínima de Rendimiento (TMAR). Esta primera se encargará de medir básicamente la rentabilidad de la prueba como servicio; así mismo, tiene que asegurar que el Valor Presente Neto del proyecto sea cero.

Por otra parte, se tiene la Tasa Mínima de Rendimiento (TMAR), que representa la rentabilidad más pequeña que se le exige al proyecto, de tal manera que permita cubrir toda la economía del mismo. Esta es prerequisite para la determinación tanto del Valor Presente Neto como de la Tasa Interna de Retorno.

A partir de la siguiente expresión, se puede calcular el VPN de un determinado proyecto de inversión:

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuación 6}$$

En donde:

- $FNE_n =$ Flujo neto efectivo en el período n
- $P =$ Inversión inicial en el año cero
- $I =$ Tasa mínima aceptable de rendimiento

A partir de los resultados obtenidos usando la ecuación presentada, se tiene:

- $VPN > 0$, significa que al llevar a cabo ese proyecto se obtendrá una ganancia que, medida en pesos de hoy, es igual al valor dado por el VPN de un proyecto.
- $VPN < 0$, significa que al llevar a cabo ese proyecto se obtendrá una pérdida que, medida en pesos de hoy, es equivalente al valor dado por el VPN, por tanto, no es rentable invertir en el proyecto.
- $VPN = 0$, significa que al llevar a cabo ese proyecto no se obtendrá pérdida ni ganancia.

Partiendo de lo descrito anteriormente, se establece entonces el análisis de los contextos de oferta – demanda y mercado moderno únicamente, ya que son estos contextos los que intervienen directamente en el ámbito económico, mientras que el contexto académico está fundamentado en el aprendizaje.

3.3.7.1. VPN – Contexto oferta-demanda.

Tabla 65.

VPN para el contexto de oferta-demanda.

TMAR [%]	VPN [\$]
5	74698822,25
10	52837708,68
15	35037158,19
20	20365021,86
25	8136360,96
30	-2159708,32

3.3.7.2. TIR – Contexto oferta-demanda.

Tabla 66.

TIR para el contexto de oferta-demanda.

TIR [%]	VPN [\$]
28,9	0

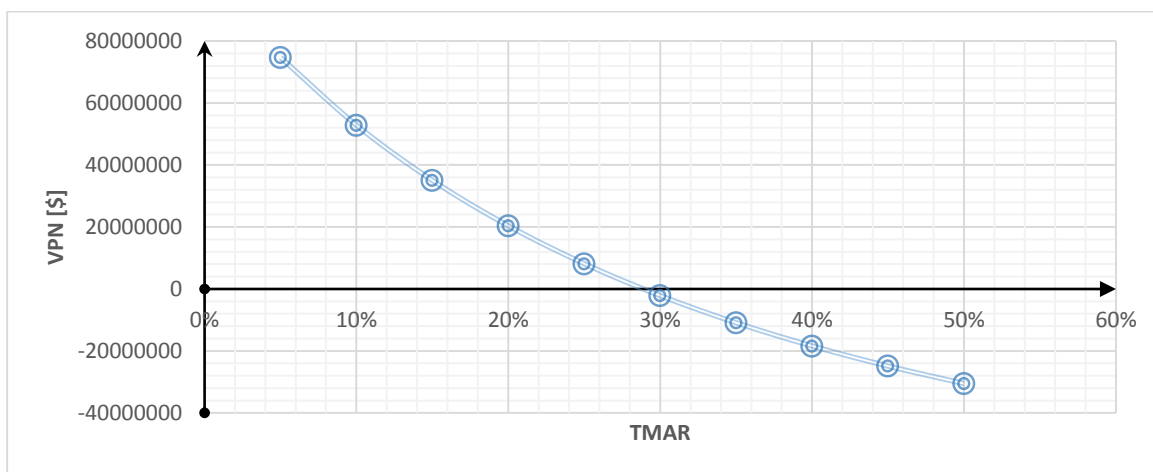


Figura 3. TMAR vs VPN – Contexto oferta-demanda.

3.3.7.3. VPN – Contexto mercado moderno.

Tabla 67.

VPN para contexto de mercado moderno.

TMAR [%]	VPN [\$]
5	101454988
10	76264770,9
15	55753476,7
20	38847004,9
25	24756111,4
30	12892112,8
35	2809836,06
40	-5831664,78

3.3.7.4. TIR – Contexto mercado moderno.

Tabla 68.

TIR para el contexto de mercado moderno.

