

Estudio de prefactibilidad para plantear un estándar técnico que permita la determinación del contenido de agua por medio del método ASTM D4928 en el Laboratorio de Fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos UIS

Autor

Leidy Rocio Solano Rivera

Trabajo para optar al título de Ingeniera de Petróleos

Director

Esp. Cesar Augusto Pineda Gómez

Universidad industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía constante, darme fortaleza en los momentos de dificultad y regalarme la esperanza necesaria para seguir adelante en cada etapa de mi vida.

A mis padres y hermanos, por su amor, ejemplo, apoyo y enseñanzas, que me han formado y acompañado en cada paso hasta alcanzar este logro.

A mis amigos y compañeros, por su apoyo, confianza y compañía en este proceso, y por todos los momentos, aventuras y experiencias compartidas que hicieron más llevadero y especial el camino hacia esta meta.

A los que ya no están físicamente, pero que en vida me apoyaron con amor y fe, y que hoy me acompañan desde el recuerdo para ver cumplido este logro.

A quien siempre ha creído en mí y me ha apoyado con su amor incondicional a lo largo de estos años, siendo parte esencial en la consecución de este sueño.

Agradecimientos

Al ingeniero César Augusto Pineda, por su guía, dedicación, paciencia y apoyo durante la realización de este proyecto. Sus enseñanzas y conocimientos no solo fueron fundamentales para la culminación de este trabajo, sino que también aportaron de manera significativa a mi desarrollo profesional y personal.

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarme los espacios, recursos y el personal capacitado que hicieron posible este proceso de formación académica y personal.

A la Escuela de Ingeniería de Petróleos, por contar con profesores de excelencia, cuyo compromiso, conocimientos y vocación promovieron en mí el aprendizaje y el amor por la profesión a lo largo de toda la carrera.

Tabla de contenido

Introducción 18

1. Objetivos 21

1.1 Objetivo general..... 21

1.2 Objetivos específicos 21

2. Marco de referencia 22

2.1 Contenido de agua..... 22

2.1.1 Importancia de la determinación del contenido de agua..... 22

2.1.2 Problemas asociados al contenido de agua en petróleo 23

2.1.2.1 Incrustaciones. 23

2.1.2.2 Corrosión..... 24

2.2 Métodos para determinar el contenido de agua 27

2.2.1 Método para la determinación del contenido de agua en petróleo por destilación ASTM D4006..... 27

2.2.1.1 Equipos y reactivos. 27

2.2.1.2 Importancia y uso..... 28

2.2.1.3 Muestreo 29

2.2.1.4 Procedimiento. 30

2.2.1.5 Cálculo	31
2.2.2 Método de prueba para agua y sedimentos en petróleo crudo por centrifuga ASTM D4007	33
2.2.2.1 Equipos y reactivos	33
2.2.2.2 Procedimiento	36
2.2.2.3 Cálculo	39
2.2.3 Determinación del contenido de agua en petróleo crudo mediante titulación potenciométrica de Karl Fischer ASTM D4377	40
2.2.3.1 Reactivos y materiales	40
2.2.3.2 Muestreo y muestras de prueba.....	41
2.2.3.3. Procedimiento	42
2.2.3.4 Cálculo.....	43
2.2.4 Determinación del contenido de agua en petróleo crudo mediante titulación coulométrica de Karl Fischer ASTM D4928	44
2.2.4.1 Equipos y reactivos	44
2.2.4.2 Muestreo	45
2.2.4.3 Procedimiento.....	46
2.2.4.4 Cálculo	48

2.2 Análisis comparativo de los diferentes métodos para determinación del contenido de agua en petróleos crudos.	49
3. Análisis de mercado	50
3.1 Oferta y Demanda	51
3.1.1 Oferta	52
3.1.2 Demanda	56
3.1.2.1 Transportadores	61
3.1.2.2 Comercializadores	63
3.1.2.3 Análisis de clientes potenciales	65
3.2 Precio de la prueba	68
4. Análisis técnico	74
4.1 Dimensionamiento y ubicación	74
4.2 Personal capacitado	76
4.3 Selección de proveedores	76
4.3.1 Evaluación de las necesidades	77
4.3.1.1 Equipos.	78
4.3.1.2 Reactivos y materiales.	79
4.3.2 Construcción de una lista de proveedores	80

Estudio de prefactibilidad	7
4.3.3 Análisis de ofertas de los proveedores	82
4.3.4 Establecimiento de los criterios de selección.....	89
4.3.5 Cálculos para la selección del proveedor del equipo Karl Fischer	95
4.3.4 Resultados de la selección del proveedor	96
5 Análisis financiero	98
5.1 presupuesto de inversiones	98
5.1.1 Inversiones fijas	100
5.1.2 Inversiones diferidas	100
5.2 Capital de trabajo	101
5.3 Costos de producción.....	102
5.3.3 Costos de Fabricación	103
5.3.4 Costos de administración	103
5.3.5 Costos de ventas.....	104
5.4 Ingresos por prestación de servicio.....	105
5.5 Indicadores de evaluación financiera.....	108
5.5.3 Cálculos valores VPN	109

5.6 Resultado análisis financiero	111
6 Sistema de Gestión de Calidad.....	112
6.1 Norma Técnica Colombia ISO/IEC 17025:2017	115
6.1.1 Antecedentes	115
6.1.2 Objetivo.....	115
6.1.3 Requisitos para la acreditación de alta calidad	115
6.1.3.1 Requisitos generales.....	117
6.1.3.2 Requisitos de estructura	117
6.1.3.3 Requisitos de recursos.....	118
6.1.3.4 Requisitos de proceso	119
6.1.3.5 Requisitos del Sistema de Gestión.....	123
6.2 Proceso de acreditación.....	126
6.2.1 Alcance de la acreditación	127
6.2.2 Criterios de acreditación	128
6.2.3 Elementos para la acreditación ONAC	129
6.2.4 kit básico para la acreditación ONAC	132
6.3 Solicitud de acreditación.....	134

6.3.3 Registro inicial	134
6.3.4 Presentación de la solicitud.....	134
6.3.5 Revisión de la solicitud de acreditación.....	136
6.3.6 Cotización de la acreditación	136
6.3.7 Designación del equipo evaluador y programación de la evaluación.....	137
6.3.8 Proceso de evaluación.....	138
6.3.9 Decisión sobre la acreditación	139
6.3.10 Cierre del proceso de acreditación	140
7 Anexo 1	141
8 Conclusiones	146
9 Recomendaciones.....	147
Referencias Bibliográficas	149

Lista de tablas

Tabla 1	<i>Contenido de agua esperado.....</i>	29
Tabla 2	<i>Tolerancias de calibración del tubo centrifugador para un tubo de 203mm (8 pulg)...</i>	35
Tabla 3	<i>Expresión de resultados (ml).....</i>	39
Tabla 4	<i>% de contenido de agua esperado mediante ASTM D4377 según el tamaño de la muestra.....</i>	42
Tabla 5	<i>% de agua esperado mediante ASTM D4928 según el tamaño de la muestra</i>	46
Tabla 6	<i>Cuadro comparativo de los métodos estandarizados</i>	49
Tabla 7	<i>Información recopilada a partir de las cotizaciones solicitadas.....</i>	54
Tabla 8	<i>Cantidad de estudiantes matriculados en la asignatura laboratorio de fluidos.....</i>	57
Tabla 9	<i>Producción fiscalizada de crudo por campos en Santander.....</i>	59
Tabla 10	<i>Distribución en Km de las empresas transportadoras por oleoducto</i>	62
Tabla 11	<i>Principales comercializadores de crudo en el país.....</i>	63
Tabla 12	<i>Posibles clientes potenciales.....</i>	66
Tabla 13	<i>Costo de prueba en base a la Cooperativa de tecnólogos e ingenieros de la industria del petróleo y afines – TIP</i>	72

Estudio de prefactibilidad	11
Tabla 14 <i>Costo de prueba en base de Bureau Veritas</i>	73
Tabla 15 <i>Equipos necesarios para la prueba ASTM D4928</i>	78
Tabla 16 <i>Reactivos necesarios para la prueba ASTM D4928</i>	79
Tabla 17 <i>Proveedores para el titulador coulométrico Karl Fischer</i>	80
Tabla 18 <i>Proveedores de los reactivos</i>	81
Tabla 19 <i>Especificaciones de los tituladores Karl Fischer</i>	82
Tabla 20 <i>Precio de los equipos en pesos colombianos</i>	85
Tabla 21 <i>Proveedores para Reactivo Karl fischer</i>	87
Tabla 22 <i>Proveedores para Xileno</i>	87
Tabla 23 <i>Proveedores para balanza analítica</i>	87
Tabla 24 <i>Proveedores para mezclador sin aireación</i>	88
Tabla 25 <i>Precio de equipos en COP</i>	93
Tabla 26 <i>Servicio Post Venta del proveedor</i>	93
Tabla 27 <i>Especificaciones técnicas del equipo</i>	94
Tabla 28 <i>Facilidad en el mantenimiento</i>	94
Tabla 29 <i>Cumplimiento en los tiempos de entrega</i>	94

Tabla 30	<i>Puntuación final de los proveedores del equipo Karl Fischer</i>	95
Tabla 31	<i>Presupuesto de inversiones para el proyecto</i>	101
Tabla 32	<i>Costos de producción</i>	104
Tabla 33	<i>Costos totales, inversión y producción</i>	105
Tabla 34	<i>Estimación del escenario académico</i>	106
Tabla 35	<i>Estimación del escenario comercial</i>	107
Tabla 36	<i>Flujo de ingresos para cada escenario comercial</i>	111
Tabla 37	<i>Requisitos norma NTC ISO/IEC 17025:2017</i>	116
Tabla 38	<i>Criterios generales por Esquema de Acreditación ONAC</i>	129
Tabla 39	<i>Elementos necesarios para la implementación de la norma ASTM D4928</i>	141

Lista de figuras

Figura 1	<i>Corrosión en presencia de CO₂</i>	25
Figura 2	<i>Tubo centrifugador de 8 pulgadas</i>	34
Figura 3	<i>Procedimiento para leer agua y sedimentos mediante un tubo centrifugador cónico de 100 mm</i>	38
Figura 4	<i>Tendencia en el número de estudiantes matriculados</i>	58
Figura 5	<i>Valor expresado en dinero</i>	70
Figura 6	<i>Ubicación Parque Tecnológico Guatiguará (PTG)</i>	75
Figura 7	<i>Pasos para la selección de proveedores</i>	77
Figura 8	<i>Criterios de selección globales de Lehman y O'Shaughnessy</i>	89
Figura 9	<i>Etapas del horizonte del proyecto</i>	99
Figura 10	<i>Diagrama ciclo PHVA</i>	114
Figura 11	<i>Certificaciones de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, UIS.</i>	130

Glosario

ASTM: la ASTM (American Society for Testing Materials) es una organización que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas a nivel internacional, dirigidos a diferentes materiales, productos, sistemas y servicios.

Contenido de agua: es la cantidad de agua presente en un material o sustancia, se expresa como porción o porcentaje. Esta cantidad es determinante en diferentes campos, ya que afecta la calidad, comportamiento y vida útil de los productos.

Estándar: acuerdo documentado que establece criterios con el fin de asegurar que materiales, productos, procesos o servicios cumplan con un propósito establecido, permitiendo garantizar la calidad de los procesos.

Karl Fischer: método de valoración que permite determinar cuantitativamente el contenido de agua en líquidos y sólidos. Es uno de los métodos más utilizados debido a su alta eficiencia.

Norma: regla, directriz o pauta que rige un comportamiento acordado para llevar algo a cabo, con el fin de asegurar la convivencia, eficiencia o el orden en un contexto social, técnico o profesional.

ONAC: el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), es una corporación privada sin ánimo de lucro, que certifica la competencia técnica de las diferentes entidades que realizan ensayos, inspecciones, calibraciones y certificaciones de productos, procesos o sistemas de gestión, entre otros.

Prefactibilidad: análisis preliminar que se realiza a una idea de proyecto con el fin de determinar si su viabilidad permite transformarla en un proyecto más detallado.

Repetibilidad: es la capacidad de un proceso de medición para producir resultados similares cuando se realizan mediciones consecutivas del mismo proceso, bajo las mismas condiciones físicas y ambientales.

Resumen

Título: Estudio de prefactibilidad para plantear un estándar técnico que permita la determinación del contenido de agua por medio del método ASTM D4928 en el Laboratorio de Fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos UIS*

Autor: Leidy Rocio Solano Rivera**

Palabras Clave: Estudio de prefactibilidad, contenido de agua, pruebas de laboratorio, Análisis de mercado, Análisis Técnico, Análisis Financiero, Estudio de mercado.

Descripción:

El presente estudio de prefactibilidad está orientado a la implementación del método de prueba para determinar el contenido de agua en petróleos crudos mediante titulación coulométrica Karl Fischer ASTM D4928 en el laboratorio de fluidos, con el fin de dimensionar los diferentes recursos económicos, físicos y normativos necesarios para su posible desarrollo e integración al portafolio de servicios de la Escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander.

Se presentan las características más importantes del estándar ASTM D4928 y los requisitos establecidos para su implementación, junto a ello, se describen los demás métodos estandarizados que se usan en la industria petrolera para la determinación del contenido de agua. Se identifican los posibles competidores y clientes potenciales mediante un análisis de mercado, a partir de esto se establece un rango de precios viables para ofertar el servicio. Posteriormente se elabora un análisis técnico que permite seleccionar las opciones más adecuadas de equipos e insumos de acuerdo con las ofertadas recibidas de diferentes proveedores nacionales e internacionales. Acto seguido se realiza un análisis financiero enfocado en estimar los costos totales del proyecto y posibles utilidades, se plantean tres escenarios para el retorno de inversión mediante indicadores de evaluación financiera. Finalmente, se describen los requisitos necesarios para implementar un SGC con base en la norma NTC ISO/IEC 17025:2017 para pruebas de laboratorio, así como los aspectos clave para obtener la acreditación ante ONAC.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director Cesar Augusto Pineda.

Abstract

Title: Prefeasibility study for proposing a technical standard to enable the determination of water content using the ASTM D4928 method in the Fluids Laboratory of the School of Petroleum Engineering, UIS*

Author: Leidy Rocio Solano Rivera**

Keywords: Prefeasibility study, water content, laboratory testing, market analysis, technical analysis, financial analysis, market study.

Description:

This prefeasibility study is focused on the implementation of the test method for determining the water content in crude oils through Karl Fischer coulometric titration (ASTM D4928) in the fluids laboratory. Its purpose is to assess the economic, physical, and regulatory resources required for its potential development and subsequent integration into the service portfolio of the School of Petroleum Engineering at the Industrial University of Santander.

The study outlines the key features of the ASTM D4928 standard and the requirements established for its implementation. In addition, it reviews other standardized methods for water content determination commonly applied in the petroleum industry. A market analysis was conducted to identify potential competitors and prospective clients, which served as the basis for defining a feasible price range for offering the service. A technical assessment was then carried out to select the most suitable equipment and supplies, based on quotations obtained from both national and international suppliers.

Subsequently, a financial analysis was performed to estimate the total project costs and potential revenues. Three investment-return scenarios were developed using financial evaluation indicators. Finally, the study describes the requirements for implementing a Quality Management System in accordance with the NTC ISO/IEC 17025:2017 standard for laboratory testing, as well as the key aspects to achieve accreditation from ONAC.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director Cesar Augusto Pineda.

Introducción

El agua es un fluido que se encuentra comúnmente asociada al petróleo crudo; su presencia puede comprometer significativamente la calidad y el valor comercial de este, además de ocasionar diversos problemas en los equipos utilizados para su transporte. Debido a esto, el crudo debe someterse a distintos análisis para cuantificar el contenido de impurezas y a tratamientos que garanticen el cumplimiento de los requisitos mínimos de calidad establecidos por la industria.

Actualmente, el laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos de la UIS no cuenta con un procedimiento estandarizado para determinar el contenido de agua mediante el método de Karl Fischer. En su lugar se emplean métodos que no están considerados en la regulación nacional ni en los manuales del transportador de oleoductos en Colombia, los cuales establecen que la determinación debe efectuarse mediante los métodos ASTM D4377 o D4928.

De esta manera, el presente estudio se desarrolla en cinco capítulos, en el primero se describen los métodos estandarizados ASTM para determinar el contenido de agua en petróleos crudos, incluyendo los equipos e insumos para su desarrollo, así como sus respectivos procedimientos y cálculos para cuantificar el contenido de agua presente en el crudo.

En el segundo capítulo se realiza un análisis de mercado enfocado en la oferta del servicio a nivel nacional e internacional, así mismo se analiza la demanda del proyecto y se identifican los posibles clientes potenciales para la prueba, finalmente se establece el precio recomendado para ofertar el servicio por parte de la Universidad Industrial de Santander.

Posteriormente se desarrolla el tercer capítulo, donde se analizan los elementos necesarios para la implementación del estándar técnico, incluyendo la ubicación y dimensionamiento, personal técnico capacitado, los equipos y los insumos requeridos. De igual manera se evalúan las ofertas recibidas por parte de diferentes proveedores nacionales e internacionales con el fin de seleccionar la que mejor se ajuste a los objetivos del presente proyecto.

En el cuarto capítulo se abordan los aspectos financieros del proyecto, considerando las inversiones y el capital de trabajo, asimismo, se analizan los posibles ingresos por prestación del servicio con base en estimaciones de ventas. Finalmente, se calculan los indicadores de evaluación financiera para periodos de 5, 7 y 10 años, enfocados en verificar la viabilidad financiera del proyecto.

Finalmente, en el quinto capítulo se describen los lineamientos para el desarrollo del Sistema de Gestión de Calidad y la acreditación ante la ONAC, con base en la Norma Técnica Colombiana ISO/IEC 17025:2017. Asimismo, se detallan los requisitos y los pasos a seguir para realizar la solicitud de acreditación.

El estudio presenta las estimaciones económicas asociadas a la implementación del estándar técnico ASTM D4928 con base en supuestos de demanda. Aunque esto genera cierto grado de incertidumbre en los resultados, permite analizar la viabilidad económica en los diferentes periodos en que se proyectan ingresos por su oferta en el mercado. Asimismo, se identificó la ausencia de empresas o laboratorios acreditados que oferten el servicio de determinación del contenido de agua por el método Karl Fisher, lo que representa una gran oportunidad para posicionar a la Universidad Industrial de Santander como único proveedor en la región.

Para concluir la investigación, se recomienda evaluar la aplicación del método Karl Fisher para petróleos crudos con altos contenidos de agua, mediante la incorporación de herramientas complementarias, con la finalidad de ampliar su rango de aplicación y fortalecer la oferta de servicios en el mercado nacional.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Elaborar un estudio de prefactibilidad para el planteamiento de un estándar técnico que permita la determinación del contenido de agua por medio del método ASTM D4928 en el laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos UIS.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar una búsqueda bibliográfica sobre los diferentes métodos utilizados para la determinación del contenido de agua y sedimentos en petróleo crudo.
- Dimensionar los recursos necesarios para la implementación del estándar técnico planteado, considerando su operación en el laboratorio de fluidos de la escuela de Ingeniería de Petróleos.
- Elaborar un adecuado análisis financiero que permita la estimación económica de la implementación de la prueba en el laboratorio, con el fin de que se conozca la viabilidad del proyecto y su posible oferta en el mercado.
- Analizar los requisitos del sistema de gestión de calidad establecidos en la norma NTC ISO/IEC 17025:2017 y aplicarlos en el proyecto, con el fin de que se garantice la competencia técnica y la fiabilidad de los resultados de la prueba ASTM D4928.

2. Marco de referencia

2.1 Contenido de agua

El agua y los sedimentos se encuentran ligados al petróleo. El agua puede encontrarse en él debido a las características del yacimiento o como consecuencia de la inyección de agua utilizada para procesos de recobro y su contenido puede variar hasta valores cercanos a 100%, dependiendo de las características del campo. Los sedimentos provienen normalmente de la roca donde se almacenó el hidrocarburo y son considerados como contaminante sólido. El agua se encuentra en forma libre ya que estos dos fluidos son inmiscibles; y los sedimentos pueden ser encontrados en suspensión o separados.

2.1.1 Importancia de la determinación del contenido de agua

La determinación del contenido de agua en petróleo es de vital importancia debido a que, altos contenidos, pueden ocasionar problemas en los equipos como corrosión, taponamiento, daño en las bombas, entre otros.

Para operaciones de ventas, transferencias, inventarios, etc. se requiere conocer el volumen neto de hidrocarburos. En el transporte de crudo por oleoductos el petróleo debe cumplir con la reglamentación vigente asociada a parámetros mínimos de calidad de hidrocarburos producidos que han sido establecidos en los manuales del transportador, las cuales indican que el crudo no puede contener un porcentaje de agua e impurezas mayor al 0.8% en volumen. De esta forma la determinación del contenido de agua y sedimentos además de ser importante se convierte en una exigencia inherente a la producción.

2.1.2 Problemas asociados al contenido de agua en petróleo

Un alto contenido de agua en el crudo puede ocasionar graves problemas de taponamiento en las tuberías y daños por corrosión en los equipos de refinación.

A continuación, se muestran algunos conceptos generales de los problemas asociados a la presencia de agua en petróleo:

2.1.2.1 Incrustaciones. Son compuestos que resultan de la cristalización y precipitación de iones minerales en el agua de los yacimientos de petróleo, dichos iones tienden a unirse debido a las variaciones de las condiciones de presión y temperatura (Castro Hernández & Gámez Mejía, 2009, p. 23), formando depósitos sólidos. Por lo general, un incremento en la temperatura conlleva a un aumento de la solubilidad de un mineral en el agua. Sin embargo, no todos los minerales reaccionan de la misma manera, por ejemplo: el carbonato de calcio aumenta su solubilidad en el agua cuando la temperatura disminuye.

Las incrustaciones pueden ser frágiles, porosas y de fácil remoción si se forman en corto tiempo, pero si han sido formadas durante largo tiempo, se endurecen formando una capa fuerte que se adhiere a la tubería, haciendo difícil su remoción (Castro Hernández & Gámez Mejía, 2009).

Problemas causados por las incrustaciones:

Según Castro Hernández & Gámez Mejía (2009) la presencia de incrustaciones produce diferentes dificultades que generan aumentos de costos en la producción y otros problemas específicos como:

- Taponamiento y por ende restricción de flujo a través de la tubería.
- Uso de tratamientos costosos para combatirlas.
- Altos incrementos de presión que pueden causar rupturas en las tuberías y fugas en los empaques, generando posibles daños ambientales.
- Problemas de corrosión causados por la deposición irregular en las superficies metálicas.

Factores que influyen en la formación de incrustaciones

En general la presencia de iones capaces de formar compuestos de baja solubilidad es el factor que más afecta en la formación de incrustaciones, sin embargo, variaciones en la presión, temperatura, pH del agua y el flujo turbulento; contribuyen a la generación de este fenómeno (Castro Hernández & Gámez Mejía, 2009).

2.1.2.2 Corrosión. La corrosión es uno de los problemas principales que afecta la vida útil del sistema de tuberías de perforación, producción, transporte, etc. Este problema se da debido a la presencia de CO_2 , H_2S y agua libre.

El agente corrosivo en el interior de las tuberías es el agua, por esta razón, los operadores de oleoductos mantienen el riesgo de corrosión en niveles mínimos, exigiendo que el contenido de agua y sedimentos sea menor que 0.8 (Pajuelo, 2020).

Corrosión por dióxido de carbono CO_2

Este tipo de corrosión es una de las formas más frecuentes de la industria de los hidrocarburos en el mundo, es la causante de grandes daños en las tuberías. El CO_2 es corrosivo

cuando reacciona químicamente con una fase acuosa, formando el ácido carbónico. La presencia de este ácido es más peligrosa que la de cualquier otro ácido fuerte a un pH similar.

La velocidad de corrosión depende de diversos factores como la temperatura, presión, régimen de flujo, pH, la concentración de productos de corrosión, la humectabilidad por el agua y la microestructura del metal (Pajuelo, 2020).

Figura 1

Corrosión en presencia de CO₂



Nota. Tomado de *Corrosión en sistemas multifásicos en flujo intermitente, caso CO₂, agua, aceite, sobre acero al carbono 1020* (Villareal Celis, 2004, p. 11).

Corrosión por sulfuro de hidrógeno H₂S

La presencia de este agente corrosivo causa generalmente picaduras al interior de la tubería, sin embargo, puede tener diferentes efectos como la reducción del espesor de la tubería,

agrietamiento debido a que el sulfuro genera la fragilización del metal, produciendo puntos sensibles de falla.

