

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTAR PRUEBA DE
LABORATORIO PARA DETERMINAR EL PODER CALORÍFICO DE
HIDROCARBUROS LÍQUIDOS

ANDREA TORRES SUÁREZ

DIBERTH JULEISY GUEVARA CHAPARRO

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

2017

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTAR PRUEBA DE
LABORATORIO PARA DETERMINAR EL PODER CALORÍFICO DE
HIDROCARBUROS LÍQUIDOS

ANDREA TORRES SUÁREZ

DIBERTH JULEISY GUEVARA CHAPARRO

Trabajo de grado para optar al título de Ingenieros de Petróleos

Director

César Augusto Pineda Gómez

Ingeniero de petróleos

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

2017

DEDICATORIA

A mi compañera y amiga fiel, Juleisy Guevara, por ser mi apoyo incondicional en todos los aspectos de la vida, por confiar en mí en todo momento y compartir sus sueños conmigo, por llenar mi vida de risas y felicidad, y por las incontables experiencias y aventuras que hicieron de mí una persona mejor.

A ti siempre, Mausita.

Andrea Torres

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

A mi familia y amigos, por su compañía, confianza y oraciones.

A Andrea, a quien admiro y quiero mucho, principalmente por su amistad y apoyo en todo momento, por su compromiso y dedicación.

Juleisy Guevara

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero César Augusto Pineda, por confiar en nosotras y brindarnos la oportunidad de desarrollar este proyecto bajo su dirección; por su compromiso y dedicación constante, las cuales permitieron culminar satisfactoriamente esta etapa, y principalmente por su apoyo incondicional ante las dificultades.

Al ingeniero Félix Arenas, por sus interés y aportes en la fase final del proyecto.

A nuestra *alma mater*, la Universidad Industrial de Santander, por ser nuestro orgullo y brindarnos las bases necesarias para formarnos como profesionales íntegras.

A aquellas personas y entidades que con su colaboración contribuyeron al cumplimiento de los objetivos de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	19
1. COMBUSTIÓN	21
1.1. TIPOS DE COMBUSTIÓN.....	22
1.1.1. Combustión completa	22
1.1.2. Combustión incompleta	23
1.2. COMBUSTIBLES.....	23
1.2.1. Combustibles en Colombia.....	26
1.2.1.1. Gasolina	26
1.2.1.2. Diésel.....	27
1.2.1.3. Queroseno	28
1.2.1.4. Combustóleo.....	28
1.2.1.5. Jet A1	29
1.2.1.6. Diésel marino.....	29
1.2.1.7. Base pesada para IFO's	30
1.2.1.8. Gasolina de aviación	31
1.3. COMBURENTES.....	31
2. PODER CALORÍFICO	33
2.1. DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO	34
2.1.1. Teóricamente.....	34
2.1.2. Empíricamente.....	35
2.1.3. Experimentalmente.....	37
2.1.3.1. Calorímetro adiabático.....	39
2.1.3.2. Calorímetro isotérmico.....	40
2.1.3.3. Calorímetro isoperibólico	40

2.1.3.4.	Normas para determinar poder calorífico.	40
2.2.	PODER CALORÍFICO EN COMBUSTIBLES-REQUISITOS	44
3.	NORMA ASTM D-240.....	46
3.1.	CONSIDERACIONES.....	46
3.2.	RESUMEN DE LA PRUEBA.....	47
3.3.	EQUIPOS	47
3.4.	REACTIVOS	49
3.5.	ESTANDARIZACIÓN.....	50
3.5.1.	Determinar la energía equivalente del calorímetro	50
3.5.2.	Revisión del calorímetro para usar con combustibles volátiles.....	50
3.5.3.	Calor de combustión de la cinta de presión sensitiva o cápsula de gelatina/aceite mineral	51
3.6.	PROCEDIMIENTO	52
3.6.1.	Peso de la muestra.....	52
3.6.1.1.	Cinta sensitiva de presión.....	53
3.6.1.2.	Cápsula de gelatina/aceite mineral.....	53
3.6.2.	Agua en la bomba.....	54
3.6.3.	Oxígeno	54
3.6.4.	Agua en el calorímetro.....	54
3.6.5.	Observaciones método camisa isotérmica	55
3.6.6.	Observaciones método camisa adiabática	55
3.6.7.	Análisis de los contenidos de la bomba.....	56
3.7.	CÁLCULOS	57
3.7.1.	Aumento de temperatura en calorímetro de camisa isotérmica.....	57
3.7.2.	Aumento de temperatura en calorímetro de camisa adiabática.....	58
3.7.3.	Correcciones termoquímicas	58