TIR [%]	VPN [\$]
36,55	0

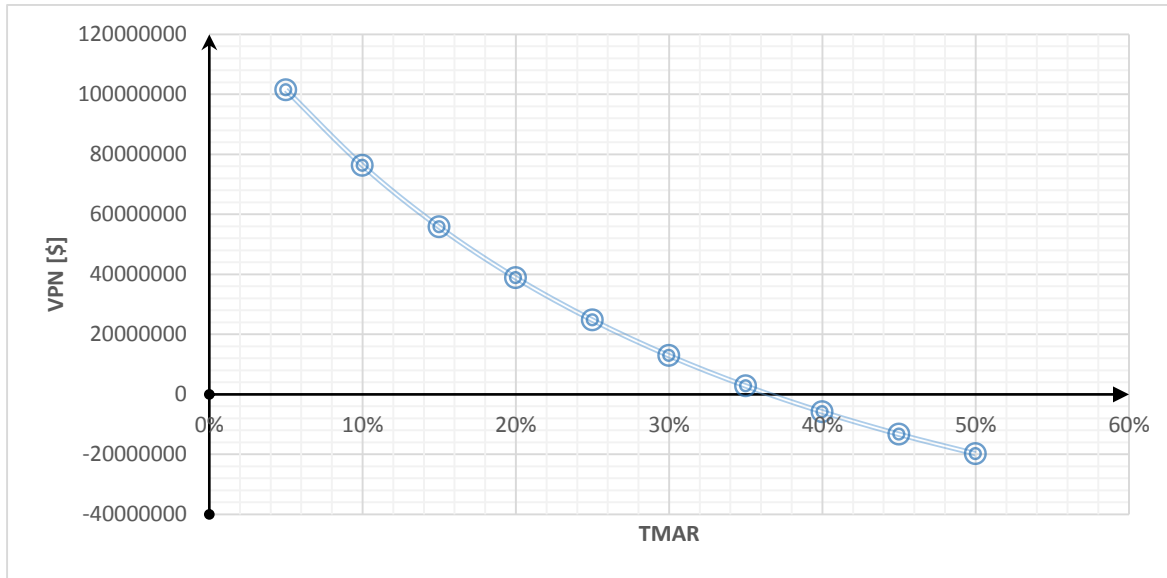


Figura 4. TMAR vs VPN – Contexto mercado moderno.

Fundamentándose en la literatura consultada, se afirma que un proyecto es rentable cuando posee una Tasa Mínima de Rendimiento (TMAR), en el intervalo del 15% al 20%. A partir de esto, y con base en los resultados obtenidos con el cálculo del VPN y TIR, para el contexto de oferta-demanda y mercado moderno se puede concluir que:

- En el caso del *contexto oferta-demanda*, para una TMAR mayor al 25% se obtiene un VPN negativo, lo que indica que probablemente no sería viable invertir en el proyecto. De la misma manera, para una TMAR por debajo del 25%, se obtiene un VPN positivo, representando una oportunidad para invertir. En general, el proyecto es factible y se representa a través del valor positivo del VPN a una TMAR del 15%. Por tal razón, está explícito que es posible recuperar el costo de inversión y, aun así, obtener ganancias aproximadas al valor de \$ 35'037.158.
- En el caso del *contexto de mercado moderno*, se obtendrá un VPN negativo a una TMAR por encima de 35%, y un VPN positivo a una TMAR por debajo del 35%; por tanto, éste

porcentaje representa el límite entre las posibles ganancias o pérdidas que se puedan presentar. En general, el proyecto es viable y se representa a través del valor positivo del VPN a una TMAR del 15%, lo cual indica un favorable comportamiento en el aspecto financiero.

- Para los dos contextos (oferta-demanda y mercado moderno), se evidencia que los valores del TIR, son mayores a los de la TMAR, lo que significa que el rendimiento del proyecto es mayor al rendimiento mínimo esperado y, por tal motivo, la inversión resulta económicamente viable.

4. Sistema de Gestión de Calidad basado en la norma NTC–ISO/IEC 17025

El Sistema de Gestión de Calidad agrupa un conjunto de actividades coordinadas que son realizadas por parte de una organización para asegurar la calidad de los productos y servicios ofertados, basándose en estándares de planeación, control, y mejoramiento como elementos que suplen los requerimientos del cliente.

Por tal motivo, se registran en este capítulo los requisitos y consideraciones para implementar el Sistema de Gestión de Calidad (SGC), fundamentado en la norma NTC – ISO/IEC 17025, para laboratorios de ensayo y calibración con el propósito de generar una mayor fiabilidad en el cliente con respecto a la calidad de los resultados de las pruebas durante el servicio.

Para complementar, el SGC se basa en el *Ciclo de Mejora Continua*, el cual contiene cuatro etapas que incluyen la planeación de actividades y la recopilación de información y se describen como sigue:

- P es planear: Establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización.
- H es hacer: Implementación de los procesos.
- V es verificar: Realizar el seguimiento y medir los procesos y los productos versus las políticas, los objetivos y los requisitos del producto e informar sobre los resultados.
- A es actuar: Tomar acciones correctivas, preventivas o de mejora para optimizar continuamente el desarrollo de los procesos.

Dentro de los parámetros de calidad, se debe seguir con la norma establecida por las entidades de control y calidad, esto se hace para que la universidad obtenga un buen servicio e ingrese a la industria de una manera más competitiva; además poder obtener un proceso de acreditación. Por este motivo también se recibiría un beneficio de manera económica y de la misma forma se daría cumplimiento a todas las normas establecidas para poder ser una entidad de calidad. Cabe resaltar que para que el laboratorio cuente con un certificado de acreditación se debe hacer una gran inversión y además este proceso puede llevar mucho tiempo.

4.1 NTC ISO/IEC 17025-2005

La norma NTC ISO/IEC 17025-2005 fue establecida a partir de la unión de dos normas, la guía ISO/IEC 25, referente a los *Requisitos generales para la competencia técnica de los laboratorios de análisis* y la norma EN 4500 con referencia a los *Criterios generales para el funcionamiento*

de los laboratorios de análisis, que hasta el momento habían regido satisfactoriamente de manera independiente.