La presencia del dióxido de carbono y del sulfuro de hidrogeno resulta más agresiva que la presencia única del H_2S (Pajuelo, 2020).

Métodos de prevención para la corrosión:

Algunos de los mecanismos empleados para prevenir o disminuir la corrosión en las tuberías son:

1. **Revestimiento de superficies:** se emplea una barrera protectora creada a partir de materiales que garantizan la durabilidad y rendimiento de las tuberías metálicas. Diferentes tipos de recubrimientos pueden ser utilizados, su aplicación dependerá del ambiente operativo y los requisitos del sistema, algunos de ellos son: recubrimientos de poliuretano, zinc, cerámicos, epóxidos, entre otros (Rodríguez, 2023).
2. **Protección catódica:** su principio se basa en la aplicación de corriente continua entre un electrodo (ánodo) y la superficie corroída (cátodo) dicha corriente reduce el potencial eléctrico del metal afectado, deteniendo de manera gradual el proceso de corrosión (Reyes, 2024).
3. **Inhibidores de corrosión:** es una técnica comúnmente utilizada, básicamente se inyecta una dosis de una sustancia química que forma una película protectora sobre la superficie del metal, reduciendo y evitando la corrosión. Se pueden encontrar diferentes tipos de inhibidores de corrosión de acuerdo a su mecanismo de acción: anódicos, catódicos mixtos (Zavarce, 2025).

2.2 Métodos para determinar el contenido de agua

Actualmente existen diferentes métodos que son comúnmente utilizados la determinación del contenido de agua en petróleo, estos han sido establecidos por la Asociación Americana de Pruebas y Materiales ASTM (*American Society for Testing and Materials*). A continuación, se mencionan algunos de dichos métodos utilizados en la industria:

2.2.1 Método para la determinación del contenido de agua en petróleo por destilación ASTM D4006

El método ASTM D4006 es un procedimiento estandarizado que permite determinar el contenido de agua en petróleo crudo y productos derivados del petróleo, esto se logra mediante el método de destilación. Es un método práctico que permite evaluar la calidad del crudo para garantizar que este cumpla con las especificaciones mínimas para su comercialización y refinación. En este método, la muestra es calentada en un aparato de destilación con un solvente (tolueno o xileno), el vapor se condensa y el agua es separada del solvente por diferencia de densidad. Finalmente, el agua es recogida en la trampa para ser medida en mililitros y reportar los resultados como porcentaje de agua en volumen o masa (ASTM International, 2016, *Standard Test Method for Water in Crude Oil by Distillation*, D4006-16, p.1-4.).

2.2.1.1 Equipos y reactivos. Los equipos y reactivos necesarios para el desarrollo de la prueba ASTM D4006 se muestran a continuación:

- **Matraz de destilación:** se debe usar un matraz de destilación de vidrio y fondo redondo de 1000mL con junta cónica hembra de 24/40. Este recibe una trampa de agua de 5 mL, con graduaciones de 0,05 mL.

- **Trampa de Dean-Stark:** Su función principal es separar y medir el agua que se destila con el solvente. Debe tener la capacidad adecuada para el contenido de agua esperado, usualmente 0-10 ml o 0-25 ml.
- **Condensador:** Debe permitir la circulación y refrigeración del agua, para asegurar una rápida y completa condensación. Es importante que esté fabricado en vidrio de altamente resistente.
- **Baño calefactor:** utilizado para aplicar calor al matraz de destilación, de preferencia una manta térmica, por seguridad. El rango de temperatura de este equipo debe oscilar entre los 110-160° C y permitir control de temperatura para evitar sobrecalentamiento y errores en la medición.
- **Solvente inerte:** tolueno o xileno comúnmente utilizados, deben ser de alta pureza para evitar contaminación y errores en la medición. Podrán ser reemplazados por solventes similares que contengan bajo punto de ebullición.
- **Termómetro:** se recomienda el uso de este equipo para monitorear la temperatura del vapor generado, con el fin de asegurar una correcta destilación.
- **Soporte y pinzas:** el soporte será usado para brindar estabilidad a los equipos y componentes del sistema, deberá ser pesada para brindar mejor soporte. Las pinzas al igual que el soporte deben ser resistentes a altas temperaturas.

2.2.1.2 Importancia y uso. El conocimiento del contenido de agua es importante para evacuación de calidad en operaciones de refinación, compra, venta o transferencia de petróleo crudo.

los equipos necesarios para esta prueba son relativamente económicos y fáciles de mantener, además, sus resultados contienen alta precisión en muestras con bajo contenido de agua. Este método de prueba puede no ser adecuado para petróleos crudos que contengan alcoholes solubles en agua. En los casos en los que el impacto sobre los resultados pueda ser significativo, se recomienda el uso de otro método de prueba, como el método D4928.

2.2.1.3 Muestreo. Sólo se deben usar muestras representativas obtenidas según lo especificado en la norma ASTM D4057 y D4177 para este método de prueba. El tamaño de la muestra debe seleccionarse en función del contenido de agua esperado de la muestra.

Tabla 1

Contenido de agua esperado

Contenido de agua esperado (% masa o volumen)	Tamaño aproximado de la muestra (g o ml)
50.1 – 100.0	5
25.1 – 50.0	10
10.1 – 25.0	20
5.1 – 10.0	50
1.1 – 5.0	100
0.5 – 1.0	200
Menor a 0.5	200

Nota. Tomado de *ASTM D4006-16: Standard Test Method for Water in Crude Oil by Distillation* (ASTM International, 2016, p. 02)

2.2.1.4 Procedimiento. El procedimiento para la determinación del contenido de agua mediante el ASTM D4006, es el siguiente:

1. Para determinar el contenido de agua con base al volumen, mida los líquidos libres en una probeta calibrada de 5 ml, 10 ml, 20 ml, 50 ml, 100 ml o 200 ml de acuerdo con el tamaño de la muestra. Vierta la muestra lentamente en la probeta para evitar atrapar aire y ajuste el nivel lo más exacto posible a la graduación correspondiente. Vierta cuidadosamente el contenido de la probeta en el matraz de destilación y enjuague la probeta cinco veces con porciones de xileno equivalentes a un quinto de la capacidad de esta, agregue los enjuagues al matraz. Vacíe la probeta completamente para garantizar el traspaso total de la muestra.
2. Para determinar el agua según masa, pese una porción de la muestra y viértala directamente en el matraz de destilación. Si utiliza un recipiente de transferencia, enjuáguelo con al menos cinco porciones de xileno y agréguelos al matraz.
3. Ensamble el aparato y asegúrese de que las conexiones sean herméticas para evitar pérdida de vapor y líquido. Inserte un tubo secador con un desecante indicador en el extremo del condensador para evitar la condensación de humedad atmosférica dentro del mismo. Haga circular agua, entre 20 °C y 25 °C, a través de la chaqueta del condensador.
4. Aplique calor al matraz. El tipo de petróleo que se evalúa puede alterar las características de ebullición de la mezcla crudo - solvente. El calor debe aplicarse lentamente durante las

etapas iniciales de la destilación (aprox. 30 a 60 min) para evitar salpicaduras y pérdida de agua del sistema.

1. Para facilitar el lavado del condensador, el condensado debería mantenerse lo más cerca posible a la salida del condensador. Después del calentamiento inicial, ajuste la velocidad de ebullición para que el condensado no suba más de tres cuartos de la distancia al tubo interior del condensador.
2. El destilado debe caer en la trampa en una tasa aproximada de 2 a 5 gotas por segundo.
3. Continúe con la destilación hasta que no observe agua en ninguna parte del equipo, excepto en la trampa y que el volumen de agua permanezca constante durante al menos 5 min. Si hay acumulación persistente de agua en el tubo interior del condensador, lave con xileno. Después del lavado, destile nuevamente durante al menos 5 minutos. Tras el segundo lavado, aplique calor suavemente para prevenir salpicaduras. Repita este procedimiento hasta que observe agua en el condensador y el volumen de agua en la trampa permanezca constante durante al menos 5 min.
5. Cuando se complete el traslado de agua, deje enfriar la trampa y su contenido a 20 °C. desprenda cualquier gota de agua adheridas a los laterales de la trampa con el raspador o pick de TFE-fluorocarbono y transfírela a la capa de agua. Lea el volumen de agua en la trampa, esta se encuentra graduada en incrementos de 0,05 ml, pero el volumen se estima con una precisión de 0,025 ml.

2.2.1.5 Cálculo. A continuación, se muestra la ecuación para calcular el porcentaje de agua en la muestra de petróleo:

$$\% \text{ en volumen} = \frac{(A - B)}{C} \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ en volumen} = \frac{(A - B)}{(M/D)} \times 100 \quad (2)$$

$$\% \text{ en masa} = \frac{(A - B)}{M} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

A = ml de agua en el colector.

B = ml de blanco del solvente.

C = ml de muestra de prueba.

M = g de muestra de prueba.

D = densidad de la muestra, g/ml. El material volátil soluble en agua, si está presente, puede medirse como agua.

Reporte el resultado como el contenido de agua con una aproximación al 0,025% informando el contenido de agua menor a 0,025% como 0%.

2.2.2 Método de prueba para agua y sedimentos en petróleo crudo por centrifuga ASTM

D4007

Este método de prueba se utiliza para la determinación de agua y sedimentos en petróleo crudo mediante el proceso de centrifugación, es importante mencionar que este método no es totalmente eficiente, debido a que usualmente la cantidad de agua determinada durante la prueba es casi siempre más baja que el contenido de agua real. Cuando se requiera mayor exactitud en los resultados debe usarse el procedimiento de agua por destilación ASTM D4006 (ASTM International, 2016, *Standard Test Method for Water and sediment in Crude Oil by Centrifuge Method*, D4007-16, p. 1-5).

2.2.2.1 Equipos y reactivos

- **Centrifuga de laboratorio:** este equipo debe ser capaz de girar dos o más tubos de centrifuga cónicos llenos de 203 mm a una velocidad que pueda controlarse para suministrar una fuerza centrífuga relativa (fcr) de mínimo 600 rpm en la punta de los tubos. Es indispensable que tanto la cabeza giratoria, como las tazas de muñón y los cojines estén contruidos sólidamente para soportar altas fuerzas centrifugas. Además, la centrifuga debe estar encerrada en una protección metálica para evitar riesgos en caso de roturas.

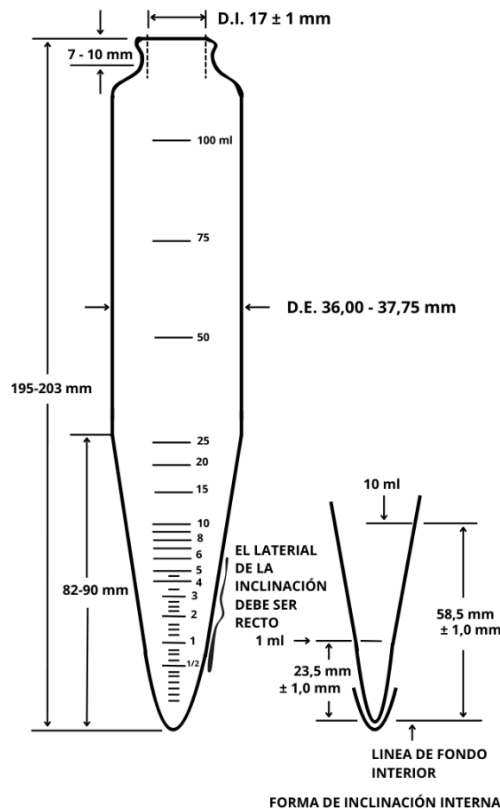
El equipo debe mantener la temperatura a 60°C durante toda la prueba. En términos de seguridad todas las centrifugadoras deben cumplir todos los requisitos para operar de manera segura, incluso en áreas peligrosas.

- **Tubos centrifugadores:** deberán ser tubos cónicos de 203 mm de longitud, fabricados en vidrio templado. Deberá contener las graduaciones completamente claras y enumeradas

para su lectura, tal como se muestra en la figura 2, la boca del tubo debe ser lo suficientemente estrecha para poder cerrarla con un corcho, evitando así que la muestra salga del recipiente durante la prueba. La tabla 2 muestra las tolerancias de error de escala y las graduaciones más pequeñas entre cada una de las marcas de calibración. Estas tolerancias se aplican a calibraciones realizadas con agua sin aire a 20°C. Antes de utilizar el tubo debe verificarse la exactitud de sus graduaciones. El tubo no puede ser utilizado si el error supera la tolerancia aplicable indicada en la tabla 2.

Figura 2

Tubo centrifugador de 8 pulgadas



Nota. Adaptado de *ASTM D4007-16: Standard Test Method for Water and Sediment in Crude Oil by the Centrifuge Method (Laboratory Procedure)* (ASTM International, 2016, p. 3)

Tabla 2

Tolerancias de calibración del tubo centrifugador para un tubo de 203mm (8 pulg).

Rango (ml)	Subdivisión (ml)	Tolerancia de volumen (ml)
De 0 a 0.1	0.05	±0.02
Superior a 0.1 a 0.3	0.05	±0.03
Superior a 0.3 a 0.5	0.05	±0.05
Superior a 0.5 a 1.0	0.10	±0.05
Superior a 1.0 a 2.0	0.10	±0.10
Superior a 2.0 a 3.0	0.20	±0.10
Superior a 3.0 a 5.0	0.5	±0.20
Superior a 5.0 a 10	1.0	±0.50
Superior a 10 a 25	5.0	±1.00
Superior a 25 a 100	25.0	±1.00

Nota. Adaptado de *ASTM D4007-16: Standard Test Method for Water and Sediment in Crude Oil by the Centrifuge Method (Laboratory Procedure)* (ASTM International, 2016, p. 3)

- **Solvente:** Para esta prueba se debe utilizar tolueno de alta pureza (99,5% o más) que cumpla con los estándares establecidos por la ACS. Importante tener en cuenta que, el tolueno es un líquido altamente inflamable, por lo que deberá mantenerse alejado de fuentes de calor. Antes de la prueba el solvente debe saturarse con agua a 60°C +/- 3°C, se debe verificar que se encuentre libre de agua en suspensión para la prueba.
- **Desemulsionante:** Para evitar que el agua presente en la muestra se adhiera a las paredes del tubo centrifugador, deberá utilizar un agente desemulsionante que favorezca su

separación, la solución recomendada es del 25% de desemulsionante y 75% tolueno. La solución deberá almacenarse en una botella oscura y completamente cerrada.

- **Baño de agua caliente:** Se requiere un baño de bloque de metal que permita sumergir el tubo centrifugador en posición vertical hasta la marca de 100 ml. Se debe mantener la temperatura en $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, Para el caso de crudos con presencia de cristales de cera, la temperatura debe mantenerse suficientemente alta para garantizar la ausencia de los cristales presentes.

2.2.2.2 Procedimiento

1. Llenar cada uno de los dos tubos de la centrifuga hasta la marca de 50 mL con la muestra tomada directamente del recipiente de muestreo. Usando una pipeta u otro recipiente adecuado para transferir volumen. Adicionar 50 ± 0.05 mL de tolueno, saturado previamente con agua a 60°C o 71°C . Adicionar 0.2 mL de la solución demulsificante a cada tubo, usando una pipeta de 0.2 mL u otro equipo apropiado. Tapar el tubo firmemente e invertir los tubos 10 veces para asegurarse que el aceite y el solvente se mezclen uniformemente.
2. cuando el crudo sea muy viscoso y la mezcla del aceite con el solvente sea difícil, se puede adicionar primero el solvente al tubo de la centrifuga para facilitar la mezcla. Importante no llenar el tubo de la centrifuga por encima de la marca de 100 mL con la muestra.
3. Soltar ligeramente los tapones y sumergir los tubos hasta la marca de 100 mL por al menos 15 minutos en el baño manteniendo de $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Asegurar los tapones y de nuevo invertir los tubos 10 veces para garantizar una mezcla uniforme de aceite y solvente.

Importante tener en cuenta que la presión de vapor a 60°C es aproximadamente el doble que a 40°C.

4. Colocar los tubos en las copas del muñón en los lados opuestos de la centrifuga para establecer un equilibrio, reajustar los corchos y centrifugar por 10 minutos a una fuerza centrífuga relativa mínima de 600, calculada con la siguiente ecuación:

$$fcr = d \left(\frac{r/min}{1335} \right)^2 \quad (4)$$

Donde:

d= diámetro de giro medido entre las puntas de tubos opuestos mientras están en posición de rotación, mm.

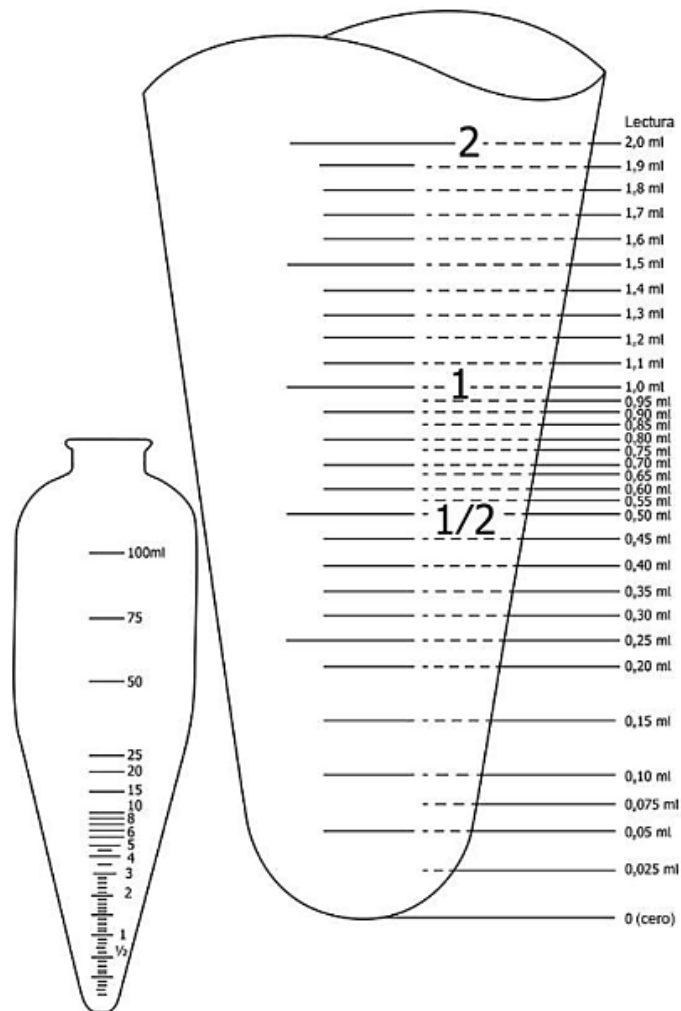
Después de que centrifuga se detenga, se debe leer y registrar el volumen combinado de agua y sedimento en el fondo de cada tubo, tomando el valor más cercano de 0.5 ml para graduaciones desde 0.1 a 1 ml y el más cercano de 0.1 para graduaciones por encima de 1 ml. Para volúmenes por debajo de 0.1 ml, leer el valor más cercano a 0.025 ml (revise la Figura 3). Retornar los tubos a la centrifuga sin agitarlos y girar por 10 minutos adicionales a la misma velocidad.

Repetir esta operación hasta que el volumen combinado de agua y sedimento permanezca constante en dos lecturas consecutivas. En general, no se requieren más de dos centrifugados. La temperatura de la muestra durante el procedimiento de la centrifugación debe mantenerse a 60 ± 3 °C.

- Para evitar el rompimiento de los tubos en las copas, se debe tener cuidado de que estos se encuentren encajados en el fondo de los amortiguadores, de modo que ninguna parte del tubo tenga contacto con el borde de la copa.

Figura 3

Procedimiento para leer agua y sedimentos mediante un tubo centrifugador cónico de 100 mm



Nota. Tomado de ASTM D4007-16: Standard Test Method for Water and Sediment in Crude Oil by the Centrifuge Method (Laboratory Procedure) (ASTM International, 2016, p. 4)

2.2.2.3 Cálculo. registrar el volumen final de agua y sedimentos en cada tubo de centrifuga. Si la diferencia entre las lecturas de los tubos es mayor a una subdivisión de la escala del tubo (revisar tabla 2) o se superan los 0,025 ml en lecturas de 0,10 ml e inferiores, se deberá repetir la determinación, puesto que las lecturas serán inaceptables.

Las lecturas aceptables deben expresarse como el porcentaje en volumen de agua y sedimentos, para ello se debe expresar de acuerdo con lo establecido en la tabla 3.

Tabla 3

Expresión de resultados (ml)

Tubo 1	Tubo 2	Porcentaje total de agua y sedimentos, % V/V
No se observan agua ni sedimentos	No se observan agua ni sedimentos	0.00
No se observan agua ni sedimentos	0.025	0.025
0.025	0.025	0.05
0.025	0.05	0.075
0.05	0.05	0.10
0.05	0.075	0.125
0.075	0.075	0.15
0.075	0.10	0.175

0.10	0.10	0.20
0.10	0.15	0.25

Nota. Adaptado de *ASTM D4007-16: Standard Test Method for Water and Sediment in Crude Oil by the Centrifuge Method (Laboratory Procedure)* (ASTM International, 2016, p. 5)

2.2.3 Determinación del contenido de agua en petróleo crudo mediante titulación potenciométrica de Karl Fischer ASTM D4377

Este método de prueba permite determinar cuantitativamente el contenido de agua en petróleos crudos mediante titulación potenciométrica de Karl Fischer. Este método es aplicable a crudos con contenido de agua en el rango de 0,02% a 2%. Usualmente es utilizado controles de calidad, transferencias, entre otros. Se sabe que el mercaptano, los sulfuros (S^-) o el sulfuro de hidrogeno (H_2S) limitan la prueba (ASTM International, 2011, *Standard Test Method for Water in Crude Oils by Potentiometric Karl Fischer Titration*, D4377-11, p.1-4).

2.2.3.1 Reactivos y materiales

- **Aparato Karl Fischer:** con punto final electrométrico. Tituladores coulométricos no podrán ser utilizados en este método de prueba.
- **Jeringas:** jeringas de vidrio precisas y agujas hipodérmicas de longitud adecuada, los diámetros deben mantenerse lo más pequeños posibles, siempre y cuando no ocasionen problemas de contrapresión o bloqueo durante la toma de la muestra. Los tamaños de jeringa sugeridos son: 10 μ L, 2,5 mL, 5 mL y 10 mL para muestras de petróleo crudo, jeringa de 20mL o mayor para el disolvente.

- **Reactivos de Karl Fischer:** Se puede usar reactivo con piridina en solución de éter monometílico de etilenglicol o reactivo libre de piridina diluido con xileno (tres partes del reactivo por una de xileno).
- **Metanol:** Contenido máximo de agua permitido: 0,1%, preferiblemente por debajo del 0,05%. Este componente puede ser fatal o provocar ceguera si se ingiere o inhala.
- **Solvente de muestra:** Para reactivo con piridina se debe mezclar 40 mL de 1-etilpiperidina, 20 mL de metanol y 40 mL de reactivo en un recipiente sellable; se debe dejar reposar toda la noche y luego añadir 200 mL de xileno. Para reactivo sin piridina se deben mezclar 3 partes de cloroformo con 1 parte de solvente libre de piridina usando la parte solvente de un reactivo de dos componentes, guardar la mezcla en un recipiente sellable de vidrio.
- **Xileno:** De grado reactivo, con contenido inferior al 0,05% de agua.
- **Cloroformo:** De grado reactivo. Altamente nocivo si se inhala o ingiere. Produce vapores tóxicos al quemarse.

2.2.3.2 Muestreo y muestras de prueba. El muestreo permite obtener una porción representativa del contenido de petróleo de cualquier tubería, tanque o sistema y transferirla al recipiente de prueba del laboratorio. Las dimensiones de estos dos elementos deben ser lo suficientemente grandes como para permitir su mezcla de manera adecuada. Para asegurar resultados confiables las muestras deben obtenerse de acuerdo con lo descrito en las normas ASTM D4057 y D4177.

La muestra debe ser homogenizada a temperatura ambiente (25 °C) o inferior y no debe aumentar su temperatura en más de 10 °C, pues podría ocasionar pérdida de agua y errores en los

resultados. Para pequeños volúmenes de muestra de 50 a 500 mL se recomienda un mezclador de cizalla de alta velocidad y sin aireación.

El tamaño de la muestra de ensayo depende del contenido de agua esperado. Se selecciona de acuerdo con la siguiente tabla

Tabla 4

% de contenido de agua esperado mediante ASTM D4377 según el tamaño de la muestra

Contenido de agua previsto (%)	Tamaño de la muestra (g)
De 0 a 0.3	5
De 0.3 a 1	2
De 1 a 2	1

Nota. Adaptado de *ASTM D4377-11: Standard Test Method for Water in Crude Oils by Potentiometric Karl Fischer Titration* (ASTM International, 2011, p. 3).