La norma se fundamenta en el contenido de los establecidos, que como requisitos deben satisfacer los laboratorios de ensayo y/o calibración si desean demostrar que poseen un sistema de gestión idóneo, son técnicamente competentes y poseen la capacidad de generar resultados técnicamente válidos. Así mismo, mantiene los criterios establecidos por la Norma ISO 9001, que simultáneamente debe cumplir para cubrir todas las actividades de ensayo bajo un sistema de gestión de calidad.

Por ende, esta norma abarca todos los ítems de cumplimiento característicos de las entidades que se enfocan en el rendimiento y en la buena prestación de bienes y servicios para con relación a los demandantes.

Por otro lado, la norma ISO/IEC 17025, en conformidad con el sistema de gestión de calidad aplicado a cada una de las actividades realizadas en los ensayos de laboratorio, establece dos parámetros: las condiciones que aseguren el cumplimiento de la Norma ISO 9001, como son los requisitos de gestión y los requerimientos técnicos que aseguran y demuestran la validez en los resultados.

4.1.1. Requisitos de la gestión. Dentro de los cuales se encuentran:

- Organización:

En cuanto al sistema de gestión de calidad, debe ofrecer un total cubrimiento del trabajo desarrollado dentro y fuera de las instalaciones del laboratorio; si en caso tal este laboratorio cuenta con actividades distintas al ensayo o calibración, entonces se debe designar de manera responsable aquellas personas capacitadas para sus respectivas actividades con el fin de prevenir desacuerdos.

Este laboratorio u organización debe estar legalmente constituida, además debe ser el encargado de que todas las actividades se desarrollen de manera efectiva bajo los diferentes criterios que otorga la norma. Así mismo, debe proveer una estricta supervisión al personal encargado, incluidos aquellos que se encuentran en proceso de formación por personal que esté capacitado y conozca todos los estándares de seguridad.

- Sistema de gestión:

Aquellas políticas que posee dicho sistema de gestión de acuerdo a la calidad deben estar estipuladas. La exposición de la política de calidad se puede difundir por medio de una autoridad; dicha política debe poseer algunos requisitos como son: el compromiso con sus clientes de ofrecer un buen servicio profesional y de calidad, un mejor propósito concerniente a la calidad. Además, todo el personal debe informarse y familiarizarse con respecto a la documentación de la calidad y así poder desarrollar de la mejor manera las políticas y las técnicas establecidas, entre otras.

- Control de los documentos:

Todos aquellos documentos distribuidos al personal como parte del sistema de gestión deben ser aprobados, además se debe hacer un listado de manera de control identificando que su respectiva revisión se encuentre vigente, esto con el fin de evitar documentación no válida, cabe resaltar que esta documentación debe ser examinada periódicamente y en caso tal de que se presente algún cambio hacer su respectiva modificación para que se cumpla con aquellos cambios que se plantearon.

- Subcontratación para ensayos y calibraciones:

Referente a todas aquellas ocasiones en las que se requiere un personal de subcontratación para suplir el trabajo a realizar en el laboratorio (ya sea de manera temporal o permanente). La competencia del subcontratista como del laboratorio en función a las necesidades del cliente, entra

en un primer plano. Por tanto, el laboratorio tiene la obligación de responder por las acciones del subcontratista.

- Compra de servicios y suministros:

El laboratorio debe sostener los medios correspondientes para ingresar en la compra, recepción, y almacenamiento de todos los materiales y/o suministros necesarios para la realización de las pruebas en los laboratorios, incluyendo las debidas calibraciones. Deben asegurarse de no utilizar estos reactivos y materiales, antes de realizar el respectivo chequeo para verificar que estos cumplan con los debidos estándares de las pruebas respectivas.

- Servicio al cliente:

El laboratorio debe poseer la disponibilidad de mantener un seguimiento de sus clientes, y así mismo, del desempeño del laboratorio con respecto a cada uno de los ensayos realizados para suplir los requerimientos de los mismos. Así mismo, debe priorizar la opinión del cliente antes, durante y después de cada trabajo realizado.

- Quejas:

Debe existir un control de las quejas y así mismo, un procedimiento para tratar y corregir las mismas sin importar cuál sea la fuente de la que estas provengan.

- Control de ensayos no conformes:

En el momento en que los resultados de algún servicio no sean conformes con sus propios procedimientos, o en su defecto con los requisitos acordados con el cliente, la organización debe asegurar que se implementen las acciones correctivas de manera inmediata.

- Mejora:

El laboratorio debe mejorar la eficiencia de su sistema de gestión mediante el uso de procedimientos de mejoramiento de la calidad, el resultado de las auditorías, las acciones correctivas y preventivas, y la revisión por la dirección.

- Acciones correctivas:

La organización debe contar con un medio para la implementación de acciones correctivas cuando exista un servicio no conforme, por parte del laboratorio o por iniciativa del cliente. Este procedimiento debe comenzar con una investigación (para conocer la causa del problema), seleccionar las acciones con mayor posibilidad de eliminarlo y realizar un seguimiento de los resultados para asegurarse de la eficiencia de las acciones correspondientes.

- Acciones preventivas:

Es necesario identificar las posibles mejoras para estas acciones y las fuentes potenciales de acciones no correctivas, así como debe existir una política para mitigar dichas acciones y aprovechar las oportunidades de mejora. Es necesario que exista la aplicación de controles para asegurar que las acciones preventivas sean satisfactorias.

- Control de los registros:

Debe presentar procedimientos para la identificación, recopilación, almacenamiento, mantenimiento y disposición de los registros técnicos y de calidad. El laboratorio debe conservar los registros obtenidos con información suficiente para establecer posteriores protocolos de control. Los registros deben incluir informes de las auditorías, la identidad del personal responsable del muestreo, de la realización de cada ensayo y de la verificación de los resultados (en caso de ser registros técnicos).

- Auditorías internas:

Se deben efectuar periódicamente auditorías internas de sus actividades para verificar que sus operaciones continúan cumpliendo con los requisitos del sistema de gestión y de esta Norma Internacional. Se debe registrar si el sector de actividad que ha sido auditado, los hallazgos de la auditoría y las acciones correctivas que resulten de ellos.

- Revisión por la dirección:

Se debe efectuar una revisión periódica del sistema de gestión de calidad y de las actividades en ensayo y/o calibración para asegurar la eficiencia de sus procesos e introducir los cambios y mejoras necesarios. De igual forma deben registrarse los hallazgos de las revisiones por la dirección y las acciones que surjan de ellos.

4.1.2. Requisitos técnicos. Dentro de los cuales se disponen los siguientes:

- Generalidades:

Los ensayos y/o calibraciones realizados(as) por el laboratorio están directamente relacionados con los factores que puedan o no producir una afectación en la exactitud de los mismos. Por tanto, se deben tener presentes estos factores al desarrollar los procedimientos y las pruebas en la evaluación del personal y en el momento de seleccionar los estándares para cada uno de los equipos y herramientas.

- Personal:

El laboratorio debe realizar un seguimiento del personal desde el momento en que se emplea y durante su formación. Este personal debe poseer las debidas competencias para operar en los distintos procesos que se puedan presentar, como lo son la realización de las pruebas, el manejo de los equipos y aparatos e incluso el análisis de los resultados.

- Instalaciones y condiciones ambientales:

En el laboratorio se debe asegurar que su espacio de trabajo no vaya a traer repercusiones, ni vaya a causar cálculos erróneos durante las pruebas. Así mismo, se debe garantizar que las condiciones ambientales influyan lo más mínimo en la calidad de los resultados de los ensayos, por ende, los requisitos relacionados con instalaciones y condiciones ambientales deben estar debidamente documentados.

- Métodos de ensayo y de calibración y validación de los métodos:

El laboratorio debe contar con los medios para la correcta realización de los ensayos y/o las calibraciones teniendo en cuenta todos los aspectos relacionados como lo son la manipulación de muestras y equipos, el almacenamiento de las muestras, y la preparación de las mismas, siendo próximas a ser utilizadas en los ensayos. Debe tener así mismo una guía para el manejo de los aparatos.

Se deben utilizar métodos y procedimientos confiables y que satisfagan las necesidades de los clientes. Es necesario tener siempre como referentes los métodos publicados como normas internacionales, nacionales y regionales, y de la misma manera asegurarse poseer la última versión vigente de éstas normas estándar.

Por último, pero no menos importante, es necesario validar los métodos que llegado el caso no estén normalizados o no estén registrados como métodos estándar, así como las modificaciones de los métodos normalizados para confirmar que son aptos para el fin previsto.

- Equipos:

El laboratorio debe contener equipos especializados para el muestreo, la medición y el ensayo, todos requeridos para la correcta realización de las pruebas y/o calibraciones. Así mismo, se deben

proveer los medios de calibración de estos equipos cuando puedan afectar directamente la exactitud de las mediciones y la calidad de los resultados.

- Trazabilidad de las mediciones:

Absolutamente todos los equipos que sean destinados a la operación de las pruebas o métodos de ensayo (que puedan tener una afectación en la exactitud de los resultados), deben estar debidamente calibrados antes de ser utilizados. El mismo laboratorio debe proveer los medios de actuación en caso de que algún aparato no cuente con éstas características.

En el caso de los laboratorios de calibración todos los equipos deben estar programados bajo el patrón de unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI).

- Muestreo:

El laboratorio debe poseer un plan de muestreo, cuando se quiera obtener una muestra representativa de una sustancia, material o producto, en su defecto, que luego vaya a ser utilizado durante el ensayo o la calibración. El procedimiento para realizar el muestro debe estar disponible en el lugar donde se realice el mismo. Así mismo, el laboratorio debe proveer los medios para el registro de datos durante el muestreo, pues esto forma parte de los ensayos y las calibraciones.

- Manipulación de objetos de ensayo y calibración:

Debe poseer planes para el transporte, la recepción, la manipulación, la protección, el correcto almacenamiento, la conservación y la disposición final de los objetos de ensayo. Así mismo, debe contar con las instalaciones apropiadas para evitar el deterioro, la pérdida o daño de los objetos de ensayo y calibración durante las operaciones nombradas anteriormente.

- Aseguramiento de la calidad:

El laboratorio debe proveer medios de control de calidad para realizar el seguimiento de la validez de los ensayos y calibraciones llevados a cabo. Los datos de control de calidad resultantes,

deben ser analizados, y si no satisfacen los criterios predefinidos, se deben tomar las acciones planificadas para corregir el problema y evitar el registro de datos erróneos.

- Informe de los resultados:

Los resultados obtenidos por el laboratorio deben ser presentados con exactitud, claridad, y subjetividad, de acuerdo con las especificaciones de cada método de prueba. Se deben presentar en un informe que incluya toda la información requerida por el cliente y necesaria para su interpretación, así como la información sobre el método utilizado. Cuando se incluyan opiniones e interpretaciones, el laboratorio debe registrar por escrito los argumentos que respaldan estas.