Este procedimiento de muestreo asegura que la prueba se realice sobre una muestra representativa, minimizando errores en los resultados.

2.2.3.3. Procedimiento

1. Agregar el solvente en el recipiente de titulación limpio y seco, debe cubrir los electrodos. Sellar todas las aberturas del recipiente y mezclar suavemente con el agitador magnético. Añada el reactivo Karl Fischer en pequeñas cantidades para que la aguja se desvíe del

punto de referencia, continuar adicionando el reactivo hasta que la aguja permanezca estable durante 30 segundos.

2. Agregar el crudo al recipiente de titulación inmediatamente después de la mezcla, puede usar cualquiera de los siguientes métodos:

2.1 con una jeringa limpia y seca (5 o 10 mL) enjuáguela dos veces con la muestra y deseche los residuos. Retire la cantidad necesaria de muestra y elimine las burbujas de aire. Inyecte la muestra en el recipiente de titulación, limpie la aguja con un pañuelo de papel y vuelva a pesar la jeringa para determinar la masa de la muestra. Titule hasta lograr un punto final estable ($\pm 1 \mu\text{A}$) durante al menos 30 segundos. Finalmente registre el volumen de reactivo con precisión de 0,01 mL.

2.2 Para crudos viscosos agregue la muestra en un frasco cuenta gotas limpio y seco. Determine el peso de la botella y transfírela rápidamente al recipiente de titulación, sólo se debe transferir la cantidad adecuada de muestra. Vuelva a pesar la botella y determine la masa de muestra. Realizar la titulación como se menciona en el paso anterior. Importante, no agitar la celda después de agregar la muestra.

2.2.3.4 Cálculo. Calcule el contenido de agua presente en la muestra de la siguiente manera:

$$\text{agua, \% en masa} = \frac{CF}{W(10)} \quad (5)$$

Donde:

C = reactivo de Karl Fisher necesario para titular la muestra, mL,

F = equivalencia de agua de reactivo de Karl Fisher, mg/ml,

W = muestra utilizada, g, y

10 = factor para convertir a porcentaje

2.2.4 Determinación del contenido de agua en petróleo crudo mediante titulación coulométrica de Karl Fischer ASTM D4928

Este método de prueba permite determinar el contenido de agua en el rango de 0,02 a 5% de masa o volumen en petróleos crudos. Bajo condiciones especiales abarca entre 0,005 % y 0,02%. El mercaptano (*RHS*) y sulfuro (S^- o H_2S) pueden interferir negativamente en este método, sin embargo, a niveles por debajo de los 500 $\mu\text{g/g}$ (ppm), la interferencia de estos compuestos resulta insignificante (ASTM International, 2018, *Standard Test Method for Water in Crude Oils by Coulometric Karl Fischer Titration*, D4928-18, p.1-5).

2.2.4.1 Equipos y reactivos

- **Reactivo Karl Fischer solución anódica:** debe diluirse en una relación 6:4 con xileno grado reactivo para mejorar la solubilidad de la muestra. Pasada la fecha de expiración esta solución no podrá ser usada.
- **Reactivo Karl Fischer solución catódica:** utilizar el reactivo estándar comercialmente disponible para cátodo en titulaciones coulométricas.
- **Xileno:** de grado reactivo y contenido de agua menor a 0,05%.

- **Titulador Karl Fisher:** con detector de punto final electrométrico.
- **Mezcladores:** deben ser de alta velocidad y sin aeración, su función es homogenizar correctamente la muestra de crudo. Podrán usarse de tijera (o cortador) o de circulación de muestra.
- **Jeringas:** el tamaño de la jeringa debe ser seleccionado para que la muestra no sea menor a la mitad del volumen total contenido por la jeringa. Debe ser lo suficientemente larga para inyectar la muestra debajo de la superficie del fluido en la celda de titulación. Pueden ser: jeringas para determinación gravimétrica, cualquier tipo podrá ser usada, no deben tener fugas y sus dimensiones deben permitir su uso adecuado en la balanza. Jeringas para determinación volumétrica: se requiere una jeringa certificada capaz de entregar el volumen con una precisión del 0,5% del volumen contenido.
- **Balanza para determinación de masa:** se puede usar cualquier balanza analítica con una precisión y resolución de 0,1 mg, capaz de pesar hasta 100 g.
- **Celda de titulación:** celda de titulación hecha de materiales opacos puede reducir la disociación del yodo en el reactivo de Karl Fischer.

2.2.4.2 Muestreo. El muestreo permite obtener una porción representativa del contenido de petróleo de cualquier tubería, tanque o sistema y transferirla al recipiente de prueba del laboratorio. Las dimensiones de estos dos elementos deben ser lo suficientemente grandes como para permitir su mezcla de manera adecuada. Para asegurar resultados confiables las muestras deben obtenerse de acuerdo con lo descrito en las normas ASTM D4057 y D4177.

La muestra se debe mezclar inmediatamente para asegurar una completa homogeneidad, realizarla a temperatura ambiente (25 °C) o a una temperatura inferior, importante evitar el

aumento de su temperatura en más de 10 °C respecto a la temperatura inicial, para evitar pérdida de agua y errores en los resultados. Para pequeños volúmenes de muestra de 50 a 500 mL se recomienda un mezclador de cizallamiento de alta velocidad y sin aireación. Para recipientes más grandes y volúmenes superiores a 500 mL, se deben definir las condiciones de muestra adecuadas siguiendo los procedimientos descritos en la práctica ASTM D5854, pero modificados para su aplicación a volúmenes más grandes.

El tamaño de la muestra de ensayo depende del contenido de agua estimado. Se selecciona de acuerdo con la siguiente tabla

Tabla 5

% de agua esperado mediante ASTM D4928 según el tamaño de la muestra

Contenido de agua esperado, %	Tamaño de la muestra, g o ml
0.02 – 0.1	1.0
0.1 – 0.5	0.5
0.5 – 5.0	0.25

Nota. Adaptado de *ASTM D4928-18: Standard Test Method for Water in Crude Oils by Coulometric Karl Fischer Titration* (ASTM International, 2018, p. 3).

2.2.4.3 Procedimiento. La determinación del contenido de agua mediante el método Karl Fisher, puede realizarse con base en la masa o el volumen de la muestra seleccionada.

Determinación por masa

1. Adicionar el solvente y llevarlo a las condiciones de punto final. La muestra debe ser homogenizada asegurando que la temperatura se mantenga a temperatura menor o igual a 25 °C
2. Tomar la alícuota con ayuda de una jeringa limpia y seca, esta debe contar con la capacidad adecuada de acuerdo con el tamaño de la muestra. Llène por lo menos tres veces la jeringa y deseche la porción tomada, posterior a ello tome una cuarta porción de la muestra, limpie los residuos y pese la jeringa junto con el contenido, lo más cercano a 0.1 mg. Inyecte la muestra dentro del recipiente de titulación con la aguja por debajo de la superficie del reactivo de Karl Fischer. Para crudos altamente viscosos utilizar una botella cuenta gotas.
3. Tomar la jeringa y pesarla nuevamente para determinar la masa neta de muestra inyectada en el equipo.
4. Esperar a que el titulador alcance el punto final y registrar la cantidad de agua detectada. Si la concentración de agua es totalmente desconocida, se recomienda comenzar con una pequeña porción de prueba para evitar un tiempo de titulación excesivo y agotamiento de los reactivos. Luego se podrá ajustar el tamaño de la muestra según corresponda.

Determinación por volumen

1. Este procedimiento puede ser implementado sólo en condiciones seguras, es decir, cuando la presión de vapor y la viscosidad permitan determinar exactamente el volumen del crudo.

2. Realizar el procedimiento de acuerdo con lo establecido para la determinación por masa, con la excepción de que en este caso se debe registrar el volumen de la jeringa lo más cercano a 1 o 10 μL .

2.2.4.4 Cálculo. Calcule el % de masa de agua presente en la muestra de la siguiente manera:

$$\text{Agua, \% masa} = (W_1/W_2) \times 100 \quad (6)$$

Donde:

W_1 = masa de agua titulada, μg .

W_2 = masa de muestra utilizada, μg .

Nota: reporte el contenido de agua lo más cercano a 0.01% masa.

Calcule el % de volumen de agua presente en la muestra de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de agua, \% volumen} = (V_1/V_2) \times 100 \quad (7)$$

Donde:

V_1 = volumen de agua titulada, μg (igual que los μg de agua reportados por el equipo)

V_2 = volumen de muestra utilizada, μg .

Nota: reporte el contenido de agua lo más cercano posible de 0.01% volumen.

2.2 Análisis comparativo de los diferentes métodos para determinación del contenido de agua en petróleos crudos.

En la siguiente tabla se plasman los principales parámetros que caracterizan a cada uno de los métodos descritos anteriormente para la determinación del contenido de agua en petróleos crudos. Esta comparación busca analizar sus ventajas y desventajas, con el fin de facilitar la selección del método más adecuado de acuerdo con las condiciones y objetivos del proyecto. Cabe resaltar que el método de la centrifuga ASTM D4007 es ampliamente utilizado en campo y, además, se encuentra disponible en el laboratorio de fluidos de la Universidad Industrial de Santander y en su sede Guatiguará; gracias a su baja complejidad, se ha convertido en una herramienta ideal para evaluaciones prácticas, sin embargo, tanto en la resolución 41251 del 23 diciembre 2016 como en el Manual del Transportador de Ecopetrol y Cenit se establece que la determinación del contenido de agua debe realizarse por Karl Fischer, siendo la norma ASTM D4928 la única que se encuentra vigente, su aplicación representa mayor precisión y rangos de aplicación más amplios.

Tabla 6

Cuadro comparativo de los métodos estandarizados

Parámetro	ASTM D4928 Karl Fischer coulométrico	ASTM D4377 Karl Fischer potenciométrico	ASTM D4006 Destilación	ASTM D4007 Centrifuga
Rango de aplicación	0.02 – 5% de masa o volumen en petróleos crudos	0.02 a 2% en petróleos crudos	Para uso en petróleos crudos, su rango de aplicación no ha sido especificado.	Para uso en petróleos crudos, su rango de aplicación no ha sido especificado.
Tamaño de la muestra	0.25 – 1 g	1 – 5 g	5 – 200 mL	50 mL

Riesgos y limitaciones	Interferencias por mercaptanos y sulfuros en niveles superiores a 500 µg/g	Interferencias por mercaptanos y sulfuros en niveles superiores a 500 µg/g	No apto para petróleos con alto contenido de alcoholes solubles.	Método poco satisfactorio. No apto para petróleos con alto contenido de alcoholes solubles.
Límite mínimo de detección	0.01% en masa	0.01 % en masa	0.05% volumen	0.025% volumen
Reporte	% masa de agua, % volumen de agua	% masa de agua	% masa de agua, % volumen de agua	% volumen de agua y sedimentos
Repetibilidad	0.002 en masa para crudos con 0.01 % en masa o volumen de agua y 0.12 para crudos con 5% de agua	0.013 (reactivo estándar), 0.012 (libre de piridina), para crudos con 0.05 % en masa de agua y 0.043(reactivo estándar), 0.040 (libre de piridina) para crudos con 2% de agua	No hay rangos estipulados de repetibilidad. En valores superiores a 0.1 % de agua, la repetibilidad es constante a 0.08	No hay rangos estipulados de repetibilidad. De 0.3% a 1.0% de agua, la repetibilidad es constante a 0.28
Uso de reactivos	si	si	si	si

3. Análisis de mercado

Un estudio de mercado representa uno de los factores más importantes al momento de evaluar un proyecto, ya que permite analizar y entender el comportamiento del mercado, sus tendencias, las preferencias de los consumidores, y otros aspectos que llevan a identificar necesidades no satisfechas. Este proceso brinda la base para diseñar estrategias orientadas a brindar soluciones que permitan suplir los requerimientos de un sector.

En este sentido, se puede decir que el estudio de mercado es el punto de partida para la evaluación de proyectos, puesto que permite identificar condiciones y restricciones que pueden influir en el desarrollo de las demás etapas del estudio. En conclusión, este análisis brinda la capacidad de analizar factores económicos que inciden directamente en la toma de decisiones de un nuevo proyecto, enfocando todas estas variables en la relación costo/beneficio y el impacto que pueden tener sobre su rentabilidad (Orjuela Córdova & Sandoval, 2002).

El objetivo principal del presente estudio de mercado es analizar efectivamente el comportamiento del sector, identificar los clientes potenciales y reconocer las empresas que prestan un servicio con los mismos objetivos, y por supuesto, cuáles son los costos de servicio que manejan estas entidades, todo esto orientado a obtener información que permita definir la viabilidad de continuar, replantear, ajustar o abandonar el presente proyecto.

3.1 Oferta y Demanda

La oferta y la demanda son conceptos fundamentales y comúnmente utilizados en los principios de la economía, se reconocen como las fuerzas que permiten el funcionamiento de las economías de mercado. La interacción de estos dos factores determina tanto la cantidad de productos o servicios que se deben producir, así como el precio en el que deben ofertarse al

público (Mochón Morcillo & Beker, 2008). Teniendo en cuenta lo anterior, en este capítulo se analizará el comportamiento de oferta y demanda respecto al método de prueba seleccionado, con el fin de determinar el costo final del servicio.

3.1.1 Oferta

Como se mencionó anteriormente, es fundamental conocer el comportamiento del mercado de laboratorios que prestan el servicio de determinación del contenido de agua en petróleo crudo mediante el método ASTM D4928. Para ello, se realizará un análisis detallado en el que se identificarán en cada uno de los laboratorios, aspectos como: los servicios que ofertan, los factores diferenciales como prestadores de este servicio, las acreditaciones que poseen en sus laboratorios y por supuesto costos asociados a la prueba. El análisis de estos aspectos permitirá identificar cuáles son los competidores más fuertes del sector y ayudará a establecer las estrategias para ingresar en este mercado. Asimismo, proporcionará una base sólida que servirá como punto de partida para determinar el precio del servicio más adelante.

Para recopilar la información necesaria de las empresas que prestan el servicio, se realizó un búsqueda de entidades a nivel nacional, sin embargo, no se identificaron laboratorios acreditados por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia ONAC para realizar la prueba ASTM D4928, por ello, como estrategia se identificaron laboratorios que ofrecen el servicios de determinación de contenido de agua en petróleos crudos mediante la norma ASTM D4377 mediante titulación volumétrica Karl Fischer. Así mismo, se identificaron laboratorios internacionales que realizan la determinación del contenido de agua mediante la norma ASTM D4928 y que a su vez se encuentran acreditados bajo la norma ISO/IEC 17025. Se solicitaron cotizaciones a las diferentes entidades nacionales e internacionales mediante correo electrónico y

formularios situados en la página web oficial de cada uno de ellos, en total se contactaron 11 compañías, la mayoría de estas cuentan con acreditación vigente por parte del organismo Nacional de Acreditación de Colombia, ONAC, obteniendo así la certeza y el respaldo técnico necesarios para el uso de la información en el presente estudio.

De las compañías contactadas, 4 de ellas no emitieron una respuesta en el tiempo adecuado, sin embargo, 7 de ellas si lo hicieron, por lo cual se puede decir que se obtuvo un 64% de respuestas efectivas. De las 7 compañías que respondieron a tiempo, algunas adjuntaron el valor del servicio por escrito sin emitir cotización, 1 de las 8 indicó que no prestaba el servicio para análisis de crudos y otra indicó que no prestaban el servicio para clientes fuera de México, las demás dejaron la solicitud en espera. A partir de lo anterior, se construye la tabla 7 en la cual se expone la información compilada a través de las solicitudes realizadas.

Tabla 7

Información recopilada a partir de las cotizaciones solicitadas

Empresa	Ubicación	Precio (COP)	Precio + IVA (COP)	Acreditación ONAC/ISO 17025	Información	Contacto
Intertek Colombia	Cartagena, Bolívar.	\$292.800	\$348.432	Sí	Empresa especializada en la inspección, verificación, pruebas y certificados de productos y servicios a nivel mundial.	marigel.sarmiento@intertek.com
Instituto Colombiano del Petróleo y Energías de la Transición - ICPET	Piedecuesta, Santander.	\$86.000	\$103.304	Sí	Compañía líder en la investigación científica y el desarrollo tecnológico para impulsar la transición energética del país.	atencion.clientes.ICP@ecopetrol.com.co
Cooperativa de tecnólogos e ingenieros de la industria del petróleo y afines – TIP	Girón, Santander.	\$187.995	\$223.714	Sí	Empresa con más de 25 años en la prestación de servicios especializados de laboratorio, consultorías, certificación de calidad y cantidad de transferencia de crudo.	contacto@tipcolombia.com
Bureau Veritas	Cartagena, Bolívar.	\$250.000	\$297.500	Sí	Empresa líder a nivel mundial, se especializa en servicios de pruebas, inspección y certificación.	brayner.villa@bureauveritas.com

Oil Testing de Mexico S.A. de C.V.	Ciudad de México.	\$729.924	\$846.695	Sí	Empresa Mexicana especializada en la toma de muestras, determinación de cantidades, supervisión, control de perdidas, transferencias de custodia, entre otras.	sergio.martinez@oiltesting.com.mx
Services inter lab de méxico S.A. de C.V.	Villahermosa Tabasco, México.	\$1'296.990	\$1'504.508	Sí	Empresa Mexicana que presta servicios para la industria Petrolera, con experiencia hace más de 12 años en Geociencias, Muestreo y Análisis de Agua, Gases, Aceites, Lodos y Fluidos de Perforación.	jessica.ysidro@silm.com.mx

Nota. Los precios están dados en pesos colombianos (COP), para el caso de las compañías internacionales, quienes expresaron su valor en dólares americanos (USD), se utilizó una Tasa Representativa del Mercado (TRM) de 4191,38 COP.

De acuerdo con la información obtenida, se puede evidenciar que en el país existe una cantidad reducida de entidades que ofertan el servicio de determinación de contenido de agua en petróleos crudos mediante la prueba ASTM D4377 y para el caso de la prueba ASTM D4928 se evidencia la ausencia del servicio. Esto representa una oportunidad para la Universidad Industrial de Santander puesto que contribuiría al desarrollo tecnológico en Colombia y se posicionaría como referente nacional en el servicio.

3.1.2 Demanda

Para empezar, es necesario aclarar que la demanda hace referencia a la cantidad de producto o servicio que los consumidores están dispuestos a adquirir a un precio determinado (*El estudio del mercado*, s.f.).

Asimismo, para conocer la necesidad del sector, en esta fase del proyecto es necesario analizar a detalle los diferentes consumidores y posibles clientes potenciales que requieren determinar el contenido de agua en hidrocarburos líquidos.

Es importante resaltar que este proyecto se encuentra alineado con los objetivos de la escuela de ingeniería de petróleos, por ende, se busca fortalecer el desarrollo de las competencias técnicas de los estudiantes, lo cual lleva a determinar a los estudiantes de *laboratorio de fluidos (23182)* de la escuela, como los demandantes principales y más importantes para la prueba en estudio.

En la tabla 8 se plasma la cantidad de estudiantes que registran como matriculados en la asignatura *laboratorio de fluidos (código 23183)* en el pensum del programa académico de

Ingeniería de Petróleos durante los periodos académicos 2019-1 hasta 2024-2 (Información suministrada por la secretaria de la escuela de Ingeniería de Petróleos)

Tabla 8

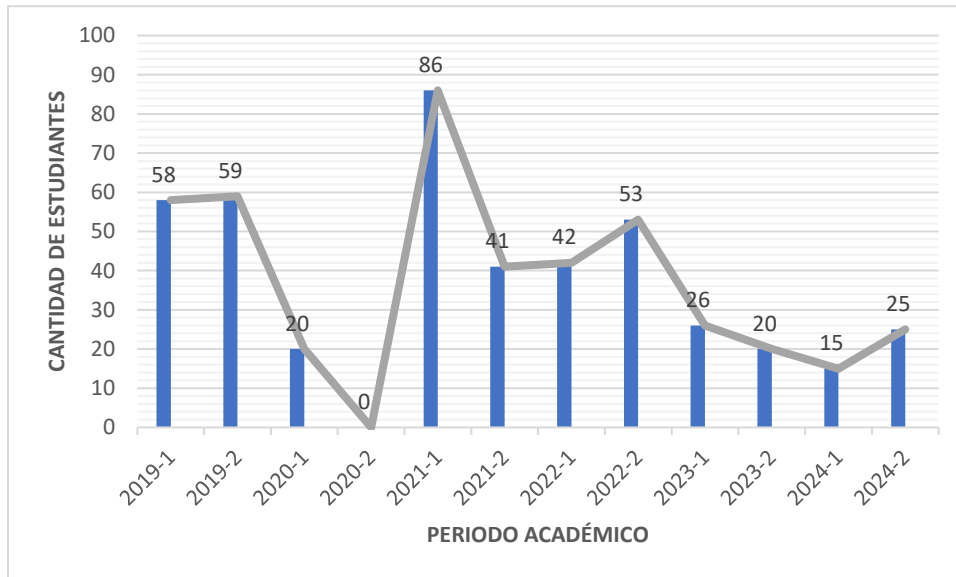
Cantidad de estudiantes matriculados en la asignatura laboratorio de fluidos

Periodo académico	Cantidad de estudiantes
2019-1	58
2019-2	59
2020-1	20
2020-2	0
2021-1	86
2021-2	41
2022-1	42
2022-2	53
2023-1	26
2023-2	20
2024-1	15
2024-2	25

A partir de los datos mostrados en la tabla 8 se elaboró el gráfico (figura 4) que muestra el comportamiento del número de estudiantes matriculados en la asignatura laboratorio de fluidos y permite estimar la cantidad de estudiantes que podrían aprovechar el aprendizaje teórico-practico si se llega a implementar esta prueba en el laboratorio.

Figura 4

Tendencia en el número de estudiantes matriculados



Lo anterior permite realizar una estimación de la cantidad de estudiantes matriculados para los próximos periodos académicos, en promedio se espera un total de 33 estudiantes para el periodo 2025-1, puesto que esta es la variación calculada entre los periodos 2019-1 a 2024-2, con un total de 58 hasta 25 estudiantes matriculados en la asignatura laboratorio de fluidos respectivamente, se debe tener en cuenta que en el periodo 2020-2 se tiene un dato perdido y se asumió como 0.

Es importante mencionar que la implementación de esta prueba no sólo beneficia a los estudiantes de pregrado de Ingeniería de Petróleos, sino también abre campo a futuros investigadores de la industria, que necesiten realizar la determinación del contenido de agua en petróleos crudos mediante el método de titulación coulométrica Karl Fischer. El hecho de realizar análisis especializados aprobados por la American Society for Testing Materials (ASTM) sitúa a la Universidad Industrial de Santander dentro del grupo de laboratorios que ofrecen

servicios con altos estándares de calidad y confiabilidad, aumentando así el alcance de clientes potenciales para el uso de la prueba.

Hasta ahora se han considerado a los estudiantes de la escuela de ingeniería de petróleos como clientes potenciales, sin embargo, es importante tener en cuenta los requisitos mínimos de calidad que se han establecido para el transporte de crudo en oleoductos y las especificaciones descritas en los diferentes manuales del transportador, permitiendo determinar cómo clientes potenciales a las diferentes entidades que hacen parte del mercado del transporte y comercialización de crudo en el país, principalmente en la región de Santander.