4.2 Proceso de acreditación

La acreditación es un proceso de carácter voluntario a través de la cual una determinada organización mide los requerimientos de calidad de sus servicios o productos ofrecidos y el rendimiento de los mismos con ayuda de agentes externos y profesionales (pares), en el ámbito de evaluación de operaciones de calidad. Con este proceso se busca reconocimiento en el cumplimiento de estándares y desempeño a nivel nacional e internacional.

De la misma manera, la acreditación de una organización logra el aumento en materia de demanda en el mercado.

El Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), tiene como finalidad la acreditación a organismos como los laboratorios (que hacen parte de los Organismos de Evaluación de la Conformidad), de forma competente mediante organismos de evaluación, siendo una corporación sin ánimo de lucro y formada principalmente bajo las leyes colombianas dentro del marco del código civil y algunas normas acerca de la ciencia y la tecnología. Algunas de sus

funciones son: proveer sus servicios en condiciones no discriminatorias, asegurar la idoneidad personal involucrado en sus actividades, informar y solicitar concepto previo y aprobación al ministerio de comercio, entre otras.

A continuación, se presentan ciertos ítems que la Escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander, debe establecer como requerimientos para incluir el método estándar ASTM D4294 dentro de su portafolio como protocolo acreditado por parte de la ONAC.

4.2.1. Alcance de la acreditación. Los objetivos del proceso de acreditación se deben contextualizar de manera clara, concisa y sin ambigüedades, de tal manera que proporcionen, tanto al cliente del OEC acreditado como a las demás partes interesadas, una información concreta y delimitada sobre la competencia técnica demostrada. De la misma manera, el OEC deberá proponer el alcance para el cual solicita ser acreditado, el cual será evaluado y de ser necesario ajustado o modificado por el ONAC.

El alcance se definirá en función a:

- El tipo de organismo de evaluación de la conformidad.
- El objeto de evaluación de la conformidad.
- Los documentos normativos con los que se realiza la evaluación de la conformidad, ya sean normas nacionales e internacionales o reglamentos técnicos, u otros documentos validados.
- Sectores económicos o industriales o de disciplina técnica de ensayo o calibración aplicables.
- Tipos o sistemas de certificación cuando sea el caso.
- Sitios donde se realizan las actividades de evaluación de la conformidad.

4.2.2. Criterios de la acreditación. Se definen como aquellos requerimientos que debe cumplir cada uno de los organismos de evaluación de la conformidad (OEC), para ser acreditados por el ONAC. Estos criterios serán de orden general o de orden específico dependiendo de si son propias de las organizaciones o son complemento de aplicación específicos para un sector o actividad de evaluación de la conformidad respectivamente.

Tabla 69.

Requisitos para obtener la acreditación por parte del ONAC

Organismo de evaluación de la conformidad	Norma
Organismo de Certificación de producto.	ISO/IEC Guide 65:1996 GTC/ISO/IEC 67:2005
Organismo de Certificación de sistema de gestión.	NTC ISO/IEC 17021:2007
Organismo de Certificación de personas.	NTC ISO/IEC 17024:2003
Organismo de inspección.	NTC ISO/IEC 17020:2002
Laboratorios de ensayo o prueba.	NTC ISO/IEC 17025:2005
Laboratorios de calibración.	NTC ISO/IEC 17025:2005
Laboratorios médicos o clínicos.	NTC ISO 15189:2009
Proveedores de ensayos de aptitud.	NTC ISO 17043:2010

Nota: *Los requisitos para otorgarle la acreditación a un laboratorio de análisis, fueron descritos en el apartado 4.1, como requisitos implícitos de la norma NTC ISO/IEC 17025:2005.

4.2.3. Solicitud de la acreditación. Para solicitar la acreditación, el OEC solicitante debe conocer los siguientes documentos:

- El presente documento Reglas de Acreditación (R-AC-01).
- Los documentos de criterios generales y específicos que sean aplicables.

- El procedimiento de revisión de solicitudes y cotización de servicios del ONAC (P-SOL-01).
- Las tarifas vigentes para el proceso de acreditación (R-AC-02).
- Los Estatutos del ONAC.

La solicitud de acreditación se realiza presentando el formulario de solicitud que corresponda al tipo de Organismo de Evaluación de la Conformidad (OEC). Con la presentación del formulario, el representante legal del OEC:

- Propone el alcance de la acreditación.
- Declara tener conocimiento de este procedimiento de acreditación del ONAC y de los derechos y obligaciones de los OEC acreditados definidos en el documento (R-AC-01).
- Efectúa la solicitud formal de la acreditación.
- Se compromete a cumplir los requisitos generales y específicos de acreditación y las obligaciones establecidas en éste procedimiento de acreditación.
- Recibir y prestar colaboración al equipo evaluador, permitiendo cualquier comprobación razonable para verificar el cumplimiento de los requisitos de acreditación.
- Declara que conoce y acepta las reglas de la acreditación contenidas en los estatutos del ONAC, y se obliga su cumplimiento.

En el caso de que un OEC solicite la acreditación para distintas actividades de evaluación de conformidad, éste debe presentar las solicitudes separadas para cada tipo de organismo que serán en ese caso gestionadas de manera independiente.

El ONAC asume que el OEC que solicita la acreditación, supe a cabalidad todos los requerimientos legales aplicables a su organización. De no ser así, el ONAC procederá a la

paralización del proceso hasta que el Organismo de Evaluación de Conformidad, aporte evidencias de que el problema detectado ha sido corregido.

4.2.4. Procedimiento de acreditación.

4.2.4.1. Revisión de la solicitud y elaboración de la cotización. El proceso de cotización es iniciado con una presentación por parte de un organismo de evaluación de la conformidad del formulario de solicitud de acreditación por medio físico, y la documentación adjunta correspondiente en medio magnético, aplicando el formulario previsto para cada tipo de organismo de evaluación de la conformidad.

Una vez recibida dicha solicitud de acreditación y verificado el pago por concepto de revisión inicial, el ONAC tendrá que generar recibo de la solicitud y revisara la documentación con el fin de comprobar que la actividad sea apta de ser acreditada, o si existe algún motivo de carácter legal. Por otra parte, si la documentación de la solicitud no se encuentra completa, entonces no podrá seguir con el proceso hasta que tenga la suficiente información requerida por la ONAC.

Si la solicitud es factible, el valor cancelado por derechos de revisión estudio inicial de la solicitud se abonará al pago del precio de la evaluación, de no ser viable dicha solicitud, el valor cancelado por derechos de revisión del formulario se causará a favor del ONAC, y no habrá devolución.

4.2.4.2. Cotización de la acreditación. Si la información se presenta de manera completa para poder iniciar dicha prestación se asignará un código de archivo y se enviará al solicitante la

cotización con los costos del proceso de evaluación inicial. A continuación, se presentan los parámetros que incluyen estos costos:

- La revisión del plan de acción propuesto por el OEC para solucionar las no conformidades encontradas.
- La tarifa día- evaluación no incluye tiquetes cuando dicha evaluación se realice en una ciudad distinta.
- El tiempo empleado por el evaluador para la realización del informe.
- El tiempo empleado por el equipo evaluador (la evaluación de la competencia técnica, del sistema de gestión)
- El tiempo empleado por el equipo evaluador en la revisión de documentos.

4.2.4.3. Designación del equipo evaluador y programación de la evaluación. El número de integrantes del equipo evaluador estará en función de alcance de la acreditación solicitada, pero contará con un evaluador líder responsable final de la evaluación como también evaluadores y expertos técnicos como se requieran para realizar la evaluación.

El solicitante será informado con anticipación de los miembros del equipo evaluador y las fechas en las que se realizará las etapas de evaluación.

4.2.4.4. Proceso de evaluación.

- Revisión de la documentación y los registros: Cuyo objetivo es realizar una revisión de la documentación y registros proporcionados junto con la solicitud por el OEC, para evaluar la conformidad de su sistema, con las normas y demás requerimientos de acreditación. En

esta etapa se puede decidir no proceder con la siguiente etapa, basándose en las no conformidades encontradas.

- **Evaluación in – situ:** El equipo evaluador que fue designado a la solicitud de acreditación realizara una visita de auditoria a las instalaciones del OEC, cuyo objetivo es verificar el cumplimiento de los criterios de acreditación.
- **Respuesta del OEC ante no conformidades detectadas en la evaluación:** El evaluador líder presentará estas no conformidades al OEC antes de la reunión de cierre y una vez que estas se han aceptado, el OEC deberá analizar cada no conformidad.
- **Verificación complementaria:** Se realizará cuando se necesite evidencia de la implementación eficaz de las acciones tomadas, o cuando se requiera realizar una evaluación in - situ de seguimiento para verificar la implementación eficiente de las acciones correctivas.
- **Informe de la evaluación:** El evaluador líder realizara un informe con los resultados e información recopilada durante todas las actividades de la evaluación, incluida la verificación complementaria, cuando haya habido lugar a ella.

4.2.4.5. Decisión sobre la acreditación. A la hora de tomar la decisión con respecto a la acreditación, el Comité de Acreditación analizará la información generada durante el proceso de evaluación o reevaluación, del alcance acreditado, la contenida en informes de vigilancia y la demás información disponible. Basándose en ello, adoptara una de las siguientes decisiones.

- Otorgar la acreditación disponiendo la emisión del certificado correspondiente.
- Denegar la concesión de la acreditación, comunicándolo por escrito al OEC.
- Renovar, mantener, suspender o retirar la acreditación.

- Modificar –ampliar o reducir– el alcance de la acreditación.
- Proponer una medida al OEC.

4.2.4.6. Uso de la referencia a la condición de acreditado. Una vez acreditado y firmado el contrato que registrará la acreditación por un representante legal del OEC y del ONAC, este primero tiene derecho a hacer uso del símbolo del ONAC de acreditación con referencia a su condición de acreditado como está expuesto en el documento R-AC-03.

4.2.4.7. Certificado de acreditación. Tras una decisión positiva del Comité de Acreditación, y una vez que el OEC haya suscrito los contratos y pagado los costos correspondientes, el ONAC emitirá un Certificado de Acreditación que atestigua la concesión de la acreditación a favor del OEC.

5. Conclusiones

- Para poder valorar la factibilidad del proyecto se tuvieron en cuenta aspectos de carácter técnico, financiero y de calidad. Estos son fundamentales para la instauración del método estándar ASTM D4294, como servicio ofrecido dentro del programa de servicios del laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos.
- A partir del estudio realizado con el fin de seleccionar la mejor opción referente al espectrómetro de fluorescencia de rayos X, se encontró que esta fue el equipo de marca

EDX 3200S – PLUS, ya que cumple con la gran mayoría de los criterios y requerimientos que exige la norma ASTM D4294, y adicionalmente a esto, su costo en el mercado se encuentra en el promedio dentro del rango de valores de las ofertas recibidas.