Tabla 9

Producción fiscalizada de crudo por campos en Santander

Municipio	Operadora	Campo	Contrato	Promedio
Barrancabermeja	Ecopetrol S.A.	La cira	La cira infantas	19121,043
Barrancabermeja	Ecopetrol S.A.	Infantas	La cira infantas	6470,5
Barrancabermeja	Ecopetrol S.A.	Llanito unificado	Magdalena medio-yarigui-cantagallo	4867,320
Puerto wilches	Ecopetrol S.A.	Yarigú-cantagallo	Magdalena medio-yarigui-cantagallo	2557,688
Sabana de torres	Ecopetrol S.A.	Provincia	Provincia p sur	1782,27917
Rionegro	Ecopetrol S.A.	Bonanza	Provincia p norte	1231,780
Sabana de torres	Petrosantander INC.	Salina	Carare las monas	851,069

San vicente de chucuri	Ecopetrol S.A.	Nutria	Lisama-nutria	769,353
Puerto wilches	Ecopetrol S.A.	Flamencos	Magdalena medio-yarigui-cantagallo	745,055
San vicente de chucuri	Ecopetrol S.A.	Lisama	Lisama-nutria	666,12
Sabana de torres	Petrosantander INC.	Payoa	Carare las monas	479,884
Puerto wilches	Ecopetrol S.A.	Garzas	Magdalena medio-yarigui-garzas	357,171
Sabana de torres	Ecopetrol S.A.	Aullador	Playon	350,354
San vicente de chucuri	Ecopetrol S.A.	Tesoro	Lisama-nutria	215,565
Rionegro	Parex resources colombia LTD.	Boranda	Boranda	204,002
Sabana de torres	Ecopetrol S.A.	Cristalina	Magdalena medio-cristalina	160,8825
Sabana de torres	Petrosantander INC.	Corazón west	Carare las monas	136,0775
Simacota	Parex resources colombia LTD.	Aguas blancas	Aguas blancas	110,32
Rionegro	Gran tierra energy colombia, GMBH.	Colón	La paloma	105,220833
Sabana de torres	Petrosantander INC.	Corazón	Carare las monas	92,3416667
Cimitarra	Saint aubin international SAS.	Lilia-angie unificado	Opón	12,51
Cimitarra	Saint aubin international SAS.	Angie	Opón	10,3766667

Sabana de torres	Petrosantander INC.	Payoa west	Carare las monas	5,24333333
Cimitarra	Saint aubin international SAS.	Opón	Opón	2,105
Rionegro	Gran tierra energy colombia, GMBH.	Juglar	La paloma	0,33166667
Total				41304,597

Nota. La producción se representa como un promedio de enero a diciembre de 2024, las unidades están en BPDC. Fuente (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2024)

3.1.2.1 Transportadores. El transporte de hidrocarburos juega un papel importante en la comercialización del producto, debido a que permite la distribución desde su punto de extracción, terminales de almacenamiento, plantas de refinamiento, hasta llegar al cliente final. Existen diferentes medios de transporte que son utilizados en la industria del petróleo, sin embargo, el transporte por oleoductos es la manera más rápida y eficiente para realizarlo, puesto que permiten desplazar grandes volúmenes a menores costos. Estos oleoductos se construyen a partir de tubos de acero, usualmente sus diámetros oscilan entre los 30 y 120 centímetros (Castiblanco & Cárdenas, 2023).

En Colombia, existen siete oleoductos que conectan los puntos de producción, con las refinerías para su tratamiento. Los principales oleoductos en el país son: caño limón – Coveñas, Alto Magdalena, Orensa, Colombia, Trasandino, Los Llanos y Bicentenario.

A continuación, en la tabla 10 se muestran algunas de las diferentes empresas transportadoras de crudo a nivel nacional con sus respectivas zonas de operación, longitud y especificaciones mínimas de calidad que debe cumplir el crudo para su debido transporte.

Tabla 10

Distribución en Km de las empresas transportadoras por oleoducto

Transportador	Zonas (Kms)						Total (Kms)
	Centro Oriente	Nororiente	Llanos Orientales	Sur	Centro	Troncal	
Cenit	733.64	711.64	370.69	89.77	68.65	816.08	2790.48
Ocensa	0	0	0	0	0	836	836
Ecopetrol	66.06	16.49	15.18	0	25.27	0	123
Oleoducto de Colombia	0	0	0	0	0	483	483
Oleoducto Bicentenario de Colombia	0	0	230	0	0	0	230
Gran Tierra Energy	0	0	0	85.4	0	0	85.4
Hocol	0	0	0	0	0	486.48	486.48
Frontera Energy	0	0	0	0	63.70	0	63.70
Oleoducto de los Llanos Orientales	0	0	286	0	0	0	286
Perenco Colombia Ltd.	0	0	276.5	0	59.1	0	335.6
Mansarovar Energy Ltd.	209.19	0	0	0	0	0	209.19
Occidental de Colombia	0	0	36.6	0	0	0	36.6

Equion	0	0	26.3	0	0	0	26.3
Cepsa	0	0	78.87	0	0	0	78.87
Geopark	0	0	42	0	0	0	42

Nota. La tabla muestra las empresas encargadas del transporte de crudo en las diferentes zonas del país, comprendidas de la siguiente manera: Centro (Antioquia, Cundinamarca, Huila, Tolima y Troncal), Centro Oriente (Antioquia, Boyacá, Cesar, Norte de Santander, Santander y Tolima), Nororiente (Cesar, Boyacá y Norte de Santander), Llanos Orientales (Arauca, Casanare y Meta). Adaptado de *Informe público: Consultoría metodología tarifaria oleoductos* (Delvasto y Echevarría y Asociados & Consejeros en Gas y Energía Ltda., 2015, p. 22), Ministerio de Minas y Energía.

3.1.2.2 Comercializadores. Las empresas comercializadoras de crudo juegan un papel importante en el mercado de los hidrocarburos, se encargan de la compra, venta, distribución y comercialización del petróleo a nivel nacional. Con respecto al transporte, estas entidades realizan el proceso de compra y gestionan efectivamente los procesos y recursos para el traslado de crudo desde el campo, hasta el cliente final (Delvasto y Echevarria y Asociados y Consejeros en gas y Energia Ltda, 2021). La necesidad de cumplir con condiciones mínimas de calidad para transporte y comercialización del petróleo, hacen de estas empresas comercializadoras clientes potenciales para el estudio que se plantea en el presente proyecto.

A continuación, se mencionarán las principales empresas nacionales e internacionales, que se desempeñan como comercializadoras de petróleo en el país

Tabla 11

Principales comercializadores de crudo en el país

EMPRESA	INFORMACIÓN
ECOPETROL	Estatal Colombiana, participa en todos los eslabones de la cadena de hidrocarburos desde la exploración, producción, transporte, refinación y comercialización. Participa como comercializadora, gestionando la venta de crudo en el mercado nacional e internacional (Ecopetrol, s.f.).
TRAFIGURA	Es catalogada como una de las principales empresas comercializadoras de crudo a nivel mundial. Aunque no produce petróleo, juega un rol importante en América Latina con la compra, venta, transporte y distribución de crudo, conectando a productores con compradores (Trafigura, s.f.).
GUNVOR COLOMBIA SAS	Esta empresa internacional, es reconocida principalmente por sus actividades de compra, venta y distribución de: crudo, gas natural y productos refinados. Se involucra directamente en la logística del transporte por medio de oleoductos, buques, etc. Facilitando el flujo entre productores y consumidores (Gunvor, s.f.).
VITOL	Igualmente, encargada de operaciones relacionadas con compra, venta y exportación de crudo, esta empresa conecta de manera efectiva el petróleo de Colombia con mercados internacionales, apoyándose en puertos nacionales como el de Coveñas,

	asegurándose de que el producto llegue a zonas internacionales como: Estados Unidos, Europa y Asia (Vitol. s.f.).
EXXON MOBIL	Dedicada a la exploración, producción y comercialización, esta empresa compra crudo tanto de sus campos como de terceros para distribuirlos y comercializarlos en mercados importantes como Estados Unidos, Asia, Europa y Latinoamérica (Exxon Mobil, s.f.).
CHEVRON PETROLEUM COMPANY COLOMBIA	Reconocida como uno de los principales proveedores de combustibles y lubricantes en Colombia. Producen lubricantes, refrigerantes y grasas y los comercializan bajo la marca Chevron (Chevron, s.f.).
SHELL	Reconocida por su participación en la producción de petróleo, también compra y vende crudo a otros productores en el país, lo transporta y finalmente lo comercializa en mercados nacionales e internacionales (Shell, s.f.).

3.1.2.3 Análisis de clientes potenciales. Como se ha mencionado anteriormente, uno de los propósitos de implementar el estándar técnico ASTM D4928 es posicionar al laboratorio de fluidos de la Universidad Industrial de Santander como proveedor principal del servicio en la región, por ello se determinaron como clientes potenciales empresas transportadoras de crudo que operan principalmente en Santander, Norte de Santander y el Magdalena Medio. Sin embargo, también se considerarán las empresas que operan mediante troncales y facilitan el transporte de hidrocarburos en el país.

Es importante aclarar que aquellas empresas que no aparezcan en la tabla 12 también podrán ser clientes del laboratorio a futuro, ya que se espera que el servicio ofertado sea un referente a nivel nacional. Además de los transportadores, los comercializadores también son considerados como clientes potenciales, gracias a relación directa con productores, refinadores y consumidores.

En este sentido, se construyó una tabla con las principales compañías que se consideran propensas a solicitar el servicio a corto y mediano plazo, bien sea para obtener resultados acertados que les permitan validar sus procesos con mayor precisión, garantizar la calidad del crudo comercializado o cumplir con las normativas estipuladas para el transporte y comercialización de hidrocarburos.

Tabla 12

Posibles clientes potenciales

Cientes	Descripción
CENIT	Compañía filial del Grupo Ecopetrol encargada del transporte y logística de hidrocarburos a nivel nacional. Cuenta con alrededor de 9000 km entre oleoductos y poliductos por los que se transporta la mayoría de crudo del país (Cenit, s.f.).
ECOPETROL	Estatat Colombiana, participa en todos los eslabones de la cadena de hidrocarburos desde la exploración, producción, transporte, refinación y comercialización. Participa como comercializadora, gestionando la venta de crudo en el

mercado nacional e internacional (Ecopetrol, s.f.).

FRONTERA

Empresa pública canadiense dedicada a operaciones de exploración, desarrollo, producción, transporte, almacenamiento y veta de hidrocarburos en América del Sur (Frontera, s.f.).

MANSAROVAR ENERGY LTDA.

Multinacional petrolera creada en el año 2006. Actualmente realiza operaciones de exploración, explotación y transporte de crudo en la zona del Magdalena Medio (Mansarovar, s.f.).

OCENSA

El Oleoducto Central es la principal plataforma para el transporte de crudo en Colombia, conecta a través de 836 km en tierra y 12 km bajo mar, los bloques de producción de los Llanos Orientales con el nodo de distribución del Magdalena Medio y el puerto de Coveñas en el mar Caribe (Ocensa, s.f.).

OLEODUCTO DE COLOMBIA S.A.

Empresa líder en el transporte de hidrocarburos en Colombia. Dedicada al transporte de crudo pesado y mediano. Atraviesa el país con un recorrido de 483 km desde el Magdalena Medio hasta Coveñas (Oleoducto de Colombia, s.f.).

CHEVRON PETROLEUM COMPANY COLOMBIA

Reconocida como uno de los principales proveedores de combustibles y lubricantes en Colombia. Producen lubricantes, refrigerantes y grasas y los comercializan bajo la marca Chevron (Chevron, s.f.).

GUNVOR COLOMBIA C.U S.A.S.

Esta empresa internacional, es reconocida principalmente por sus actividades de compra, venta y distribución de: crudo, gas natural y productos refinados. Se involucra directamente en la logística del transporte por medio de oleoductos, buques, etc. Facilitando el flujo entre productores y consumidores (Gunvor, s.f.).

TRAFIGURA DE COLOMBIA

Es catalogada como una de las principales empresas comercializadoras de crudo a nivel mundial. Aunque no produce petróleo, juega un rol importante en América Latina con la compra, venta, transporte y distribución de crudo, conectando a productores con compradores (Trafigura, s.f.).

VITOL COLOMBIA

Igualmente, encargada de operaciones relacionadas con compra, venta y exportación de crudo, esta empresa conecta de manera efectiva el petróleo de Colombia con mercados internacionales, apoyándose en puertos nacionales como el de Coveñas, asegurándose de que el producto llegue a zonas internacionales como: Estados Unidos, Europa y Asia (Vitol, s.f.).

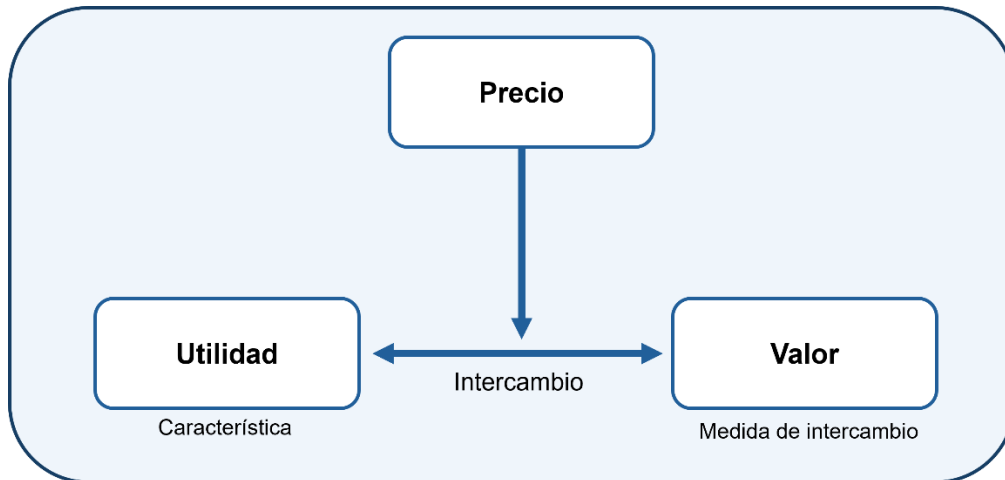
3.2 Precio de la prueba

El precio es el valor monetario que se asigna a un producto o servicio para adquirirlo, además, es un factor fundamental en el momento de ofertarlos. Este elemento afecta

directamente la rentabilidad de un negocio si no se realiza un análisis adecuado de la oferta y demanda del producto (Crecenegocios, 2023).

Un producto posee dos cualidades: utilidad y valor, la utilidad hace referencia a la capacidad que tiene el producto de satisfacer las necesidades o deseos de un consumidor, es decir, la utilidad que puede tener para un individuo en particular; en cambio, el valor es la expresión cuantitativa del poder que tiene el producto para ser intercambiado por otros bienes de magnitud equivalente, es el valor del producto en un contexto social que se crea gracias a sus características y reputación, haciendo que el consumidor esté dispuesto a pagar más por dicho producto, puesto que lo perciben como un bien de mayor calidad (Hernández Garnica & Maubert, 2009).

De esta forma, se puede decir que el valor de un producto está principalmente enfocado en: la utilidad para el consumidor, calidad percibida por el mismo, la disponibilidad del producto y el nivel de servicios que acompañan a dicho producto. Dicho esto, el presente estudio pretende enfocarse en estos pilares fundamentales con el fin de ofertar un servicio de calidad y con precios competitivos en el mercado.

Figura 5*Valor expresado en dinero*

Nota. Adaptado de *Fundamentos de marketing* (p. 336), por C. Hernández Garnica & C. A.

Maubert Viveros, 2009, Pearson Educación.

Existen diferentes métodos para fijar el precio de un producto, para el caso del presente estudio, se usarán dos estrategias principales, la primera es el método de precios con base en la competencia, donde se establece un precio similar al del mercado actual; y precio de penetración, a través del cual se oferta el servicio a un precio relativamente más bajo que los competidores, con el fin de llegar al mercado masivo (Hernández Garnica & Maubert, 2009). Estos métodos son comúnmente utilizados por empresas que buscan un equilibrio entre la rentabilidad y competitividad.

Con base en lo anteriormente mencionado, el precio de la prueba debe encontrarse dentro del rango de precios de los competidores locales que ofertan el servicio; y su precio de inicio debe ser relativamente bajo en relación con el precio promedio que se manejan actualmente los competidores, esto con el fin de ganar rápidamente la participación en el mercado. Por supuesto,

sin dejar de lado el objetivo de ofertar un producto de calidad a precios competitivos. No obstante, durante el análisis de mercado no se identificaron laboratorios que realicen la prueba ASTM D4928 en Colombia, por lo cual para definir un rango de precios de referencia se optó por utilizar cotizaciones de laboratorios que ofrecen el servicio de la prueba ASTM D4377 debido a la similitud técnica que comparte con el estándar planteado en el presente proyecto. De este modo, el precio que se asignará para el ASTM D4928 tendrá similitud con los competidores locales, permitiendo garantizar competitividad y accesibilidad, pero destacando el hecho de implementar una metodología más precisa, a nivel general se espera que las empresas encuentren más conveniente determinar el contenido de agua bajo en la Universidad Industrial de Santander ya que podrán acceder a un servicio con alta exactitud sin tener que pagar costos adicionales en comparación con los métodos que se encuentran actualmente disponibles.

En primer lugar, se descartan las ofertas recibidas de Services Inter Lab de México y Oil Testing de México, debido a que sus valores superan entre 14,5 y 8 veces, respectivamente a la oferta de menor precio. Además, las diferencias económicas que existen entre Mexico y Colombia no permite realizar una comparación de precios que sea objetiva y aplicable a nivel local.

En segundo lugar, se tienen el Instituto Colombiano del Petróleo y Energías de la Transición – ICPET el cual ofrece el servicio a nivel nacional, sin embargo, sus tiempos de entrega de resultados son bastante largos, 30 días a partir de la recepción de la muestra. Por otro lado, Intertek Colombia, quien igualmente el servicio en el territorio nacional, sus precios son superiores en comparación de los demás competidores locales.

Finalmente, las opciones que se consideran más acertadas son las Bureau Veritas y de la Cooperativa de tecnólogos e ingenieros de la industria del petróleo y afines – TIP, los cuales

poseen acreditación y alto reconocimiento a nivel nacional en el sector petrolero, además la empresa TIP se encuentra en el departamento de Santander y sus ofertas fueron las más económicas en comparación de las demás empresas. Se determina la Cooperativa de tecnólogos e ingenieros de la industria del petróleo y afines – TIP como referencia, su precio de servicio al público es de \$223,714, este valor es tomado como referencia menos un 5% con el objetivo de ofrecer un precio relativamente más bajo para ingresar al mercado de manera competitiva. Esto arroja un valor inicial de \$212,528.3, sin embargo, se propone un rango desde \$211,000 hasta \$213,000, con valor intermedio de \$212,000, esto con el fin de facilitar el análisis de precios. A continuación, en las tablas 13 y 14 se muestran los precios más tentativos para la implementación de la prueba ASTM D4928 para la determinación del contenido de agua en petróleos crudos en el laboratorio de fluidos de la Universidad Industrial de Santander. Es importante mencionar que los cálculos se realizaron con base en los precios ofertados por los dos mejores competidores, obteniendo así dos rangos diferentes de precios para la prueba.

Tabla 13

Costo de prueba en base a la Cooperativa de tecnólogos e ingenieros de la industria del petróleo y afines – TIP

Precio ofertado por TIP	\$223,714
-5% del precio ofertado	\$11,185.7
Precio para la prueba - UIS	\$212,528.3

Tabla 14*Costo de prueba en base de Bureau Veritas*

Precio ofertado por ICPET	\$297,500
-5% del precio ofertado	\$14,875
Precio para la prueba - UIS	\$282,625

Se obtiene un rango de precios desde \$212,528.3 hasta \$282,625, se evidencia una diferencia significativa entre las dos opciones de \$70,097, lo cual permite determinar como mejor opción la basada en el precio ofertado por la Cooperativa de tecnólogos e ingenieros de la industria del petróleo y afines – TIP.

Adicional el precio, se propone como factor diferencial clave la reducción en los tiempos de entrega, ya que la Cooperativa de tecnólogos e ingenieros de la industria del petróleo y afines – TIP entrega los resultados de la prueba 20 días después contando a partir de la recepción de la muestra en el laboratorio, el laboratorio de fluidos de la UIS podrá ofrecer tiempos de entrega más cortos, como lo hace Bureau Veritas, quién tiene un tiempo de respuesta de 8 días hábiles a partir de la recepción de la muestra. Esto permite ampliar el rango de posibilidad de ser escogidos por los clientes potenciales.

Para el caso de los clientes que deseen realizar altas cantidades de pruebas, se puede considerar la posibilidad de ofrecer descuentos, esto dependerá del número de pruebas a realizar.

4. Análisis técnico

El objetivo principal de este capítulo es definir los lineamientos que permitan garantizar el éxito en el desarrollo e implementación del estándar técnico para la determinación del contenido de agua en petróleo crudo mediante el método ASTM D4928. Es indispensable que la prueba se realice bajo condiciones óptimas con el fin de generar resultados exactos y fiables, para ello se tendrán en cuenta los lineamientos establecidos por las entidades de control y calidad. Además, se analizarán aspectos que puedan influir en el correcto desarrollo del estándar técnico, como la precisión de los equipos y capacitación del personal. A continuación, se detallan los criterios que guiarán este capítulo:

4.1 Dimensionamiento y ubicación

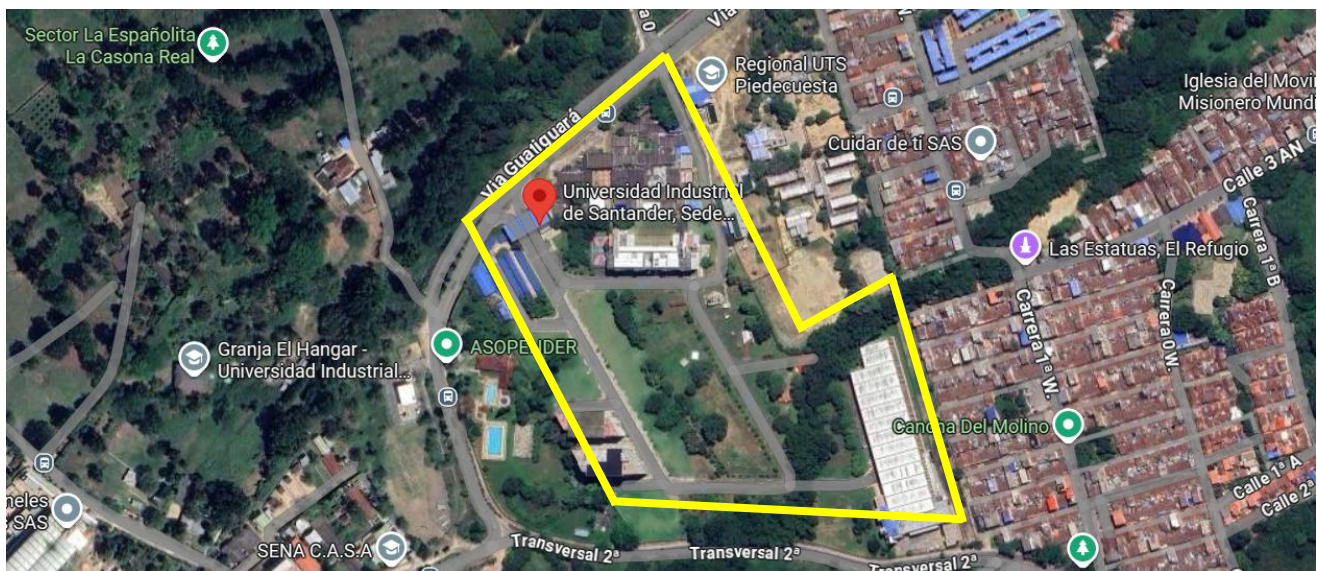
La implementación de la prueba requiere de un área aproximada de $1 m^2$ para ubicar adecuadamente el equipo Karl Fischer, los reactivos y demás materiales necesarios para su desarrollo. Como opción principal se tiene el laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander, ya que uno de los principales objetivos del presente estudio se basa en el fortalecimiento y desarrollo de las competencias técnicas de los estudiantes, el hecho de implementar la prueba en las instalaciones de la escuela permitirá que el estudiantado pueda acceder de manera directa a los recursos necesarios para realizar los análisis y se asegura que tengan un acompañamiento teórico-técnico por parte de los docentes y auxiliares del área de fluidos.

Como segunda opción se tiene el Parque Tecnológico Guatiguará-PTG, se encuentra ubicado en la sede UIS Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander sobre el conocido Valle de Guatiguará en el municipio de Piedecuesta (Km 2 vía refugio).

Como ventajas principales el parque tecnológico cuenta con infraestructura adecuada para el desarrollo científico y tecnológico, lo cual permite asegurar altos índices de calidad y garantía en los resultados, además, cuenta con amplio reconocimiento a nivel nacional, es catalogado como uno de los centros de investigación más importantes del país gracias a sus alianzas con entidades importantes de diferentes industrias, esto serviría de impulso en el momento de ofertar el servicio.

Figura 6

Ubicación Parque Tecnológico Guatiguará (PTG)



Nota. Adaptado de *Google Maps (s.f.)*, por Google. Modificado por el autor.

<https://www.google.com/maps>

Debido al riesgo de inhalación de gases nocivos durante el desarrollo de la prueba, la ubicación recomendada para su implementación será en el edificio antiguo del PTG, en el área de extracción y limpieza de muestras, pues este cuenta con cabinas extractoras que permiten controlar el flujo de reactivos, evitando así posibles problemas relacionados con seguridad y salud del personal técnico. Es importante tener en cuenta que los docentes encargados del área de fluidos no se encuentran permanentemente en PTG, es decir, la manipulación y manejo de los equipos para la prueba ASTM D4928 estaría a cargo de los auxiliares de laboratorio de petrofísica.