- El precio del servicio fue determinado y ajustado a partir de ciertos criterios fundamentados en el ámbito operacional del proyecto y en los parámetros establecidos por la norma ASTM D4294. En cuestión, se obtuvo un costo unitario de \$ 206.000 COP por ensayo, precio que se encuentra dentro del promedio de las ofertas propias de esta prueba en el mercado, lo cual permitiría que el Laboratorio de Fluidos de la universidad ingresara al mismo como nuevo competidor.
- Al finalizar el presente proyecto se concluyó que, en materia de área y dimensionamiento, como requerimientos para el establecimiento del protocolo como parte del portafolio ofrecido por la EIP en la asignatura de Laboratorio de Fluidos, cualquiera de las dos alternativas de ubicación (EIP y/o PTG) puede ser adecuada, aunque se recomienda implementar la prueba en la localización escogida (PTG).
- Teniendo en cuenta un análisis estadístico establecido a partir de las entidades que mantienen la adquisición de este servicio de determinación de azufre en hidrocarburos líquidos, se obtuvo en el contexto oferta – demanda una TIR de 28,9%, esto respectivamente para un periodo de 5 años. Así mismo, teniendo en cuenta nuevas formas de mercadeo, para futuras generaciones, se realizó el mismo análisis para el contexto de mercado moderno, dando como resultado una TIR de 36,55%, y como consecuencia, proporcionando una mayor ganancia en el resultado de la evaluación de este parámetro.
- Con el fin de responder por los requerimientos de calidad de los procedimientos desarrollados durante los protocolos, se debe tener como referente el Sistema de Gestión de

Calidad fundamento en la norma NTC-ISO/IEC 17025, el cual ha sido implementado en el Laboratorio de Fluidos. Este sistema de Gestión es el primer paso para el proceso de acreditación, ya que garantizaría el ingreso de la universidad al campo comercial en el ámbito de prestación de servicios.

6. Recomendaciones

Verificar que los datos adquiridos en el presente proyecto, correspondientes a los proveedores de equipos e insumos, se encuentren vigentes a la fecha. De la misma manera, procurar mantener el contacto con estas entidades para establecer un convenio con la Universidad Industrial de Santander, no solamente en materia de hidrocarburos.

Establecer un estudio de factibilidad, fundamentado en el presente análisis, con el fin de evaluar la posibilidad de añadir la prueba ASTM D4294 al portafolio de servicios prestados por parte del Laboratorio de Fluidos dentro de la EIP.

Evaluar la viabilidad de implementar la prueba ASTM D2622, bajo los mismos criterios y requerimientos que fue necesario analizar para hacer posible la realización de este proyecto, ya que es un protocolo análogo al ASTM D4294.

Realizar una planeación a corto y largo plazo, con el propósito de pronosticar posibles modificaciones en materia técnica y/o financiera que se pueden presentar.

Referencias Bibliográficas

- Alfaro, F. (2008). *Matriz de decisión- Investigación de operaciones II*. Recuperado de http://fcaenlinea1.unam.mx/anexos/1624/1624_u9_Matriz_de_decisiones.pdf
- American Society For Testing And Materials. (2013). *ASTM D129. Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products (General Bomb Method)*. Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/D129.htm>
- American Society For Testing And Materials. (2013). *ASTM D1266. Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products (Lamp Method)*. Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/D1266.htm>
- American Society For Testing And Materials. (2015). *ASTM D4045. Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Hydrogenolysis and Rateometric Colorimetry*. Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/D4045.htm>
- American Society For Testing And Materials. (2016). *ASTM D4294. Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry*. Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/D4294.htm>
- American Society For Testing And Materials. (2016). *ASTM D2622. Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry*. Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/D2622.htm>
- American Society For Testing And Materials. (2016). *ASTM D1552. Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products by High Temperature Combustion and Infrared (IR) Detection or Thermal Conductivity Detection (TCD)*. Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/D1552.htm>
- American Society For Testing And Materials. (2016). *ASTM D3227. Standard Test Method for (Thiol Mercaptan) Sulfur in Gasoline, Kerosene, Aviation Turbine, and Distillate Fuels (Potentiometric Method)*. Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/D3227.htm>

- Aparicio, J. (2014). *Gestión logística y comercial* (Ed. Rev). España, España: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A.
- Baca, G. (2007). *Fundamentos de ingeniería económica* (4ª ed.). México, México: McGraw Hill.
- Banco de la república-Colombia. (s.f.). Monedas disponibles. Tasas de cambio-Monedas disponibles. Recuperado 19 marzo, 2018, de <http://www.banrep.gov.co/es/tasas-cambio-mundo>
- Banco de la república-Colombia. (s.f.). Tasa de cambio del peso colombiano (TRM).. Recuperado 18 marzo, 2018, de <http://www.banrep.gov.co/es/trm>
- Biomax. (s.f.). Eventos y noticias. Recuperado 18 marzo, 2018, de <https://www.biomax.co/#home>
- Canales, R. (2015). Criterios para la toma de decisión de inversiones. *Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas*, 1(1), 109-116.
- Carreto, J. (2008). *Planeación estratégica en el mercado*. Recuperado de <http://planeacion-estrategica.blogspot.com.co/search/label/01%20Introducci%C3%B3n>
- Chevron Petroleum Company. (s.f.). Business portafolio. Recuperado 18 marzo, 2018, de <https://www.chevron.com/worldwide/colombia#businessportfolio>
- Colombiana de combustibles- CODECO S.A.S... (s.f.). Productos y servicios. Recuperado 18 marzo, 2018, de <http://combustiblescodeco.com/acerca/>
- Combustibles de Colombia S.A. (s.f.). Información corporativa. Recuperado 18 marzo, 2018, de <http://www.combuscol.com/index.php/nuestra-compania>
- Conexiones san. (2016, junio). Costos de inversión y de operación en la formulación de un proyecto. Recuperado de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/06/costos-de-inversion-y-de-operacion-en-la-formulacion-de-un-proyecto/>
- Crece negocios. (2012, 13 abril). Búsqueda y selección de proveedores. Gestión de Negocios. Recuperado de <https://www.crecenegocios.com/busqueda-y-seleccion-de-proveedores/>