4.2 Personal capacitado

Es indispensable contar con personal técnico o tecnólogo que cuente con experiencia en trabajos de laboratorio y manejo de muestras. No es necesario contar con certificación para el manejo de equipos y desarrollo de la prueba ASTM D4928, sin embargo, si es importante disponer de conocimiento básico en el desarrollo de la prueba de manera que se puedan comprender los lineamientos establecidos en el manual de operación de los equipos. Adicional, se solicita a el proveedor la capacitación correspondiente para el manejo de los equipos, con el fin de garantizar el correcto desarrollo de la prueba y la confiabilidad de los resultados.

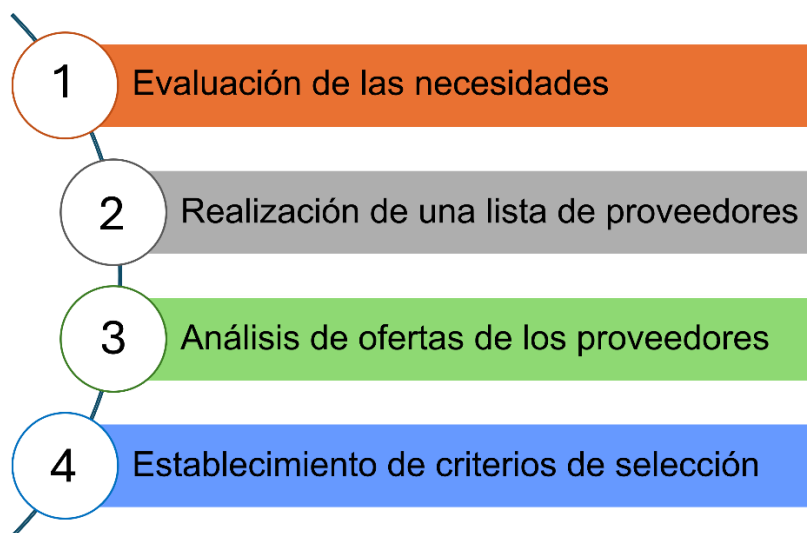
4.3 Selección de proveedores

En este apartado se plasmarán los diferente medios y herramientas utilizadas para la búsqueda y selección de proveedores de equipos; y elementos necesarios para la prueba de determinación del contenido de agua mediante el método ASTM D4928.

La búsqueda de equipos y proveedores se realizó principalmente vía web y comunicación telefónica, sin embargo, con el fin de seleccionar las opciones más acertadas que nos permitan asegurar una logística optimizada y fiabilidad en los resultados, se implementó como guía el modelo mostrado en la figura 7

Figura 7

Pasos para la selección de proveedores



Nota. Adaptado de *Gestión logística y comercial* (p. 34), por Juan Miguel Gómez Aparicio, 2013, Mac Graw Hill Education. Modificado por el autor.

4.3.1 Evaluación de las necesidades

El primer paso es identificar las necesidades requeridas para el estándar técnico, en este caso es indispensable contar con los equipos y reactivos necesarios para el desarrollo de la prueba ASTM D4928 en el laboratorio.

4.3.1.1 Equipos. Con el fin de asegurar el óptimo desarrollo de la prueba es necesario contar con los equipos que se mencionan a continuación en la tabla 15

Tabla 15

Equipos necesarios para la prueba ASTM D4928

Equipos	Características
Aparato Karl Fischer	Con punto final electrométrico, usado para detectar el cambio en el potencial eléctrico al agregar el reactivo a la muestra.
Mezclador para homogenizar la muestra de crudo	De tijera o cortador Sin aeración, de alta velocidad. Debe alcanzar la eficiencia de homogeneización descrita en la práctica D5854.
	De circulación de muestra Son usados en los recibidores de muestreo automático, debe cumplir con los principios de la práctica D5854.
Balanza analítica	Precisión de 0,1 mg
Jeringas	Jeringa para determinación gravimétrica Cualquier tipo de jeringa sin fugas podrá ser utilizada. Debe tener las dimensiones apropiadas para ajustarse adecuadamente en la balanza.
	Jeringa para determinación volumétrica Se requiere una aguja certificada, con capacidad para administrar la cantidad volumétrica con precisión del 0,5% del volumen contenido.

En la actualidad se encuentran diferentes opciones disponibles para la titulación coulométrica Karl Fisher, muchos de los proveedores incluyen jeringas con la compra del equipo. Las instrucciones de operación del equipo deben ser proporcionadas directamente por el fabricante.

4.3.1.2 Reactivos y materiales. Además de los equipos, es indispensable contar con los reactivos adecuados para el correcto desarrollo de la prueba ASTM D4928, en la tabla 16 se enlistan los reactivos y sus respectivas características, adicional se solicita cotización de los materiales a diferentes proveedores.

Tabla 16

Reactivos necesarios para la prueba ASTM D4928

Reactivos y materiales		Características
Agua		A menos que se indique otro lineamiento, la pureza del agua deberá ser de tipo iv (el grado más bajo entre los grados de pureza) como se especifica en la norma D1193.
Xileno		De grado reactivo y contenido de agua menor al 0.05%, pureza mínima.
Reactivo karl fisher	Solución anódica	Se deben preparar 6 partes de esta solución con 4 partes de xileno grado reactivo. Se debe reemplazar después de 7 días de almacenamiento en el recipiente de titulación.

Solución catódica	Utilice el reactivo catódico coulométrico Karl Fischer comercialmente disponible.
-------------------	---

Para todas las pruebas deberán usarse químicos grado reactivo y deberán registrarse de acuerdo con los parámetros establecidos por el comité de Reactivos Analíticos de la American Chemical Society. Otros grados podrán ser usados, sin embargo, se debe asegurar de que el reactivo tenga un alto grado de pureza que permita ser utilizado sin disminuir la exactitud de los resultados.

4.3.2 Construcción de una lista de proveedores

El principal objetivo de esta sesión es realizar un registro organizado de distribuidores que puedan suplir los requisitos del presente proyecto en cuanto a equipo, reactivos y demás insumos necesarios. Se incluirá la información esencial de cada proveedor, enfocándose en el nombre de la persona encargada, información de contacto y ubicación.

Para el equipo Karl Fischer se contactaron diferentes fabricantes internacionales y proveedores nacionales que dentro de su catálogo cuentan con la comercialización del equipo. En la tabla 17 se mencionan las empresas colombianas que distribuyen el equipo a nivel nacional.

Tabla 17

Proveedores para el titulador coulométrico Karl Fischer

Empresa	Marca	Contacto
----------------	--------------	-----------------

Hanna Instruments	Hanna Instruments	luisa.veloza@hannacolombia.com
POLCO S.A.S	Metrohm	sonia.rojasguzman@polco.com.co
Kasalab	Hanon	camilogomez@kasalab.com
Labzul	Mettler Toledo	info@labzul.com
Analítica y Redes	Analitikjena	servicio@analiticayredes.com

En el caso de los reactivos, las solicitudes de cotización se realizaron con proveedores nacionales, con el fin de acortar el tiempo de respuesta y evitar costos adicionales asociados a procesos de transporte e importación, estas empresas se enlistan en la tabla 18

Tabla 18

Proveedores de los reactivos

Empresa	Ubicación	Contacto
Detercol	Bogotá	ventas@detercol.com
Norquimicos	Bogotá	info@norquimicos.com.co
Liutex sas	Cundinamarca	mercadeo@liutex.com.co
Scientific products	Cali	sp@spltda.com
Blamis	Eje cafetero	ventas@blamis.com.co
Merck Group	Bogotá	julieta.zapata@merckgroup.com

4.3.3 Análisis de ofertas de los proveedores

Una vez identificados los proveedores para los equipos, reactivos y materiales necesarios para la implementación del método ASTM D4928 que cumplen con los parámetros descritos anteriormente, a continuación, se describen las cotizaciones recibidas por parte de los proveedores y fabricantes en atención a la solicitud de presupuesto.

En la tabla 19 se enlistan las diferentes propuestas recibidas por parte de fabricantes y proveedores nacionales e internacionales del equipo Karl Fischer ASTM D4928, presentando la información del producto y precio.

Tabla 19

Especificaciones de los tituladores Karl Fischer

Empresa	Marca/referencia	Especificaciones	Precio (USD)
Hanna Instruments	Hanna Instruments/ HI934-01	Rango de medición: -1 ppm a 5 % Resolución: 0,1 ppm a 0,0001 % Precisión (@25°C): ± 0,1 mV Configuración de celda: Permite celda con o sin diafragma Criterio del punto final: Persistencia fija de mV, parada por deriva relativa o absoluta Vaso de titulación: 100 – 200 mL Condiciones de operación: 10 – 40 °C, hasta 95% HR Agitación: magnética, digital, 200 - 2000 rpm Registro de datos: hasta 100 reportes Peso: ≈ 4,3 kg (con 1 bomba, agitador y sensores) Dimensiones: 315 x 205 x 375 mm Fuente de poder: 100 – 240 VAC	\$11,003

POLCO S.A.S	Metrohm/ ME28510010	<p>Método: Coulombimétrico Rango recomendado de agua: 0 μg – 200 mg agua (trazas) Tipo de electrodo: con diafragma Agitación: magnética 200 – 2500 rpm Aplicación: Determinación de agua en trazas para crudo y derivados ligeros Software requerido: OMNIS o tiamo Accesorios incluidos: Célula KF 80 – 250 mL, electrodos generados, electrodo indicador, tubo de adsorción kF, septos, jeringas, embudo, agujas, imán agitador, cables, soporte, tamiz molecular.</p>	\$32,046
POLCO S.A.S	Metrohm/ ME210280010	<p>Método: Coulombimétrico + volumétrico Rango recomendado de agua: Desde 0 μg hasta 100% Tipo de electrodo: con diafragma Agitación: programable 200 – 2500 rpm Aplicación: Determinación de agua desde trazas hasta 100% (muestras con más humedad, sólidos, emulsiones) Software requerido: OMNIS o tiamo Accesorios incluidos: buera 5 – 50 mL, celda KF coulombimetrica</p>	\$15,405
Torontech Group	Torontech/ TT-6304	<p>Rango de medición: 0,02 % - 2 % (3μg – 150 mg) Resolución 0,1 μg Exactitud < 10 μg: \pm 2 μg (sin inyección acuosa); 10 μg – 500 g: \pm 3g Velocidad electrolítica: Máximo 2 mg/min Corriente electrolítica: Corriente pulsada 400 mA Condiciones ambientales de operación: Temperatura 0 – 40 °C, humedad \leq 85% Funciones adicionales: control mediante microcontrolador,</p>	\$4428

autodiagnóstico de fallas, impresora, memoria hasta para 500 registros.

<p>Infitek International Group Limited</p>	<p>Infitek/ TITR-40VC</p>	<p>Rango de medición: 10 µg – 20mg Exactitud: ± (5% + 3) µg Repetibilidad: RSD ≤ 3% para muestras de 100 µg Corriente de polarización: 1 µA ± 0.2 µA; 50 µA ± 10 µA Corriente de trabajo: 1 ,1.86, 5, 10 µg (H₂O) /s Electrodo: Celda generadora con diafragma Dimensiones (mm): 340 x 400 x 400 Peso: 10 kg Accesorios incluidos: vaso, electrodo de electrólisis y medición, capilar antidifusión, herramienta de extracción, tubos de infusión, micro muestreador, empaques, gel de sílice indicador, frasco de silicona al vacío, fusibles 3A, cables de conexión y comunicación, balde de polietileno 5L, manual de instrucciones</p>	<p>\$6264</p>
---	---------------------------	---	---------------

<p>Hangzhou West Tune Trading Co., Ltd</p>	<p>Westtune/ KFT – 20V</p>	<p>Rango de medición: 10µ - 20 mg Exactitud: ± (5% + 3) µg Repetibilidad: ≤ ± 3% Exactitud de corriente de polarización: ± 0,2 µA Corriente de trabajo: 10 mA, 20 mA, 50 mA, 100 mA Precisión de corriente de trabajo: 0.5% Función de reinicio: restauración automática a valores de fábrica parámetros configurables: Unidad de medida, corriente de polarización, corriente generadora, potencial de punto final, criterio de parada, entre otros. Dimensiones (mm): 300 x 235 x 100 mm Peso: 2kg</p>	<p>\$1800</p>
---	----------------------------	---	---------------

ChongQing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co., Ltd.	Gold/ GD-3200	Rango de medición: 3 – 9999.9 μg Resolución: 0.1 μg Exactitud: 3 $\mu\text{g H}_2\text{O} \pm 20\%$ 10 $\mu\text{g H}_2\text{O} \pm 10\%$ 100 $\mu\text{g H}_2\text{O} \pm 1\%$ >100 $\mu\text{g H}_2\text{O} \pm 0.5\%$ Corriente electrolítica máxima: 400 mA Condiciones de trabajo: Temperatura: 0 – 50 °C, Humedad $\leq 85\%$ Funciones adicionales: Autocontrol de corriente electrolítica, resta automática de corriente en blanco, múltiples métodos de prueba configurables, impresión y guardado automático de resultados Dimensiones (mm): 390 x 270 x 220 Peso 6 kg	\$4450
---	---------------	---	--------

Los precios descritos anteriormente en la tabla 20 están expresados en dólares americanos (USD), estos incluyen impuestos, trámites aduaneros y envío para el caso de los proveedores internacionales, para calcular el costo de envío desde China y Estados Unidos se usó la información suministrada por Fedex en cuanto a tarifas para envíos internacionales. En la siguiente tabla se realiza la conversión de los valores obtenidos para los equipos a pesos colombianos (COP), se utilizó la tasa representativa del mercado en promedio para el primer semestre del año 2025 en Colombia \$4,197.38 COP (Banco de la República, 2025).

Tabla 20

Precio de los equipos en pesos colombianos

Empresa	Marca/referencia	Precio (COP)
Hanna Instruments S.A.S (CO)	Hanna Instruments/ HI934-01	\$46,123,162

POLCO S.A.S (CO)	Metrohm/ ME28510010	\$134,507,075
POLCO S.A.S (CO)	Metrohm/ ME210280010	\$64,657,946
Torontech Group (US)	Torontech/ TT-6304	\$18,585,998
Infitek International Group Limited (CN)	Infitek/ TITR-40VC	\$26,292,388
Hangzhou West Tune Trading Co., Ltd (CN)	Westtune/ KFT – 20V	\$7,555,284
ChongQing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co., Ltd. (CN)	Gold/ GD-3200	\$18,678,341

Algunos de los proveedores incluyen elementos junto con el equipo Karl Fischer, esto represente un ahorro a la inversión inicial para la implementación del estándar técnico ASTM D4928. De igual manera, se solicitaron cotizaciones para los diferentes materiales y reactivos necesarios, como balanzas, reactivo Karl Fischer, xileno y demás. En la siguiente sección, se hará una evaluación de las diferentes cotizaciones recibidas de parte de los proveedores junto con los elementos incluidos, para así identificar los elementos faltantes y proceder a adquirirlos a partir de la información obtenida de los proveedores enlistados en las siguientes tablas.

Tabla 21

Proveedores para Reactivo Karl fischer

Proveedor	Marca	Tamaño	Precio total (COP)
Blamis	Merk	2.5 L	\$578,935
Hanna Instruments S.A.S.	Hydranal	1 L	\$610,470
Merck Group	Merk	1 L	\$1,029,112

Tabla 22

Proveedores para Xileno

Proveedor	Marca	Tamaño	Precio / Litro (COP)	Precio total (COP)
Avantika	JT Baker	4 L	\$118,137	\$472,549
Blamis	Merk	2.5 L	\$ 241,912	\$604,758
Keck	Loba Chemie	1 L	\$ 166,433	\$ 166,433
Merck Group	Merk	2.5 L	\$268,844	\$672,112

Tabla 23

Proveedores para balanza analítica

Proveedor	Marca	Capacidad	Precio (COP)
Blamis	Vibra	0.1 mg – 220 g	\$7,639,800
Equipos y Laboratorio de Colombia SAS	A&D Weighing	0.1 mg – 250 g	\$11,281,200
Kasalab	Precisa Suiza	0.1 mg – 220 g	\$12,495,000
Hanna Instruments S.A.S.	OHAUS	0.1 mg – 220 g	\$14,268,100
Instrumentalia	Precisa	0.1 mg – 120 g	\$13,896,425

Tabla 24*Proveedores para mezclador sin aireación*

Proveedor	Marca	Capacidad	Precio (COP)
HANSEATICA SAS	Silverson	50 mL – 250 mL	\$35,209,223

4.3.4 Establecimiento de los criterios de selección

Antes de seleccionar los proveedores, es importante definir los criterios de evaluación que van a determinar el resultado del proceso de selección. Estos criterios pueden ser parciales, como por ejemplo el precio del producto, el tiempo de entrega, la calidad del equipo, etc. O bien, criterios de selección globales que agrupen varios de los aspectos parciales y permitan un análisis más completo de la oferta (Hernández Garnica & Maubert, 2009).

En este caso, como criterio de selección global se implementará el modelo propuesto por Lehman y O’Shaughnessy, el cual se fundamenta en el cálculo de una media ponderada de 17 criterios. Cada uno de ellos posee un nivel diferente de importancia, permitiendo realizar una evaluación objetiva que se ajuste a las necesidades del presente proyecto.

Figura 8

Criterios de selección globales de Lehman y O’Shaughnessy

Reputación del proveedor	Precio
Términos financieros	Especificaciones técnicas
Flexibilidad para adaptarse a las necesidades del cliente	Facilidad de uso
Experiencia con el proveedor en situaciones análogas	Preferencias del principal usuario del producto
Servicio técnico ofrecido	Capacitación ofrecida por el proveedor
Confianza con el vendedor	Tiempo de capacitación requerido

Conveniencia en la ejecución de la orden	Fiabilidad de entrega
Datos sobre la adecuación del pedido	Facilidad de mantenimiento
	Servicio postventa

Nota. Elaboración propia a partir de la información de Web de Marketing (2013). <https://web-de-marketing.blogspot.com/2013/08/criterios-de-seleccion-que-utilizan-de.html>

En este caso, se elegirán únicamente los criterios que encajen con el tipo de proveedores y producto ofertado

Los siguientes son los criterios por utilizar:

- Precio
- Servicio postventa
- Especificaciones técnicas
- Facilidad de mantenimiento
- Confianza en la fecha de entrega prometida

El objetivo de este método es asignar un coeficiente de ponderación a cada uno de los criterios seleccionados, de tal forma que la suma total de los coeficientes sea igual a 1.

Posteriormente, cada criterio es analizado de manera independiente, asignándole una puntuación de 0 a 5 según el grado de cumplimiento de cada uno con los requisitos del proyecto.

Finalmente, se calcula el resultado global mediante la sumatoria de las puntuaciones independientes multiplicadas por su respectivo coeficiente de peso. El resultado final puede oscilar entre 0, siendo el más bajo y 5 el más alto.

A continuación, se presentan los diferentes criterios de evaluación junto con las ponderaciones y calificaciones asignadas:

Precio

Este criterio constituye un factor determinante en la selección de cualquier equipo, puesto que, debe ajustarse al presupuesto asignado por la institución. Por esta razón se le asigna un peso de 0.3 frente a los demás criterios. Para su evaluación se establecen rangos de precios, teniendo en cuenta que, a menor costo, mayor puntuación.

Servicio post venta

la disponibilidad de un servicio postventa representa un aspecto fundamental, especialmente en lo que concierne a la garantía de fábrica de los equipos, contar con respuesta inmediata ante un posible defecto puede ayudar a agilizar procesos importantes. Este criterio recibe un peso de 0.15; para los proveedores que poseen garantía recibirán una puntuación máxima de 5, los que no tengan garantía su puntuación será la mínima, 1 punto.

Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas permiten identificar el equipo que más se ajusta a las necesidades del proyecto. Este criterio recibe un peso de 0.3.

Primero se analizó si el equipo cumplía con los criterios técnicos mínimos establecidos en la norma ASTM D4928, algunos de los factores principales a analizar son el tipo de celda, puesto que la norma exige tipo de celda con diafragma para evitar interferencias de sulfuros y mercaptanos, para este caso se asignó un valor de 1 para aquellos que cumplieran con el criterio y se otorgó un valor adicional de 1 si contaban con documentación que respaldara el cumplimiento.

En segundo lugar, se analizaron las diferentes características de los equipos y se asignó un valor de 1 para aquellos que contaran con un factor diferencial respecto a los demás.

Finalmente se analizaron los elementos adicionales que vienen incluidos con el equipo, como tubos de adsorción, agujas, entre otros. En este caso a mayor cantidad de elementos incluidos con el equipo, mayor será su puntuación.

Facilidad de mantenimiento

Este criterio es clave para asegurar el funcionamiento del equipo a largo plazo. Por este motivo, se prioriza el hecho de contar con asistencia técnica por parte del proveedor. En el caso de proveedores nacionales, al encontrarse más cerca y con mayor probabilidad de respuesta rápida, recibirán una puntuación más alta respecto a los proveedores internacionales, esto debido a posibles dificultades logísticas y diferencias horarias. Este criterio tendrá un peso de 0.15.

Cumplimiento en los tiempos de entrega

El cumplimiento en la fecha de entrega pactada con el proveedor es un aspecto sumamente importante y crítico, pues permite definir la puesta en marcha de la prueba y realizar

los ajustes necesarios para su implementación. En general los proveedores nacionales presentan menores tiempos de entrega y menor incertidumbre logística, a diferencia de los proveedores internacionales, quienes deben pasar diferentes filtros, por ejemplo, el proceso aduanero al ingresar al país. Este criterio tendrá un peso de 0.1.

A continuación, se muestran cada uno de los ítems con sus respectivas puntuaciones:

Tabla 25

Precio de equipos en COP

Precio (COP)	Puntuación asignada
7,000,000 a 20,000,000	5
20,000,000 a 40,000,000	4
40,000,000 a 70,000,000	3
> 70,000,000	2

Tabla 26

Servicio Post Venta del proveedor

Garantía	Puntuación asignada
Con garantía	5
Sin garantía	1

Tabla 27*Especificaciones técnicas del equipo*

Parámetro	Puntuación asignada
Cumplimiento con ASTM D4928	1
Certificación del fabricante	1
Factor diferencial	1
Elementos incluidos	De 1 a 3: 1, > 3: 2

Tabla 28*Facilidad en el mantenimiento*

Ubicación del proveedor	Puntuación asignada
Nacional	5
Internacional	1

Tabla 29*Cumplimiento en los tiempos de entrega*

Tiempos de entrega	Puntuación asignada
---------------------------	----------------------------

De 1 a 8 semanas	5
Mayor a 8 semanas	1

4.3.5 Cálculos para la selección del proveedor del equipo Karl Fischer

El cálculo se realiza para determinar la puntuación total de cada proveedor se realiza de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Puntuación proveedor} &= (0.3 * 5) + (0.15 * 5) + (0.3 * 3) + (0.15 * 5) + (0.1 * 5) \\ &= 3.53 \end{aligned}$$

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los proveedores

Tabla 30

Puntuación final de los proveedores del equipo Karl Fischer

Factor	Precio	Servicio post venta	Especificaciones técnicas	Facilidad mantenimiento	Cumplimiento en los tiempos de entrega	Puntuación final
Puntuación	0.3	0.15	0.3	0.15	0.1	1
Hanna Instruments S.A.S.	3	5	3	5	5	3.8
POLCO S.A.S./	2	5	4	5	5	3.8

ME2851001 0						
POLCO S.A.S./ ME2102800 10	3	5	1	5	5	3.2
Torontech Group	5	5	2	1	5	3.5
Infitek Internacion al Group	4	5	3	1	5	3.5
Hangzhou West Tune Trading CO, Ltd.	5	1	1	1	5	2.6
ChongQing Gold Mechanical & Electrical Equipment Co, Ltd.	5	5	1	1	5	3.2

4.3.4 *Resultados de la selección del proveedor*

Como se puede observar en la tabla 30, los candidatos con mayor puntuación respecto a los demás proveedores son:

- Hanna Instruments S.A.S.

- POLCO S.A.S.

A nivel de resultados ambos proveedores obtuvieron una puntuación de 3.8 y aunque las dos son excelentes opciones es importante resaltar que para la selección del equipo Karl Fischer se debe considerar no solo el costo de este, si no el total cumplimiento de los lineamientos establecidos en la norma ASTM D4928. Por su parte el equipo Hanna Instruments HI934-01 es un titulador coulombimétrico con amplio rango de medición, su costo lo convierte en una opción viable para bajos presupuestos, es importante mencionar que la opción sin diafragma no cumpliría con los requerimientos técnicos descritos en la norma, puesto que es necesario evitar interferencias por compuestos sulfurados presentes en el crudo. El Metrohm ME28510010 posee un rango de medición diseñado para determinar agua en trazas, es ampliamente reconocido en la industria petrolera y ofrece 3 años de garantía por defectos de fabricación, a diferencia de Hanna Instruments quien ofrece 2 años de garantía para el equipo HI934-01.

En conclusión, aunque Hanna Instruments ofrece una opción más económica, el equipo Metrohm ofertado por POLCO S.A.S se considera como el candidato más idóneo para el presente proyecto, ya que su alto reconocimiento y trayectoria internacional nos permite asegurar confiabilidad analítica, validez en los resultados y el cumplimiento de la norma ASTM D4928, además, los 3 años de garantía permiten confirmar la calidad de sus equipos, sin embargo, para la viabilidad del presente proyecto se tendrá en cuenta el equipo ofertado por Hanna Instruments, debido a su baja inversión inicial en comparación con la oferta recibida por POLCO S.A.S.

La selección final del proveedor se deja estrictamente a criterio de la Universidad Industrial de Santander como ente de carácter público; teniendo en cuenta que se recomiendan los candidatos mencionados anteriormente.

Para el caso de los reactivos, se recomiendan las ofertas suministradas por Merck Group y Hanna Instruments, en el caso de Merck actualmente figura como proveedor autorizado en la Universidad Industrial de Santander, esto refleja calidad y confianza en los productos a la vez que fiabilidad en los tiempos de entrega, por otro lado, el reactivo ofertado por Hanna Instruments es completamente compatible con el equipo a emplear en el presente proyecto. Sin embargo, la selección del proveedor adecuado se deja igualmente a criterio de la universidad.

5 Análisis financiero

El estudio financiero corresponde a la etapa final y definitiva en la evaluación de proyectos, en esta etapa se determinan las inversiones necesarias para ejecutarlo y se comparan los beneficios esperados con la implementación de este. Este análisis permite determinar la viabilidad económica del proyecto al tomar en cuenta los factores principales de la evaluación financiera como lo son las inversiones iniciales para la puesta en marcha del proyecto, costos asociados a la operación y los ingresos proyectados a partir de la prestación del servicio.

Se tendrán en cuenta los siguientes aspectos para definir la sostenibilidad y rentabilidad del método de prueba:

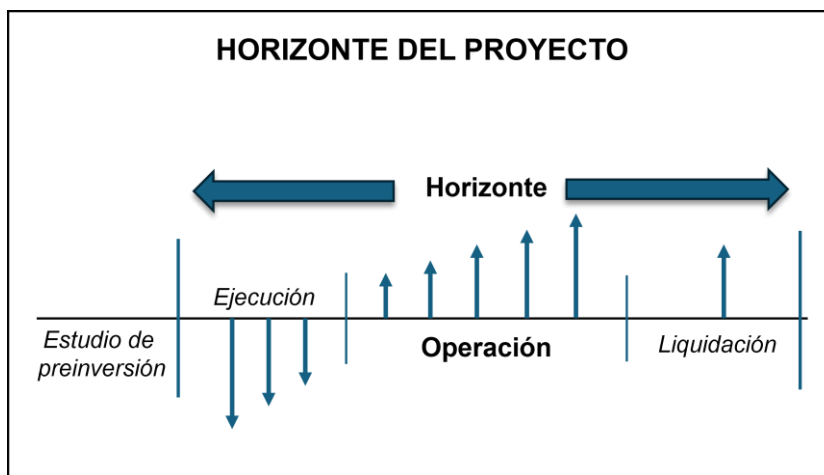
5.1 presupuesto de inversiones

La evaluación financiera de un proyecto puede dividirse en tres etapas importantes, la primera es considerada fase de instalación o ejecución, en ella se contemplan la mayoría de las inversiones iniciales. La siguiente etapa es llamada fase de operación o funcionamiento, donde se

generan los costos asociados a la fabricación de insumos o prestación de servicios, al mismo tiempo se generan ingresos debido a las ventas de los productos o servicios. Finalmente, la etapa de liquidación llega cuando el proyecto no cumple sus objetivos financieros, económicos o sociales y se procede a la venta de activos o liquidación (Miranda Miranda, 2002).

Figura 9

Etapas del horizonte del proyecto



Nota. Adaptado de *Gestión de proyectos: identificación, formulación, evaluación financiera, económica, social, ambiental* (cap. 9, p. 10), por J. J. Miranda Miranda, 4.^a ed., 2002.

Modificado por el autor.

A partir de los eventos financieros previstos para cada una de las etapas mencionadas anteriormente, es posible construir el flujo de caja. En la fase de ejecución, se deben determinar las inversiones y capital de trabajo, los cuales representan salidas de dinero (flechas hacia abajo). En la etapa de operación aparecen los costos por factores productivos y los ingresos por ventas (flechas hacia abajo y flechas hacia arriba). Finalmente, en la etapa de liquidación (desinversión), se consideran los ingresos por venta de activos (flechas hacia arriba). según lo anterior, se

identifica que la mayor parte de las inversiones se realizan en la etapa de instalación, estas se pueden clasificar en tres grupos: inversiones fijas, inversiones diferidas y capital de trabajo (Miranda Miranda, 2002).

5.1.1 Inversiones fijas

Podemos definir las inversiones fijas como los recursos que se utilizan para adquirir los materiales necesarios para asegurar la operación de un proyecto. Estos bienes son utilizados durante la vida útil del proyecto, sin embargo, no son comercializados. Un ejemplo de ellos puede ser: terrenos para construir, edificios u oficinas administrativas, bodegas, parqueaderos, etc. (Miranda Miranda, 2002).

Para el caso del presente proyecto, se consideran inversiones fijas todos los equipos e insumos necesarios para ofertar el servicio, estos se irán depreciando debido al desgaste por el uso y la pérdida de valor por obsolescencia tecnológica.

5.1.2 Inversiones diferidas

Son aquellas inversiones requeridas para la ejecución de un proyecto, para el caso del presente proyecto se requieren gastos relacionados con el montaje y puesta en marcha de los equipos. En el caso del pago por capacitación y entrenamiento del personal, no se tendrá en cuenta debido a que corre por cuenta de los proveedores (Miranda Miranda, 2002).

5.2 Capital de trabajo

Hace referencia a los recursos necesarios para garantizar el normal funcionamiento del proyecto durante un ciclo productivo, es decir, es la inversión inicial que cubre el tiempo que transcurre entre los gastos para ejecutar el servicio, como los insumos y el dinero generado por la prestación de este (Miranda Miranda, 2002).

Para el presente proyecto, el capital de trabajo no será contemplado, puesto que la adquisición del equipo Karl Fischer se realiza especialmente por razones académicas relacionada con la formación del estudiantado. Adicional, durante la etapa de desarrollo, la implementación de la prueba no requiere altas cantidades de dinero, sin embargo, se generarán ganancias por la prestación del servicio a terceros, esto constituye el valor agregado del presente proyecto y demuestra la factibilidad de implementar el método de prueba en el laboratorio de la universidad.

A continuación se presentan cada una de las inversiones necesarias para desarrollar el proyecto y sus respectivos costos.

Tabla 31

Presupuesto de inversiones para el proyecto

Elemento	Costos (COP)
Inversiones fijas	
Equipo Karl Fischer	\$46,123,162
Balanza analítica	\$11,281,200

Reactivo Karl Fischer	\$610,470
Xileno	\$672,112
Inversiones diferidas	
Gastos de montaje	\$0
Capacitación del personal	\$0
Capital de trabajo	
Activos corrientes	\$0
Flujo total de inversión	\$58,744,052

Nota. El precio para el equipo Karl Fischer corresponde a la oferta recibida por Hanna Instruments S.A.S, este incluye los elementos necesarios para el desarrollo de la prueba. En el caso de la balanza analítica, el precio corresponde a la oferta enviada por Equipos y laboratorios de Colombia S.A.S.

5.3 Costos de producción

De acuerdo con Miranda Miranda (2002), son todos los costos asociados durante el periodo de operación, se dividen en:

5.3.3 Costos de Fabricación

Los costos de fabricación se relacionan directamente con la producción de un bien o la prestación de un servicio. Estos costos normalmente se dividen en tres grupos: costos directos, gastos de fabricación y otros gastos asociados (Miranda Miranda, 2002).

En cuanto a los costos directos, hacen referencia a la materia prima para desarrollar un bien o servicio, para el caso específico de la prueba serán considerados como costos directos las muestras de crudo a analizar y los reactivos químicos, como el agua, el xileno y los reactivos de Karl Fischer. En segundo lugar, tenemos los gastos de fabricación, están relacionados con los materiales indirectos a utilizar en el desarrollo de la prueba, un ejemplo de ellos será: la papelería y elementos de protección personal. Finalmente, tenemos los demás gastos asociados, en ellos se incluirán los técnicos responsables de la prueba, costos de mantenimiento del equipo y pago de servicios públicos.

5.3.4 Costos de administración

Dentro de los costos administrativos se contemplan todos aquellos que están relacionados con la mano de obra por la prestación del servicio, como lo son: el salario del personal, pólizas o seguros, impuestos, etc. (Miranda Miranda, 2002). Sin embargo, para nuestro caso específico no se tendrán en cuenta, pues se plantea que la prueba sea desarrollada por el personal técnico del laboratorio y no se requiere contrataciones adicionales para su realización.

5.3.5 Costos de ventas

se pueden dividir en dos grupos: gastos de comercialización donde se incluyen sueldos, salarios, comisiones, gastos de publicidad, etc. y gastos de distribución del servicio donde se incluyen salarios de supervisores, conductores, fletes, entre otros (Miranda Miranda, 2002). Para fines del presente proyecto los costos de ventas no serán tenidos en cuenta, puesto que no se realiza la contratación de personal adicional para la comercialización del servicio (Miranda Miranda, 2002).

A continuación, se presenta a manera de resumen los costos de producción asociados al desarrollo de la prueba:

Tabla 32

Costos de producción

Costos de fabricación	Precio
<i>Costos directos</i>	
Petróleo	\$ 0
Xileno	\$13,441
Reactivo Karl Fischer	\$12,209
<i>Costos de fabricación</i>	
Papelería	\$17,000
Gafas	\$6,750
Guantes de nitrilo (caja 100 und)	\$33,000
<i>Costos de ventas</i>	
Comercialización	\$ 0
<i>Costos de administración</i>	

Sueldos y prestaciones

Costos totales	\$82,400
----------------	----------

Nota. El costo plasmado para los reactivos corresponde a la cantidad necesaria para realizar una medición por medio del método coulométrico Karl Fischer. El precio fue calculado con base en la información suministrada por Merk Group y Hanna Instruments.

Los costos presentados anteriormente para los guantes, las gafas y la papelería fueron tomados directamente de internet, a través de páginas oficiales de proveedores a enero de 2025. Esto con el fin de entregar un estimado de los costos de operación. A continuación, se detallan los costos totales por inversión y producción.

Tabla 33

Costos totales, inversión y producción

Parámetro	Valor
Costos de inversiones	\$58,744,052
Costos de producción	\$82,400
Total	\$58,856,452

Nota. El costo de producción indicado corresponde al costo total de realizar sólo una prueba por el método ASTM D4928, para el caso de las inversiones estas corresponden a las inversiones fijas mencionadas en la tabla 31

5.4 Ingresos por prestación de servicio

Debido a que no es posible predecir el comportamiento del mercado a futuro, en el presente estudio se plantean dos escenarios que nos permitirán entender adecuadamente a

quienes y de qué manera se podrá ofrecer el servicio de determinación del contenido de agua mediante la prueba ASTM D4928 en el Laboratorio de Fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos. El primer escenario planteado es en el ámbito académico, con el objetivo principal de que los estuantes matriculados en la materia laboratorio de fluidos, estudiantes adjudicados a grupos de investigación o tesis puedan conocer, practicar y aplicar el método. Este escenario se alinea con los objetivos misionales del programa.

Se estima para los siguientes semestres un total aproximado de 33 estudiantes matriculados en la materia laboratorio de fluidos, los cuales se dividirán en 2 grupos de 16 y 17 estudiantes respectivamente. De la misma manera, cada grupo se dividirá en 4 subgrupos con el fin de desarrollar las pruebas inherentes a la asignatura; por consiguiente, serían necesarias 8 pruebas ASTM D4928 por semestre y 16 pruebas por año. El costo para realizar estas 16 pruebas será de \$3,400,448 COP teniendo en cuenta el valor de \$212,528 COP determinado a partir del análisis de mercado.

Tabla 34*Estimación del escenario académico*

Variable	Cantidad
Grupos de trabajo	8
Cantidad de pruebas por semestre	8
Cantidad de pruebas por año	16

Por otro lado, el escenario comercial contempla la posibilidad de ofertar el servicio a empresas externas del sector, quienes por reglamentación nacional están obligados a cumplir con los requisitos mínimos de calidad para el transporte de crudo. Sin embargo, durante la revisión del mercado colombiano, no se encontraron laboratorios acreditados por la ONAC que realicen esta prueba, lo que demuestra un vacío en el mercado local. Por otro lado, se identificaron algunos laboratorios que realizan la determinación del contenido de agua mediante la norma ASTM D4377, sin embargo, es importante resaltar que esta norma se encuentra retirada oficialmente por ASTM en el año 2020. Esto refuerza la oportunidad de implementar el método en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, no sólo para suplir una necesidad académica, si no para proyectarse como pioneros en el mercado. Dentro de este escenario harán las siguientes consideraciones:

Al menos 6 de las empresas identificadas como clientes potenciales requerirán determinar el contenido de agua en petróleo crudo mediante el método ASTM D4928, para ello contactarán a la Universidad Industrial de Santander, pues será pionera en la realización de esta prueba en su laboratorio de fluidos de la EIP.

1. Cada empresa requerirá el servicio 1 vez por mes, esto se resume en 12 servicios anuales por empresa, 36 servicios semestrales para las 6 empresas y 72 servicios anuales para las mismas 6 empresas.

Tabla 35

Estimación del escenario comercial

Demanda	Academia	Terceros	Total semestre	Total año
Cantidad de pruebas	8	36	44	88

Nota: los ingresos estimados por realizar 72 servicios de determinación de contenido de agua mediante el estándar técnico ASTM D4928 a empresas externas serían de \$15,302,016 COP, esto junto a las 16 pruebas a realizar por la comunidad estudiantil nos arroja un valor total de \$18,702,464 COP, es importante analizar que, debido a la ubicación geográfica de la UIS y el desarrollo petrolífero de la región, se estima una acogida positiva de parte de las compañías que operan en la zona.

5.5 Indicadores de evaluación financiera

Uno de los métodos más utilizados para evaluar proyectos es el de Valor Presente Neto (VPN). En términos generales el VPN hace referencia al valor de un proyecto medido en dinero de hoy, compara los diferentes periodos (presentes y futuros) en los que el proyecto tendrá ingresos y egresos, dando una idea de si realmente vale la pena invertir (Murcia Murcia, Díaz Piraquive, Santana Vilorio, Oñate Bello, Rodríguez Murcia, Rojas Neira, & Rodríguez López, 2019, p. 329).

El cálculo del VPN se realiza de la siguiente manera:

$$VPN = -P + \frac{FE_n}{(1+i)^1} + \frac{FE_n}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FE_n}{(1+i)^n} \quad (8)$$

Donde:

FEn = flujo neto de efectivo en el periodo n

P = inversión inicial en el año 0

i = tasa mínima aceptable de rendimiento

de acuerdo con los resultados, se pueden establecer criterios de decisión, teniendo en cuenta que:

$VPN > 0$, es recomendable realizar la inversión

$VPN = 0$, el resultado es indiferente, el inversionista podrá decidir si invierte o no

$VPN < 0$, no es rentable realizar la inversión, el proyecto no será rentable.

Para el presente estudio se realizan los cálculos necesarios para determinar la viabilidad del escenario comercial. Para el caso del escenario académico, no se calculará el VPN, pues este corresponde a fines netamente académicos y no comerciales; los costos asociados a este escenario se justifican dentro de las funciones misionales de la Universidad.

5.5.3 Cálculos valores VPN

Escenario optimista

Este caso estima la recuperación de la inversión en un periodo de 5 años

$$= -\$58,856,452 + \frac{\$10,626,400}{(1 + 0.05)^1} + \frac{\$10,626,400}{(1 + 0.05)^2} + \frac{\$10,626,400}{(1 + 0.05)^3} + \frac{\$10,626,400}{(1 + 0.05)^4} + \frac{\$10,626,400}{(1 + 0.05)^5} \approx 0$$

Escenario moderado

Este caso estima la recuperación de la inversión en un periodo de 7 años

$$= -\$58,856,452 + \frac{\$10,201,344}{(1 + 0.05)^1} + \frac{\$10,201,344}{(1 + 0.05)^2} + \frac{\$10,201,344}{(1 + 0.05)^3} + \frac{\$10,201,344}{(1 + 0.05)^4} \\ + \frac{\$10,201,344}{(1 + 0.05)^5} + \frac{\$10,201,344}{(1 + 0.05)^6} + \frac{\$10,201,344}{(1 + 0.05)^7} \approx 0$$

Escenario Pesimista

Este caso estima la recuperación de la inversión en un periodo de 10 años

$$= -\$58,856,452 + \frac{\$7,651,008}{(1 + 0.05)^1} + \frac{\$7,651,008}{(1 + 0.05)^2} + \frac{\$7,651,008}{(1 + 0.05)^3} + \frac{\$7,651,008}{(1 + 0.05)^4} + \frac{\$7,651,008}{(1 + 0.05)^5} \\ + \frac{\$7,651,008}{(1 + 0.05)^6} + \frac{\$7,651,008}{(1 + 0.05)^7} + \frac{\$7,651,008}{(1 + 0.05)^8} + \frac{\$7,651,008}{(1 + 0.05)^9} + \frac{\$7,651,008}{(1 + 0.05)^{10}} \approx 0$$

Los valores determinados para el flujo neto de cada escenario comercial corresponden a los valores mínimos de ingresos netos anuales por la prestación del servicio, ya que, ingresos menores a los antes descritos incurrirían en un VPN negativo (<cero), es decir, no sería viable realizar la inversión.

5.6 Resultado análisis financiero

A continuación, en la tabla 36 se presenta la estimación de pruebas mínimas que deben realizarse por año para cada uno de los escenarios, con la finalidad de recuperar la inversión en 5, 7 o 10 años.

Tabla 36

Flujo de ingresos para cada escenario comercial

Escenario	Periodo de tiempo	Cantidad de pruebas / año	Flujo de ingresos (COP)
Optimista	5 años	50	\$10,626,400
Moderado	7 años	48	\$10,201,344
Pesimista	10 años	36	\$7,651,008

Para el caso del escenario optimista, se considera una gran acogida de parte de los clientes potenciales del sector y se estima que para recuperar la inversión inicial deben realizarse mínimo 50 pruebas al año, es decir aproximadamente 4,16 pruebas por mes durante los primeros 5 años de prestación del servicio. Se denomina este escenario como el de mayor beneficio.

En el segundo caso, escenario moderado, se plantea una acogida intermedia por parte los clientes principales de la industria, y se estima que, para recuperar la inversión inicial en un periodo de 7 años, deberán realizarse 48 pruebas por año, es decir 4 pruebas por mes. A partir del año 8 se tendrían ingresos positivos para la UIS.

Finalmente, para el tercer caso, escenario pesimista, se considera baja acogida por parte de los clientes esperados y se estima una cantidad de 38 pruebas anuales durante los primeros 10 años de prestación del servicio para recuperar la inversión inicial y obtener ingresos después del año 11.

6 Sistema de Gestión de Calidad

Un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) integra los procesos, normas y prácticas que ayudan a las empresas u organizaciones a tener certeza de que sus productos o servicios ofertados cumplen con los estándares mínimos de calidad establecidos por las diferentes entidades regulatorias. El objetivo principal se centra en garantizar la confiabilidad en los productos y el cumplimiento de la satisfacción de los clientes, al mismo tiempo en que se mejoran los procesos internos.

En este capítulo se registran los parámetros requeridos para la implementación de un SGC basado en la ISO/IEC 17025:2017 para ensayos de laboratorio, con el fin de garantizar la calidad de las pruebas y la veracidad en los resultados. Para su implementación se utilizará el ciclo PHVA, también conocido como ciclo Deming, que consta de cuatro pasos: Planificar, Hacer, Verificar, Actuar, este ciclo se enfoca en la mejora continua de los procesos, el reconocimiento de errores y la corrección de los mismo en el menor tiempo posible para evitar incurrir en ellos (Castillo Pineda, 2019).

Los cuatro pasos se definen de la siguiente manera:

Planear: En este paso se definen los objetivos y se identifican problemas actuales y oportunidades de mejora. Se proponen soluciones se crea un plan para aplicarlas.

Hacer: Se ejecuta el plan diseñado en la etapa anterior, siguiendo un cronograma para asegurar que se cumpla a cabalidad.

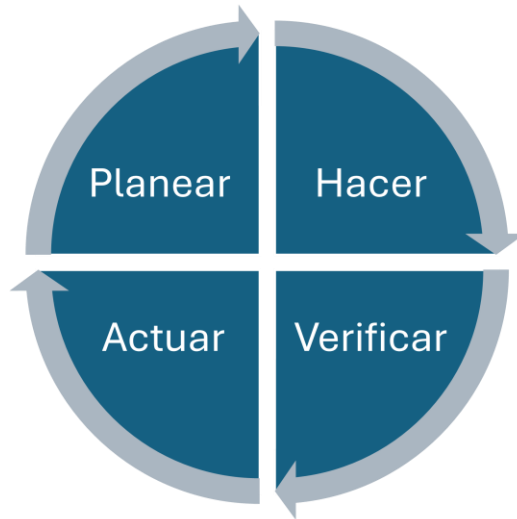
Verificar: Se comparan los resultados obtenidos con los resultados esperados. Esto permite determinar si el plan propuesto funcionó.

Actuar: Se toman las acciones necesarias de acuerdo con los objetivos de la empresa, si los resultados son los esperados, se estandarizan los cambios. Si no, se deberá actuar rápidamente, hacer correcciones y establecer un nuevo plan de, es decir, el ciclo debe comenzar nuevamente.

El ciclo PHVA, asegura que todos los procesos se hagan de manera eficiente, cumpliendo con las expectativas de los clientes, por ello, se convierte en una herramienta clave para competir en mercados exigentes y alcanzar la excelencia organizacional.

Figura 10

Diagrama ciclo PHVA



Nota. Adaptado de *Análisis para la mejora del Sistema de Gestión de la Calidad del Laboratorio de Ingeniería Civil bajo los lineamientos de la norma ISO/IEC 17025:2005* (p. 36), por C. M. Ospina García, 2011. Modificado por el autor.

Implementar un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) ayuda a que la Universidad Industrial de Santander sea más competitiva y garantiza que los procesos de laboratorio cumplan con altos estándares de seguridad, calidad y eficiencia. Incluir una prueba especializada como la ASTM D4928 bajo los lineamientos de la ISO 17025 posiciona al laboratorio como un referente técnico y académico del sector. Todo esto contribuye al proceso de acreditación de la UIS para obtener por parte de una importante entidad como la ONAC el reconocimiento de poseer la competencia técnica para desarrollar sus funciones de manera segura y confiable, fortaleciendo la confianza de clientes y aliados. Es importante mencionar que este proceso requiere de una alta inversión económica y tiempos de espera prolongados.

6.1 Norma Técnica Colombia ISO/IEC 17025:2017

El instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, es un organismo nacional de normalización en Colombia, encargado de la elaboración y aplicación de normas técnicas nacionales e internacionales, la inspección y certificación de los sistemas de gestión, entre otras actividades importantes. Esto permite a las organizaciones obtener sellos de calidad que garantizan la calidad de su desempeño. ICONTEC representa a Colombia ante la Organización Internacional de Normalización (ISO) (ICONTEC, s.f.).

6.1.1 Antecedentes

El nacimiento del estándar internacional se da en 1999 con la publicación de su primera edición. Antes de esta, existían la norma ISO/IEC 25, que establecía los requisitos generales para la competencia técnica; y la norma europea EN 45001, la cual mencionaba los criterios para el funcionamiento de los laboratorios. Estas dos normas fueron la base principal para crear la ISO 17025.