- De Boer, L. (2001). *A review of methods supporting supplier selection*. *European Journal of purchasing and Supply Management*. Recuperado de <https://www.google.com.co/search?q=A+review+of+methods+supporting+supplier+selection.+European+Journal+of+purchasing+and+Supply&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwiNr9v-k4HbAhWBzlkKHUcNADgQkeECCCMoAA>
- Ecopetrol. (s.f.). Refinación. Recuperado 18 marzo, 2018, de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/refinacion>
- Endesa. (s.f.). Real Academia de Ingeniería. Heteroátomos. Recuperado de <http://www.conecta2xaccessibilidad.org/es/lema/hetero%C3%A1tomo>
- Equión Energy. (s.f.). Página principal. Recuperado 18 marzo, 2018, de http://www.equion-energia.com/quienes_somos/Paginas/default.aspx
- Exxon Mobil. (s.f.). Esso Mobil. Recuperado 18 marzo, 2018, de <https://www.essoymobil.com.co/es-co/merger>
- Faster Fuel S.A.S. (s.f.). Servicios. Recuperado 18 marzo, 2018, de http://www.ffc.com.co/quienes_somos.html
- Garza, M. (1981). *Economía básica* (Ed. Rev). Recuperado de <http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020081079/1020081079.PDF>
- Gonzales, J. (2016, enero). Clasificación del petróleo según su contenido de azufre. Recuperado de <http://www.venelogia.com/archivos/9622>
- Gonzales, R, y Torrado, C. (2009). Implementación del sistema de gestión de la calidad para la realización de pruebas en el laboratorio de fluidos basados en la norma ISO 17025 de 2005 (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Gulf Colombia. (s.f.). Productos. Recuperado 20 septiembre, 2017, de <http://gulfcolombia.com/co/compania/>

Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC). (2005, 8 noviembre). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Recuperado de <http://www.saludcapital.gov.co/CTDLab/Publicaciones/2015/Norma%20tecnica%20colombiana%2017025.pdf>

Mailxmail. (2008). *Proveedores. Criterios de selección*. Recuperado de <http://www.mailxmail.com/curso-proveedores-compra-venta/proveedores-criterios-seleccion>

Mathpro. (2011, octubre). Introducción a la refinación del petróleo y producción de gasolina y diésel con contenido ultra bajo de azufre. Recuperado de https://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT_RefiningTutorial_Spanish.pdf

Morales, L. (2008). *Análisis por matriz de decisión para seleccionar una nueva línea de negocio en una empresa establecida*. Recuperado de <http://www.ingenieriasimple.com/problemas/EjemploMatrizDecision.pdf>

ONAC. (2012, julio). *Reglas del servicio de acreditación*. Recuperado 25 abril, 2018, de [http://www.onac.org.co/anexos/documentos/DOCUMENTOSONAC/\(R-AC-01%20Versi%C3%B3n%202007\).pdf](http://www.onac.org.co/anexos/documentos/DOCUMENTOSONAC/(R-AC-01%20Versi%C3%B3n%202007).pdf)

Orjuela C., S. y Sandoval M., P (2002). *Guía del estudio de mercado para la evaluación de proyectos*. Seminario de Prueba (Ingeniero Comercial). Universidad de Chile. Facultad de ciencias económicas y administrativas. Santiago, p. 123

Petrobras. (s.f.). Profile. Recuperado 18 marzo, 2018, de <http://www.petrobras.com.br/en/about-us/profile/>

Petromil. (s.f.). Grupo empresarial. Recuperado 18 marzo, 2018, de <http://www.petromilsa.com/quienes-somos>

Prieto, Martínez, Rincón, Carbonell, A. M. D. (2007, julio). Importancia de la posventa en la mezcla de mercadeo actual. *NEGOTIUM*, 1(1), 47-64. Recuperado de <http://www.revistanegotium.org.ve/pdf/7/Art3.pdf>

Prieto, C. (2010). *Análisis financiero. Fundación para la educación superior San Mateo*. Recuperado de <http://www.sanmateo.edu.co/documentos/publicacion-analisis-financiero.pdf>

Restrepo, M. (2007). *Aprenda a formular una estrategia de ventas*. Recuperado de <http://www.dinero.com/pais/articulo/aprenda-formular-estrategia-ventas/43232>

Stanley, B. A. (2005). *Administración Financiera* (11ª ed.). Madrid, España: McGraw Hill.

Terpel. (s.f.). *Productos y servicios*. Recuperado 18 marzo, 2018, de <https://www.terpel.com/en/home-Productos-y-Servicios/>.