6.1.2 Objetivo

El objetivo principal de la norma ISO/IEC 17025 es permitirles a los laboratorios demostrar que su operación se realiza de manera competente y sus resultados son completamente válidos. Esto promueve la confianza en su trabajo a nivel nacional e internacional.

6.1.3 Requisitos para la acreditación de alta calidad

A partir de este apartado, el contenido se fundamenta en la norma técnica ISO/IEC 17025:2017, la cual establece una serie de requisitos que deben cumplir las entidades con el fin

de mantener la calidad de los resultados obtenidos en sus laboratorios, estos requisitos se agrupan de acuerdo con sus objetivos: requisitos generales, requisitos de estructura, requisitos de recursos, requisitos de proceso y requisitos del sistema de gestión (ISO, 2017). A continuación de enlistan los diferentes requisitos junto a sus características generales.

Tabla 37

Requisitos norma NTC ISO/IEC 17025:2017

Requisitos Generales	<ul style="list-style-type: none"> • Imparcialidad • confidencialidad
Requisitos de Estructura	<ul style="list-style-type: none"> • normatividad • personal y estructura organizacional
Requisitos de Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • personal capacitado • instalaciones y condiciones adecuadas • Equipos y recursos • Trazabilidad metrológica • Productos y servicios externos
Requisitos de proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de las solicitudes, ofertas y los contratos • Selección, verificación y validación de los métodos • Muestreo • Manipulación de ítems de ensayo y calibración • registros técnicos • evaluación de la incertidumbre de medición • aseguramiento de la validez de los resultados • informe de resultados • Quejas • Trabajo no conforme

	<ul style="list-style-type: none">• Control de datos y gestión de información
Requisitos del Sistema de Gestión	<ul style="list-style-type: none">• Opción A: Requisitos de gestión• Opción B: Basado en ISO 9001

Nota. Elaboración propia a partir de la información de la Norma ISO/IEC 17025:2017.

6.1.3.1 Requisitos generales

Imparcialidad: El laboratorio debe realizar sus actividades de manera objetiva, sin ningún tipo de conflicto de interés de carácter económico, personal o financiero que puedan afectar la confiabilidad de los resultados. Para ello se toman las medidas necesarias para evaluar y controlar cualquier tipo de riesgo asociado con la imparcialidad.

Confidencialidad: El laboratorio debe velar por la protección de la información relacionada con los ensayos, calibraciones y datos de los clientes, incluidos los resultados arrojados durante las pruebas y cualquier otro documento que se genere. Para ello se deben firmar acuerdos de confidencialidad por parte de los colaboradores, avisar a los clientes acerca de cómo se manejará la información y no se podrá compartir datos sin previa autorización, excepto cuando lo exija la ley, sin embargo, deberá informarse al cliente si así la ley lo permite.

6.1.3.2 Requisitos de estructura. Estos requisitos relacionan el esquema organizacional del laboratorio con el correcto funcionamiento de este, algunos aspectos indispensables para garantizar su competencia son:

- Asignar funciones y responsabilidades a cada uno de los colaboradores.

- Nombrar una persona responsable de asegurarse que el laboratorio cumpla con la norma ISO 17025.
- Ser parte de una entidad legalmente responsable.

6.1.3.3 Requisitos de recursos. Estos requisitos se enfocan principalmente en todos los recursos técnicos, incluidos personal, materiales, equipos, etc. Necesarios para operar de manera correcta y confiable.

- **Personal competente:** El personal se encuentra capacitado para desarrollar sus actividades de manera competente, bajo imparcialidad y trabaja según los lineamientos del sistema de gestión. Además, el laboratorio debe tener procedimientos estipulados e historial de registros para: determinar los requisitos de competencia, seleccionar, formar, supervisar y autorizar al personal.
- **Instalaciones y condiciones adecuadas:** El laboratorio debe encontrarse en un lugar adecuado para tomar ensayos y pruebas. Debe contar con control de temperatura, humedad o vibraciones para evitar interferencias en los resultados, además deberá realizarse control periódico y asegurar que se cumplan estos requisitos.
- **Equipos y recursos:** Se debe tener acceso a los recursos como instrumentos, software, materiales datos de referencia, reactivos y equipos auxiliares. Los equipos para usar durante las pruebas deben encontrarse en buen estado, estar calibrados y ser apropiados para la medición en cuestión. Es importante seguir algunos lineamientos de control, por ejemplo:
 1. Verificar los equipos antes de su uso

2. En caso de requerir calibración, el equipo se deberá identificar para no ser usado hasta entonces.
 3. Los equipos deben tener la exactitud necesaria para arrojar un resultado valido.
- **Trazabilidad metrológica:** La trazabilidad es obligatoria para todos los equipos. El laboratorio debe mantener la trazabilidad respecto a normas nacionales e internacionales, por ejemplo, el Sistema Internacional de Unidades. Cuando la trazabilidad metrológica a unidades del SI no sea posible, se debe demostrar la trazabilidad a una referencia apropiada, por ejemplo, valores certificados y suministrados por un productor competente.
 - **Productos y servicios externos:** El laboratorio debe asegurarse de que todo material o producto suministrado externamente cumpla con los requerimientos técnicos para evitar interferencias en los resultados, además, el laboratorio debe contar con un procedimiento y conservar registros para: definir, revisar y aprobar los requisitos del laboratorio para los productos y servicios externos.

6.1.3.4 Requisitos de proceso. Los requisitos del proceso descritos en la norma ISO 17025 incluye todas las actividades de control y organización de las actividades influyentes en la calidad y veracidad de los resultados, su objetivo es asegurar que el trabajo dentro de los laboratorios se realice de manera planificada. Algunos aspectos clave son:

Revisión de las solicitudes, ofertas y los contratos: El laboratorio debe verificar previo al servicio que cuenta con las capacidades, recursos y equipos necesarios para cumplir con los requisitos del cliente. Para el caso de proveedores externos, se deben aplicar los requisitos necesarios para asegurar el cumplimiento de la norma, además, se debe comunicar al cliente

acerca de los servicios que serán realizados por proveedores externos, esto estará sujeto a aprobación del cliente.

Selección, verificación y validación de los métodos: los métodos utilizados en las actividades del laboratorio deben ser adecuados para el propósito que se busca alcanzar. Aunque un método esté estandarizado, la validación permite corroborar que la prueba arrojará resultados confiables bajo las condiciones del laboratorio. Todos los métodos, procedimientos, documentos como instrucciones, normas o manuales, debe ser de fácil acceso para el personal y su actualización debe ser constante.

El laboratorio debe utilizar la última versión vigente de un método y cuando el cliente no especifique el método a utilizar, el laboratorio debe seleccionar el más apropiado e informar al cliente acerca de ello.

Muestreo: El laboratorio debe contar con los procedimientos establecidos y adecuados para asegurar que las muestras sean representativas para asegurar la validez de los resultados. El plan y el método de muestreo deben estar disponibles para su validación y deben contener: la selección de muestras o sitios, el plan de muestreo, la preparación y tratamiento de muestras. Se deben conservar los registros de los datos de muestreo.

Manipulación de ítems de ensayo y calibración: El laboratorio debe tener un procedimiento adecuado para el transporte y recepción de muestras, almacenamiento y manipulación, conservación, etc. Además, cada muestra se debe identificar de manera clara para mantener la trazabilidad del proceso. Se deben tomar las precauciones necesarias para evitar el deterioro, contaminación, pérdida o daño de la muestra durante los procesos de manipulación.

Registros técnicos: El laboratorio debe registrar todas las actividades que contengan resultados, informes y datos clave para facilitar la identificación de posibles variables que afecten los resultados de medición. Los registros deben contener fechas, resumen de aspectos corregidos y nombre del personal responsable. Además, el laboratorio debe asegurar que las modificaciones a estos registros sean trazables a versiones anteriores o a las observaciones originales. Los datos y los archivos originales deben conservarse, incluyendo la fecha de corrección, los aspectos corregidos y el personal responsable de la actividad.

Evaluación de la incertidumbre de medición: El laboratorio debe evaluar la confiabilidad de sus resultados, para ello se calcula la incertidumbre de medición, la cual tiene en cuenta todos los factores de variación como: equipo, operadores, ambiente, materiales, reactivos, etc.

Aseguramiento de la validez de los resultados: Para asegurar que los resultados obtenidos en las pruebas sean confiables, el laboratorio deberá realizar seguimiento de su desempeño mediante ensayos interlaboratorio, control estadístico de sus resultados para detectar variaciones o mediante repeticiones de ensayos. El laboratorio es libre de escoger el método por el cual desea asegurar la validez de sus resultados.

Los datos de seguimiento deben ser analizados y utilizados para controlar y mejorar las actividades del laboratorio. En caso de que los datos obtenidos se encuentren fuera de los criterios predefinidos, serán tomarse las acciones necesarias para evitar resultados incorrectos en las mediciones.

Informe de resultados: Los resultados obtenidos durante las pruebas deben presentarse en un informe que contenga toda la información solicitada por el cliente e información necesaria

para la interpretación de los resultados. Este informe debe redactarse de manera clara, exacta y objetiva; deben contener al menos la información relacionada con el título, nombre y dirección del laboratorio, ubicación, nombre e información del cliente, identificación y descripción del método, fecha de recepción, muestreo y ejecución de la muestra, fecha de emisión del informe, referencias, identificación de los responsables, además, deberán conservarse como registros técnicos.

El laboratorio será responsable de toda la información plasmada en el informe, excepto cuando la información sea suministrada por el cliente, para ello deberán identificarse claramente. En este caso el informe debe incluir un descargo de responsabilidad.

Quejas: El laboratorio debe tener un procedimiento estipulado para el recibimiento, registro, investigación y respuesta de quejas o reclamos por parte del cliente, además, deberá usarse la información para dar solución interna y evitar que vuelva a ocurrir. En caso de que cualquier parte interesada solicite el proceso para tratamiento de quejas, este deberá estar disponible de manera inmediata.

Trabajo no conforme: En caso de que los resultados obtenidos no cumplan con los requisitos técnicos relacionados con el cliente, se deben investigar las causas del problema, tomar acciones correctivas y dejar evidencia de ello.

Control de datos y gestión de información: El personal técnico debe tener acceso a la información necesaria para el correcto desarrollo de sus actividades, incluidos los reportes. En este caso antes de usar los sistemas de gestión de la información del laboratorio se debe validar su funcionalidad, si llega a realizarse algún cambio en el sistema, este deberá comunicarse y documentarse. Es indispensable que el sistema de información posea protección contra accesos

no autorizados, esto con el fin de asegurar que sólo personal autorizado tenga acceso a la información y a su posible modificación, evitando resultados erróneos; además, debe contar con mecanismos para salvaguardar la información, como copias de seguridad.

6.1.3.5 Requisitos del Sistema de Gestión. Estos se dividen en dos opciones:

- Opción A: el laboratorio se rige bajo los requisitos planteados en el capítulo 8 de la presente norma (*NTC ISO/IEC 17025:2017*)
- Opción B: Establecer un sistema de acuerdo con los requisitos expuestos en la norma ISO 9001 y además cumple con los requisitos de los capítulos 4 al 7 de la norma ISO 17025.

El presente proyecto se registrará únicamente bajo los lineamientos del NTC ISO/IEC 17025:2017, por ende, se tendrá en cuenta la opción A. a continuación se mencionan sus principales requisitos:

Documentación del sistema de gestión:

- Se deben documentar establecer y mantener políticas y objetivos.
- Las políticas y objetivos deben incluir la competencia, la imparcialidad y la operación coherente del laboratorio.
- Suministrar evidencia del compromiso con el desarrollo y la implementación del SGC.
- Todos los documentos relacionados con los requisitos aquí expuestos se deben referenciar o vincular al SGC.
- Todo el personal debe tener acceso a la información relacionada con sus responsabilidades.

Control de documentos del sistema de gestión:

- El laboratorio debe tener control de los documentos internos y externos relacionados con la norma.
- El laboratorio debe asegurarse de que los documentos se aprueben, revisen e identifiquen cambios. Se debe prevenir el uso de documentos obsoletos.

Control de requisitos:

- Se debe establecer y conservar registros legibles para demostrar el cumplimiento de la norma.
- Se deben implementar controles para identificar, proteger, recuperar y disponer de sus registros. Los registros se deben conservar durante un periodo coherente con sus obligaciones.

Acciones para abordar riesgos y oportunidades:

- El laboratorio debe considerar los riesgos y oportunidades asociados a las actividades del laboratorio.
- El laboratorio debe planificar las acciones para abordar los diferentes riesgos y oportunidades.
- Las acciones tomadas para abordar riesgos y oportunidades deben ser proporcionales al impacto sobre la validez de los resultados.

Mejora

- Se debe identificar y seleccionar oportunidades de mejora e implementar cualquier acción necesaria para ello.
- Se debe buscar el feedback de parte de los clientes para identificar percepciones tanto positivas como negativas.

Acciones correctivas

- Empezar acciones para corregir o controlar las no conformidades.
- Evaluar las acciones necesarias para eliminar las cosas de la no conformidad, esto implica: revisión y análisis, determinación de las causas, sondeo de factores que puedan desencadenar situaciones similares.
- Documentar y conservar los registros que contengan información acerca de: naturaleza, causas, acciones correctivas y resultados de las no conformidades.

Auditorías internas

- Se deben llevar a cabo auditorías internas para identificar si el laboratorio funciona de conformidad con su SGC.
- El laboratorio debe: planificar, establecer y mantener un programa de auditoría que incluya: frecuencia, métodos, responsabilidades, requisitos de planificación y presentación de informes, los cambios que afectan al laboratorio y los resultados de las auditorías.

Revisiones por la dirección

- La dirección debe revisar su SGC con el fin de asegurar su eficiencia.

- Las entradas a la revisión se deben registrar y deben incluir la siguiente información: cambios, cumplimientos de objetivos, estado de las acciones documentadas por anteriores direcciones, resultados de auditorías, acciones correctivas, retroalimentaciones de clientes y colaboradores, quejas, eficacia de las mejoras, adecuación de los recursos, resultados y demás factores que se consideren pertinentes.

6.2 Proceso de acreditación

La acreditación es un proceso mediante el cual una entidad autorizada evalúa un laboratorio de ensayo y calibración de acuerdo con estándares nacionales e internacionales, con el objetivo de corroborar su capacidad técnica y medir la calidad de sus productos y servicios. La acreditación es un proceso internacionalmente reconocido que brinda confianza a los consumidores en cuanto a resultados técnicamente válidos, además, es una actividad que en conjunto con la metrología y la normalización desempeñan un papel importante para proteger los intereses de los consumidores en cuanto a seguridad y calidad de los procesos (Organismo Nacional de Acreditación de Colombia, s.f.).

Desde el año 2008 el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), es la entidad designada por el estado y la encargada de gestionar el Sistema Nacional de Acreditación, La función más importante de la ONAC es declarar que los Organismos Evaluadores de la conformidad (OEC) cumplen con normas internacionales como la ISO 17025, para el caso de laboratorios de ensayo y calibración, también son los encargados de facilitar la competitividad internacional a los servicios colombianos mediante la acreditación ONAC ya que permite a las entidades prestadoras de servicios ser reconocidos en otros países, facilitándoles el acceso a

mercados internacionales; también es la entidad encargada de monitorear las buenas prácticas de laboratorio y de generar confianza en el mercado asegurando la competencia de los OEC mediante su certificación (ONAC, s.f.).

A continuación, se describen los aspectos necesarios que la Universidad Industrial de Santander por medio de la Escuela de Ingeniería de Petróleos debe contemplar para incluir la prueba técnica ASTM D4928 en su portafolio de servicios como ensayo acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC). La información es basada en el documento público de la ONAC titulado *Reglas del Servicio de Acreditación RAC 3.0-01 Versión 12* (ONAC, 2025).

6.2.1 Alcance de la acreditación

Los alcances de la acreditación deben definirse de forma clara, precisa y sin ambigüedades, de manera que aseguren tanto al cliente de OEC acreditado como a otras entidades interesados, una información concreta y delimitada de la competencia técnica demostrada. El OEC deberá junto con la solicitud de acreditación, proponer el alcance para el cual solicita ser acreditado y si es el caso, la ONAC solicitará que se realicen los ajustes o modificaciones necesarias para que esté acorde con las reglas de acreditación.

El alcance se definirá de acuerdo con:

- El tipo de Organismo Evaluador de la conformidad (OEC).
- El objetivo de evaluación de la conformidad.

- Los documentos normativos con los que se realiza la evaluación de la conformidad ya sean normas nacionales o internacionales, reglamentos técnicos o demás documentos validados.
- Sectores económicos, 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.

6.2.2 Criterios de acreditación

Se establecen como aquellos requisitos que deben cumplir todos los Organismos Evaluadores de la conformidad (OEC) para ser acreditados por ONAC y para mantener el estado vigente de su acreditación.

ONAC dentro de los criterios generales de acreditación, adopta y aplica los requisitos descritos en los documentos emitidos por las siguientes organizaciones:

- International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).
- Internacional Accreditation Forum (IAF).
- Inter-American Accreditation Cooperation (IAAC).

Los criterios generales para obtener y mantener la acreditación se encuentran definidos de acuerdo con el esquema de acreditación, a continuación, se muestran los documentos normativos aplicables al presente proyecto

Tabla 38*Criterios generales por Esquema de Acreditación ONAC*

Norma	Organismo de evaluación de la conformidad	Siglas
ISO/IEC 17025	Laboratorio de Ensayo	LAB
ISO/IEC 17025	Laboratorio de Calibración	LAC

Nota. Los criterios necesarios para obtener la acreditación ONAC para el estándar técnico ASTM D4928 se encuentran descritos en la norma ISO/IEC 17025; por tal motivo se recurre al esquema de acreditación seleccionado. Elaboración propia a partir de información de la Organización Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC (s.f). <https://onac.org.co>.

6.2.3 Elementos para la acreditación ONAC

Actualmente la Escuela de Ingeniería de Petróleos UIS cuenta con un Sistema de Gestión Integral (SGI), conformado por los Sistemas de Gestión Ambiental y el Sistema de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo, estos se encuentran certificados desde el año 2015 bajo los estándares internacionales ISO 14001:2015, ISO 45001:2018 y la evaluación del SGI bajo el referencial de la industria petrolera NORSOK S-WA 006/2018 / GTC 310:2020. A continuación, se muestran los logotipos asociados a estos estándares de calidad

Figura 11

Certificaciones de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, UIS.



Nota. Tomado de *ICONTEC* (s.f.), por Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

<https://www.icontec.org>.

Antes de aplicar al proceso de acreditación ONAC, es importante conocer los requisitos y documentos que se debe tener en cuenta en cada una de las etapas (ISO, 2017). Los documentos necesarios se han clasificado de la siguiente manera:

- Documentos generales: Aplican para todos los esquemas de acreditación y definen las condiciones desde la presentación de la solicitud hasta el mantenimiento y renovación de la acreditación. Estos forman parte de la relación contractual con ONAC.
- Criterios de acreditación: Requisitos que debe cumplir el solicitante que desea acreditarse de acuerdo con el esquema de evaluación de la conformidad y que son objeto de evaluación para determinar la competencia del aplicante. En este caso ISO/IEC 17025 requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

- Criterios de evaluación: Documentos adicionales o complementarios de la norma de acreditación para algunos alcances específicos, que el solicitante debe cumplir y son objeto de evaluación por parte de ONAC para determinar su competencia como Organismo Evaluador de la Conformidad.

Una vez identificados los requisitos para iniciar el proceso de acreditación, es indispensable revisar en detalle la norma relacionada con la actividad a realizar, los elementos más importantes se describen en la lista que se muestra a continuación:

1. Se deben identificar y aplicar las medidas necesarias para desarrollar las actividades del laboratorio de manera imparcial y a su vez evitar cualquier presión externa que pueda representar un riesgo de imparcialidad, En caso de que se presente un episodio de imparcialidad, el laboratorio deberá eliminar o minimizar el riesgo.
2. Mantener acuerdos legales y procedimientos internos que aseguren la confidencialidad de la información de los procesos del laboratorio y de los clientes, por parte de todos sus colaboradores, incluyendo miembros del comité, contratistas, personal de organismos externos o individuos que actúen en nombre del laboratorio.
3. El laboratorio debe identificar de la dirección del laboratorio, quien tendrá la responsabilidad general, se debe especificar la responsabilidad, autoridad e interrelación de todo el personal que dirige o verifica las actividades que afecten los resultados del laboratorio.
4. Se debe definir la organización y estructura de gestión del laboratorio, ubicación dentro de la UIS y las relaciones entre la gestión, operaciones técnicas y los servicios de apoyo.

5. La dirección del laboratorio debe comunicar de manera clara y efectiva al personal de sus funciones, responsabilidades y autoridad dentro del laboratorio.
6. El laboratorio debe asegurarse de que el personal cuenta con la capacidad para realizar las actividades de laboratorio de las cuales se ha asignado como responsable y para evaluar la importancia de las desviaciones.
7. Contar con los recursos necesarios y el personal idóneo para implementar, mantener y mejorar el sistema de gestión. Se deben identificar las desviaciones y realizar las acciones que permitan evitar o minimizar dichas desviaciones.
8. Se debe asegurar el correcto funcionamiento del laboratorio y la validez de sus resultados, para ello el laboratorio debe contar con instalaciones adecuadas, condiciones ambientales que no interfieran en las mediciones y equipos que logren la exactitud requerida para proporcionar un resultado válido, estos deben ser calibrados periódicamente.
9. El laboratorio debe establecer y mantener la trazabilidad metrológica de los resultados de sus mediciones por medio de una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones.
10. La dirección del laboratorio debe revisar su sistema de gestión y asegurar el cumplimiento de los objetivos del sistema de gestión, la eficacia de sus procesos, la mejorar de las actividades de laboratorio relacionadas con los requisitos de calidad y todos aquellos objetivos que estén relacionados con el cumplimiento de la norma.

6.2.4 kit básico para la acreditación ONAC

De acuerdo con los lineamientos estipulados en la norma técnica NTC ISO/IEC 17025 y con el fin evitar contratiempos que puedan influir negativamente en el resultado del proceso de

acreditación, se recomienda analizar y seguir los parámetros y/o aspectos necesarios para aplicar el estándar ASTM D4928 en el laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos UIS (ONAC, 2022.). El kit básico para la acreditación se compone de los siguientes requisitos:

- Debe ser una persona jurídica, ya que la acreditación se otorga únicamente a una empresa legalmente constituida.
- Para algunos esquemas de acreditación es fundamental haber prestado al menos un servicio en la actividad de evaluación de la conformidad a acreditar.
- Conocer e implementar la norma técnica correspondiente al proceso de acreditación, para el caso del presente estudio la NTC ISO/IEC 17025:2017
- Aplicar todas las exigencias descritas en la norma, uno de las más importantes es contar con un Sistema de Gestión para asegurar que el laboratorio cumple con todos los requisitos y que los procedimientos están formalizados y estandarizados.
- Asegurar la imparcialidad con que se lleva a cabo la actividad del laboratorio, lo que significa que se garantiza la objetividad del servicio y de los resultados.
- Contar con los recursos necesarios para brindar resultados imparciales y de óptima calidad, esto incluye condiciones ambientales adecuadas y de infraestructura, equipos necesarios, control metrológico y calibraciones periódicas, personal que cuente con educación, formación experiencia y habilidad demostrada para llevar a cabo la actividad a acreditar.

6.3 Solicitud de acreditación

Una vez se ha definido el esquema de acreditación al que se quiere aplicar, los documentos necesarios y sus requisitos, se puede proceder con la acreditación. A continuación, se muestran los pasos para iniciar el proceso

6.3.3 *Registro inicial*

El solicitante deberá registrarse en SIPSO, este es el Sistema de Información de Prestación del Servicio de ONAC. Este sistema permite sistematizar la gestión de todas las etapas del proceso de acreditación, esto facilita la interacción entre los organismos evaluadores de la conformidad, los equipos evaluadores y la administración de ONAC, y aporta mayor trazabilidad y agilidad en la operación de cada esquema de acreditación. El registro podrá realizarse una única vez y debe contener la información principal del solicitante, para este caso el Laboratorio de Fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, la información relacionada con el representante legal y del representante ante ONAC deberá suministrarse igualmente en el registro.

6.3.4 *Presentación de la solicitud*

El primer paso para solicitar la acreditación es diligenciar el formulario de solicitud de acreditación que corresponda a la actividad del solicitante, este puede realizarse de manera manual o digital a través de SIPSO, debe enviarse totalmente diligenciado con la firma del representante legal y adjuntando los anexos necesarios para el respectivo trámite. Para el inicio de la revisión de la solicitud por parte de ONAC, es necesario que el solicitante haya realizado el pago de los derechos de revisión.

Con la presentación del formulario de solicitud de acreditación, el representante legal del Organismo Evaluador de la Conformidad se compromete a:

- Cumplir con los criterios generales y específicos de la acreditación solicitada.
- Proponer el alcance de la acreditación.
- Pagar los costos de acreditación emitidos por ONAC, de acuerdo con las tarifas estipuladas en el documento Tarifas de los Servicios de Acreditación.
- Hacerse cargo de los costos que acarree cada evaluación y los que correspondan a evaluaciones complementarias o evaluaciones extraordinarias.
- Conocer y aceptar las reglas de acreditación contenidas en los estatutos de ONAC del Decreto Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria y Turismo (Decreto 1074, de 2015, capítulo 7 de la sección 1 del título 1 de la parte 2 del libro 2) relativo al “Subsistema Nacional de la Calidad” y se obliga a su cumplimiento.
- Conocer y aceptar las reglas del servicio de acreditación, al igual que los deberes y derechos como contratante de los servicios de acreditación y los que asisten como OEC acreditado, descritos en el documento R-AC-01 y los descritos en el contrato de otorgamiento y uso del certificado de acreditación.
- Recibir y prestar colaboración al equipo evaluador, permitiéndoles realizar las actividades necesarias para la verificación del cumplimiento de los requisitos para la acreditación.

Cuando se requiera solicitar la acreditación en diferentes esquemas de acreditación, estas deben presentarse de manera individual para cada tipo de organismo y serán gestionadas de forma independiente.

6.3.5 *Revisión de la solicitud de acreditación*

Para dar inicio al trámite de revisión de la solicitud de acreditación, se debe anexar copia del pago de los derechos de revisión por el monto equivalente a los términos establecidos en la tarifa vigente al momento en que se presenta la solicitud, esta debe cumplir con todos los requerimientos establecidos en el procedimiento de Revisión de Solicitudes para la Prestación de los Servicios de Acreditación de OEC (PR-3.2-01).

Una vez es recibida la solicitud y constata el pago para revisión inicial, ONAC revisa los documentos suministrados por el solicitante con el fin de comprobar si la actividad es partidaria de la acreditación o si existe algún motivo legal o de otra naturaleza que lo impida.

Se verificará que la actividad corresponde al esquema de acreditación que el solicitante a definido para la acreditación y que ONAC tenga la capacidad para realizarlo, de igual manera se validará que el alcance se haya definido claramente y que la documentación esté completa y sea adecuada, en caso contrario ONAC solicitará completarla y no adelantará otras etapas del proceso hasta que se complete la documentación o información requerida, dichos requerimientos adicionales deberán completarse por el OEC en un plazo de diez (10) días hábiles, en caso de que el OEC no emita respuesta a los requerimientos, se dará por desistida la solicitud de acreditación.

6.3.6 *Cotización de la acreditación*

Una vez la información entregada a ONAC se considera completa para iniciar la prestación del servicio, el solicitante recibe la cotización de los costos del proceso de evaluación inicial, esta será elaborada de acuerdo con el documento de Tarifas de los Servicios de Acreditación RAC-3.0-02 para su aceptación.

El costo del servicio incluirá:

- El tiempo necesario para que el equipo evaluador revise los documentos y verifique su cumplimiento de acuerdo con la norma de referencia y la elaboración del plan de evaluación en sitio.
- El tiempo empleado por el equipo evaluador en la evaluación en sitio, esto comprende la verificación la competencia del OEC para desarrollar las actividades contempladas en el alcance de acreditación y en el laboratorio.
- El tiempo empleado para por el equipo técnico para realizar el informe.
- La revisión del plan para solucionar las no conformidades encontradas, propuesto por el OEC.
- No están incluidos los costos asociados con: desplazamientos entre la sede del evaluador, el OEC y su regreso, alojamientos, viáticos, costos y gastos de evaluación complementaria.

Una vez el OEC acepta la cotización deberá pagar la suma establecida y enviar el comprobante a ONAC con el contrato de prestación de servicio debidamente diligenciado por el representante legal del laboratorio. Con la recepción y confirmación del pago y el acuerdo firmado, ONAC programa la evaluación de acuerdo con el Procedimiento para Programar los Servicios de Evaluación a OEC (PR-3.1-01).

6.3.7 Designación del equipo evaluador y programación de la evaluación

Los miembros del equipo evaluador que desarrollará las actividades de evaluación serán designados por ONAC, este será seleccionado de la base de expertos técnicos competentes y

calificados. El número de integrantes se determinará en función del alcance de la acreditación solicitada. Este contará con un líder de equipo responsable de la evaluación y los evaluadores y expertos técnicos necesarios para realizar la actividad evaluativa.

Se informará al solicitante las fechas y miembros del equipo que realizarán la evaluación. En caso de que algún miembro del equipo comprometa la independencia e imparcialidad de la acreditación, el OEC podrá objetar su designación; en este caso ONAC revisará la información y comunicará la decisión final al solicitante.

6.3.8 *Proceso de evaluación*

El proceso de evaluación se desarrollará de la siguiente manera:

- Revisión de la documentación y los registros: En esta etapa se revisan los documentos y registros proporcionados por el OEC en el momento de la solicitud, su desarrollo se realizará en la sede de ONAC o del líder, para el caso en que la complejidad del alcance, tamaño de los archivos o suficiencia de la información recibida lo ameriten, la revisión se realizará en las instalaciones del OEC. Durante esta etapa podrán generarse no conformidades que se comunicarán por escrito al OEC.
- Evaluación in situ: El equipo evaluador realiza la visita de evaluación a las instalaciones del OEC en la fecha programada, el objetivo principal es verificar el cumplimiento de los requisitos de acreditación pertinentes. La evaluación se desarrolla en tres fases: Reunión de apertura, verificación y reunión de cierre; y se realizará en todas las sedes donde se realicen actividades dentro del alcance de la acreditación.

- Respuesta del OEC ante no conformidades detectadas en la evaluación: el líder del equipo deberá informar al OEC de las no conformidades, este podrá apelarlas o aceptarlas. Para cada no conformidad el OEC debe realizar las correcciones inmediatas y determinar las causas que han llevado al incumplimiento, establecer acciones correctivas para eliminar y evitar la repetición de la no conformidad; todo esto dentro del plazo establecido por el equipo evaluador.
- Evaluación complementaria: el OEC debe asumir el costo de evaluación complementaria y enviar la documentación necesaria para su revisión. El equipo evaluador verificará la implementación de las acciones propuestas en el plan de correcciones y acciones correctivas compartido por el OEC.
- Informe de evaluación: el líder del equipo evaluador elaborará y enviará a OEC un informe de resultados con toda la información recolectada durante las etapas de la evaluación.

6.3.9 Decisión sobre la acreditación

La decisión de acreditación es tomada por el Comité de Acreditación, en esta etapa se analiza el informe de evaluación, la información generada durante el proceso y cualquier otra información relevante de acuerdo con el Procedimiento de Toma de Decisión Sobre la Acreditación de OEC (PR-3.4-01 V17). Con base en esta información el comité de Acreditación adoptará cualquiera de las siguientes decisiones:

- Otorgar la acreditación.
- Renovar la acreditación.

- Mantener la acreditación.
- Modificar, actualizar, ampliar o reducir el alcance de la acreditación.
- Suspender parcial o totalmente la acreditación.
- Retirar la acreditación.

El estado de la acreditación será determinado sólo cuando se evidencie el cumplimiento de todos los requisitos de acreditación y el tratamiento adecuado de las no conformidades.

6.3.10 Cierre del proceso de acreditación

Una vez finaliza el proceso de acreditación con decisión positiva y con los pagos correspondientes por parte del OEC, ONAC emitirá el Certificado de Acreditación que válida la acreditación a favor del OEC. Este certificado contendrá lo siguiente:

- Nombre del OEC y el código de la acreditación obtenida.
- Norma nacional o internacional, bajo la cual se otorga la acreditación.
- Alcance de la acreditación.
- Dirección y ubicación de la sede principal y los sitios cubiertos por la acreditación
- Fecha de aprobación de la acreditación y su periodo de vigencia.

La acreditación será publicada en el sitio web oficial de ONAC y a partir de ese momento el OEC tendrá derecho a utilizar el símbolo de acreditado siempre y cuando esta se mantenga vigente y se cumpla con los requisitos establecidos en el documento Reglas del Servicio de Acreditación (RAC-3.0-01).

7 **Anexo 1: GUÍA DEL ESTUDIANTE EN EL LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA EN PETRÓLEO CRUDO MEDIANTE TITILACIÓN COULOMÉTRICA KARL FISCHER ASTM D4928.**

1. Alcance

Este método de prueba es utilizado para la determinación del contenido de agua en el rango de 0.02 a 5% de masa o volumen en petróleo crudo. Elementos como los mercaptanos (RHS) y los sulfuros (S^- o H_2S), en forma de azufre, interfieren con este método de prueba, sin embargo, para niveles inferiores a 500 $\mu\text{g/g}$ (ppm) la interferencia de estos compuestos es insignificante.

2. Equipos, elementos y reactivos

Tabla 39

Elementos necesarios para la implementación de la norma ASTM D4928

Equipos y reactivos		Características
Aparato Karl Fischer		Con punto final electrométrico, usado para detectar el cambio en el potencial eléctrico al agregar el reactivo a la muestra.
Mezclador para homogenizar la muestra de crudo	De tijera o cortador	Sin aeración, de alta velocidad. Debe alcanzar la eficiencia de homogeneización descrita en la práctica D5854.
	De circulación de muestra	Debe cumplir con los principios de la práctica D5754.

Balanza analítica		Precisión de 0,1 mg
Jeringas	Jeringa para determinación gravimétrica	Cualquier tipo de jeringa sin fugas podrá ser utilizada. Debe tener las dimensiones apropiadas para ajustarse adecuadamente en la balanza.
	Jeringa para determinación volumétrica	Se requiere una aguja certificada, con capacidad para administrar la cantidad volumétrica con precisión del 0,5% del volumen contenido.
Agua		Pureza del agua de tipo IV (el grado más bajo entre los grados de pureza) como se especifica en la norma D1193.
Xileno		De grado reactivo y contenido de agua menor al 0.05%, pureza mínima.
Reactivo Karl Fischer		Reactivo para titulación Coulométrica

3. Procedimiento para la determinación del contenido de agua

3.1 Preparación del equipo

- Siga las instrucciones del fabricante para la preparación y operación del equipo.
- Verifique que todas las uniones y conexiones de la celda se encuentren selladas para evitar el ingreso de humedad.
- Agregue la mezcla de xileno y reactivo Karl Fischer hasta el nivel recomendado por el fabricante.

- Encienda el equipo y active el agitador. La agitación debe realizarse de manera uniforme y constante.
- Permita que la humedad residual de la celda sea titulada hasta alcanzar el punto final. Si el tiempo para alcanzar el punto final es excesivo o la corriente de fondo es alta, apague el equipo, agite suavemente el líquido para lavar las paredes internas y repita la titulación hasta alcanzar un punto final estable.

3.2 Determinación del contenido de agua

Por masa

- Verifique que la jeringa tenga la capacidad adecuada
- Tome una porción de la muestra, limpie la aguja y use la balanza analítica para pesar la jeringa con muestra (Precisión de 0,1 mg).
- Inyecte la muestra en el reactivo Karl Fischer, por debajo de la superficie del reactivo en la celda de titulación.
- Retire y pese nuevamente la jeringa.
- Cuando se alcance el punto final, registre el resultado arrojado por el equipo.

Por volumen

- Verifique que la jeringa tenga la capacidad adecuada.
- Llene la jeringa cuidadosamente para reducir la formación de burbujas. Si aparecen, inviértala, deje que suban a la salida y expúlselas. La tendencia a formar burbujas depende del tipo de crudo y su presión de vapor.

- Tome una porción de la muestra, limpie la aguja y use la balanza analítica para registrar el volumen en la jeringa (Precisión de 1 o 10 μL).
- Inyecte la muestra en el reactivo Karl Fischer en la celda de titulación, por debajo de la superficie.
- Una vez se alcanza el punto final, registre el resultado arrojado por el equipo.

4. Cálculo y reporte

Calcule el porcentaje en masa de agua de la muestra de petróleo crudo de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de agua, \% masa} = \frac{W_1}{W_2} \times 100 \quad (9)$$

Donde:

W_1 = masa de agua titulada, μg .

W_2 = masa de la muestra utilizada, μg .

Al determinar el porcentaje de agua en masa, reporte el contenido de agua con una aproximación al 0,01% en masa.

Calcule el porcentaje en volumen de agua de la muestra de petróleo crudo de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de agua, \% volumen} = \frac{V_1}{V_2} \times 100 \quad (10)$$

Donde:

V_1 = Volumen de agua titulada, μL (equivalente a los $\mu\text{g}/1000$ de agua reportados por el titulador coulométrico).

V_2 = Volumen de la muestra utilizada, μL .

Al determinar el porcentaje de agua en volumen, reporte el contenido de agua con una aproximación al 0,01% en volumen.

5. Recomendaciones

- En el caso que se desconozca la concentración de agua, se recomienda empezar con una porción pequeña de la muestra para evitar tiempos excesivos de titulación y altos consumos de reactivos.
- Para el desarrollo de la prueba se deben emplear únicamente reactivos de grado analítico o superior. En caso de usar otros grados, se debe verificar previamente que su pureza no afecte la exactitud de los resultados.
- Para crudos muy viscosos, pese un frasco gotero limpio y seco con la muestra, transfiera la cantidad necesaria a la celda de titulación y vuelva a pesar el frasco. Continúe la titulación de acuerdo con los pasos descritos anteriormente.

8 Conclusiones

- La búsqueda bibliográfica realizada permitió identificar los métodos estandarizados más utilizados para determinación del contenido de agua en petróleo crudo en la industria de los hidrocarburos, evidenciando que su aplicación depende de factores como la precisión requerida, el porcentaje de agua esperado, fase del proceso (transporte, refinación, venta, etc.), así como otros aspectos propios de la operación. Asimismo, durante la revisión bibliográfica se evidenció poca disponibilidad de información en fuentes públicas y, en muchos casos la falta de actualización de los documentos disponibles.
- El dimensionamiento de los recursos necesarios para implementar el estándar técnico ASTM D4928 permitió identificar los requerimientos técnicos y materiales necesarios para su desarrollo. Este análisis evidenció la limitada oferta tecnológica a nivel nacional y la disponibilidad de equipos de bajo costo, pero con estándares de seguridad reducidos en mercados internacionales. La diferencia de precios en los equipos ofertados posiciona a los proveedores nacionales dentro de los más costosos (véase la tabla 19 pág. 85), sin embargo, sus cortos tiempos de respuesta, soporte técnico local y capacitación presencial, los convierten en la opción más indicada para el presente proyecto,
- A través del estudio de mercado realizado se evidencia que no existen empresas o laboratorios acreditados que presten el servicio bajo la norma ASTM D4928, y que aquellas que lo realizan bajo la norma ASTM 4377 son escasas. Esto representa una gran oportunidad para la UIS de posicionarse como único proveedor en la región.

- El análisis financiero realizado permitió estimar los costos asociados a la implementación del estándar técnico en el Laboratorio de Fluidos de la EIP, así como los posibles ingresos por la prestación del servicio, sin embargo, las proyecciones económicas se realizaron con base en estimaciones de ventas, ya que no es posible determinar con certeza la cantidad de servicios que se podrían ofertar mensualmente, lo que genera incertidumbre en los resultados obtenidos. Aun así, los indicadores de evaluación financiera calculados reflejan la viabilidad económica del proyecto en cada uno de los escenarios analizados (véase la tabla 36, pág.115).
- El análisis de los requisitos del Sistema de Gestión de Calidad basado en la norma NTC ISO/IEC 17025:2017 permitió identificar las directrices necesarias para su aplicación en el Laboratorio de Fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, con el fin de garantizar la competencia técnica y la fiabilidad en los resultados obtenidos mediante el estándar técnico ASTM D4928. La implementación de estos requisitos en el proyecto orienta el proceso hacia la obtención de la acreditación ante el ONAC. Este reconocimiento fortalecerá la competitividad en la prestación del servicio dentro del sector petrolero, consolidando los estándares de alta calidad propios de la Universidad Industrial de Santander.

9 Recomendaciones

- Evaluar la aplicación del método Karl Fischer en muestras con altos contenidos de agua mediante la incorporación de herramientas complementarias, como el uso de tituladores

con rango extendido, con el fin ampliar su rango de aplicabilidad y fortalecer la oferta de servicios en el mercado nacional.

- Realizar un estudio de factibilidad con base en el presente análisis, con el fin de determinar la viabilidad técnica y económica de implementar el protocolo ASTM D4928 dentro de la oferta de servicios ofrecidos por el Laboratorio de Fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos.
- Se recomienda establecer procedimientos para calibración y verificación periódica del equipo Karl Fischer y los reactivos utilizados durante la prueba, con el fin de garantizar la fiabilidad de los resultados y mantener la trazabilidad metrológica establecida en la norma NTC ISO/IEC 17025:2017.
- Realizar un estudio más detallado sobre el proceso de acreditación ONAC, basado principalmente en los costos asociados y los tiempos requeridos para ello, puesto que en el presente proyecto se presenta de manera general el paso a paso para obtener la acreditación con base en la información publicada en la página web oficial de ONAC.

Referencias Bibliográficas

ASTM International. (2011). *ASTM D4377-11. Standard test method for water in crude oils by potentiometric Karl Fischer titration*. ASTM International.

<https://doi.org/10.1520/D4377-11>

ASTM International. (2016). *ASTM D4006-16. Standard test method for water in crude oil by distillation*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D4006-16>

ASTM International. (2016). *ASTM D4007-16. Standard test method for water and sediment in crude oil by the centrifuge method (laboratory procedure)*. ASTM International.

<https://doi.org/10.1520/D4007-11>

ASTM International. (2018). *ASTM D4928-18. Standard Test Method for Water in Crude Oil by Coulometric Karl Fischer Titration. (laboratory procedure)*. ASTM International.

<https://doi.org/10.1520/D4928-18>

Castillo Pineda, L. (2019). *El modelo Deming (PHVA) como estrategia competitiva para realzar el potencial administrativo* [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada].

Repositorio Institucional UMNG.

<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/c6908a00-bc53-44d5-b402-d0779d159872/content>

Castro, H., & Gámez, C. (2009). *Evaluación de la depositación de incrustaciones en sistemas de bombeo electrosumergible del campo Cantagallo* [Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander]. Universidad Industrial de Santander.

Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos S.A. (2024, junio). *Manual del Transportador CENIT* [PDF]. Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos. [https://portal.cenit-transporte.com/CenitNominaciones/modulos/bto/pdf/Manual%20del%20Transportador%20CENIT%20\(Junio2024\)-2462692.pdf](https://portal.cenit-transporte.com/CenitNominaciones/modulos/bto/pdf/Manual%20del%20Transportador%20CENIT%20(Junio2024)-2462692.pdf)

Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos. (s.f.). *Página principal*. Cenit. <https://www.cenit.com.co>

Chevron. (s.f.). *Página principal*. Chevron. <https://www.chevron.com>

Crecenegocios. (2023). *Precio*. Crecenegocios. <https://www.crecenegocios.com/precio/>

Delvasto y Echevarría y Asociados & Consejeros en Gas y Energía Ltda. (2015). *Informe público: Consultoría metodología tarifaria oleoductos*. Ministerio de Minas y Energía. https://www.minenergia.gov.co/documents/3134/Informe_P%C3%ABablico_Consultor%C3%ADa_Metodologia_Tarifaria_Oleoductos_vp.pdf

Ecopetrol S.A. (2021). *Manual del Transportador Ecopetrol S.A.* [PDF]. Ecopetrol S.A. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/wcm/connect/45d15489-0c5c-4240-8fdf-5cb014ab8f98/Manual%2Bdel%2BTransportador%2BEcopetrol%2BSA%2BWeb%2B2021.pdf?MOD=AJPERES&attachment=true&id=1619566224872>

Ecopetrol. (s.f.). *Página principal*. Ecopetrol. <https://www.ecopetrol.com.co>

- El estudio del mercado. (s.f.). Recuperado de <https://operagb.com/wp-content/uploads/2017/09/8448169298.pdf>
- Gómez Aparicio, J. M. (2013). *Gestión logística y comercial*. McGraw-Hill Interamericana de España. <https://www.studocu.com/es/document/ie-universidad/logistica-inteligente/gestion-logistica-y-comercial/15291333>
- Google. (s.f.). *Google Maps* [Mapa]. Google. <https://www.google.com/maps>
- Gunvor Group. (s.f.). *Página principal*. Gunvor. <https://gunvorgroup.com>
- Hernández Garnica, C., & Maubert Viveros, C. A. (2009). *Fundamentos de Marketing*. México: Pearson Educación. <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24776w/Garnica.pdf>
- ISO. (2017). *ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/66912.html>
- Mansarovar Energy Colombia Ltd. (s.f.). *Página principal*. Mansarovar Energy. <https://www.mansarovarenergy.com>
- Miranda Miranda, J. J. (2002). *Gestión de proyectos: identificación, formulación, evaluación financiera, económica, social, ambiental* (4.^a ed.). <https://tecbiblio.com/wp-content/uploads/2025/05/gestion-de-proyectos-identificacion-formulacion-evaluacion-financiera-economica-social-ambiental.pdf>
- Mochón Morcillo, F., & Beker, V. (2017). *Principios y aplicaciones de economía* [Libro electrónico en PDF]. McGraw-Hill Interamericana. <https://ens9004-inf.d.mendoza.edu.ar/sitio/geografia-economica/upload/09->

[%20MOCHON%20MORCILLO%20%26%20BEKER%20-%20LIBRO%20-%20Principios%20y%20Aplicaciones%20de%20Econom%EDa.pdf](#)

Murcia Murcia, J. D., Díaz Piraquive, F. N., Santana Vilorio, L., Oñate Bello, G. A., Rodríguez Murcia, S. Y., Rojas Neira, R. C., & Rodríguez López, G. F. (2019). *Proyectos*. Alpha Editorial. <https://www.google.com.co/books/edition/Proyectos/kfR5EAAAQBAJ>

O. Castiblanco y D. J. Cárdenas (2023). *Importancia del transporte de hidrocarburos y su realidad en Colombia*. *Revista Inventum*.

<https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/3240/3400>

Oleoducto Central S.A. – Ocesa. (s.f.). *Página principal*. Ocesa. <https://www.ocesa.com.co>

Oleoducto de Colombia S.A. (s.f.). *Página principal*. Oleoducto de Colombia.

<https://www.oleoductodecolombia.com>

Organismo Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC. (2022). *Reglas del servicio de acreditación RAC 3.0-01 (Versión 12)*. ONAC. <https://onac.org.co>

Organismo Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC. (s.f.). *Página principal*. ONAC. <https://onac.org.co>

Orjuela Córdoba, S., & Sandoval, P. (2022). *Guía del estudio de mercado para la evaluación de proyectos* [Tesis de grado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.

https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/108139/orjuela_s.pdf

Ospina García, C. M. (2011). *Análisis para la mejora del Sistema de Gestión de la Calidad del Laboratorio de Ingeniería Civil bajo los lineamientos de la norma ISO/IEC 17025:2005*

- [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/baac3327-a1b1-4047-bf59-a37f0dc23fb0/content>
- Pajuelo, G. (2020). *Corrosión interna en oleoductos* [Artículo científico].
- Reyes, Y. (2024). *¿Cómo medir la eficiencia de un sistema de protección catódica?* Inспенet. <https://inspenet.com/articulo/medir-eficiencia-sistema-proteccion-catodica/>
- Rodríguez, M. (2025). *Proceso de recubrimientos de superficies para la integridad metálica*. Inспенet. <https://inspenet.com/articulo/proceso-de-revestimientos-de-superficies/>
- Trafigura. (s.f.). *Página principal*. Trafigura. <https://www.trafigura.com>
- Villarreal, J. (2004). *Corrosión en sistemas multifásicos en flujo intermitente, caso CO₂, agua, aceite, sobre acero al carbono 1020* [Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander]. Universidad Industrial de Santander.
- Vitol. (s.f.). *Página principal*. Vitol. <https://www.vitol.com>
- Web de Marketing. (2013). *Criterios de selección que utilizan los distribuidores de productos*. <https://web-de-marketing.blogspot.com/2013/08/criterios-de-seleccion-que-utilizan-de.html>
- Zavarce, A. (2025). *Inhibidor de corrosión: Función, tipos y aplicaciones*. Inспенet. <https://inspenet.com/articulo/inhibidor-de-corrosion-tipos-y-aplicaciones/>