3.7.3.1. Calor de formación de ácido nítrico (HNO ₃).....	58
3.7.3.2. Calor de formación de ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄).....	59
3.7.3.3. Calor de combustión del alambre de ignición	59
3.7.3.4. Calor de combustión bruto.....	60
3.7.3.5. Calor de combustión neto	61
3.8. RESULTADOS	62
4. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD	63
4.1. ESTUDIO DE MERCADO.....	63
4.1.1. Oferta.....	64
4.1.2. Demanda	67
4.1.3. Precio de la prueba.....	72
4.2. ANÁLISIS TÉCNICO	74
4.2.1. Dimensionamiento y ubicación	74
4.2.1.1. Escuela de Ingeniería de Petróleos	75
4.2.1.2. Parque Tecnológico Guatiguará	76
4.2.2. Personal	78
4.2.3. Selección de proveedores	78
4.2.3.1. Evaluación de las necesidades.....	79
4.2.3.2. Lista de proveedores	80
4.2.3.3. Análisis de ofertas de proveedores.....	82
4.2.3.4. Establecimiento de los criterios de selección	92
4.2.4. Resultados.....	103
4.2.4.1. Calorímetro	103
4.2.4.2. Reactivos	106
4.3. ANÁLISIS FINANCIERO	107
4.3.1. Presupuesto de inversiones.....	107

4.3.1.1. Inversiones fijas	108
4.3.1.2. Inversiones diferidas	109
4.3.1.3. Capital de trabajo.....	109
4.3.2. Costos de producción	110
4.3.2.1. Costos de fabricación	110
4.3.2.2. Costos de administración	111
4.3.2.3. Costos de ventas	111
4.3.3. Ingresos por prestación de servicio	113
4.3.4. Indicadores de evaluación financiera.....	117
4.3.4.1. VPN - Escenario comercial	119
4.3.4.2. TIR – Escenario comercial.....	119
4.3.4.3. VPN – Escenario nuevos mercados	119
4.3.4.1. TIR – Escenarios nuevo mercados.....	120
5. SISTEMA DE GESTIÓN de calidad basado en la ntc-iso/iec 17025 .	122
5.1. NTC ISO/IEC 17025-2005	123
5.1.1. Requisitos de la gestión.....	124
5.1.2. Requisitos técnicos.....	127
5.2. PROCESO DE ACREDITACIÓN.....	130
5.2.1. Alcance de la acreditación	131
5.2.2. Criterios de acreditación	132
5.2.3. Solicitud de acreditación	133
5.2.4. Procedimiento de acreditación.....	134
5.2.4.1. Revisión de la solicitud y elaboración de la cotización	134
5.2.4.2. Cotización de la acreditación	135
5.2.4.3. Designación del equipo evaluador y programación de la evaluación	136
5.2.4.4. Proceso de evaluación	136

5.2.5. Decisión sobre la acreditación	137
6. CONCLUSIONES	139
7. RECOMENDACIONES.....	141
BIBLIOGRAFÍA.....	142

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Contenido energético de combustibles alternativos contra combustibles tradicionales basados en petróleo.....	25
Gráfica 2. Protocolos ASTM para determinación de poder calorífico con bomba calorimétrica.....	41
Gráfica 3. Poder calorífico de referencia para combustibles.....	44
Gráfica 4. Equipos requeridos-Norma ASTM D240	47
Gráfica 5. Reactivos requeridos-Norma ASTM D240	49
Gráfica 6. Laboratorios que prestan el servicio de determinación de poder calorífico a hidrocarburos líquidos y características de la prueba.....	65
Gráfica 7. Estudiantes matriculados en la materia laboratorio de fluidos en los últimos 6 semestres	68
Gráfica 8. Clientes potenciales de la prueba de determinación de poder calorífico	69
Gráfica 9. Precio de la prueba a implementar.....	73
Gráfica 10. Escogencia de locación para implementación de protocolo ASTM D240	77
Gráfica 11. Lista de proveedores de calorímetros	81
Gráfica 12. Lista de proveedores de reactivos químicos	82
Gráfica 13. Lista de proveedores de oxígeno	82
Gráfica 14. Especificaciones de los calorímetros ofrecidos.....	83
Gráfica 15. Especificaciones del ácido benzoico	89
Gráfica 16. Especificaciones del naranja de metilo.....	89
Gráfica 17. Especificaciones del rojo de metilo	90
Gráfica 18. Especificaciones del hidróxido de sodio	90
Gráfica 19. Especificaciones carbonato de sodio	91
Gráfica 20. Especificaciones trimetilpentano	91
Gráfica 21. Especificaciones oxígeno.....	91
Gráfica 22. Criterios de selección globales-Lehman y O'Shaughnessy.....	92
Gráfica 23. Criterios de selección: especificaciones técnicas para calorímetros	94

Gráfica 24. Criterios de selección: información suministrada por el proveedor	95
Gráfica 25. Criterios de selección: instalación de equipos	95
Gráfica 26. Criterios de selección: precio	96
Gráfica 27. Criterios de selección: capacitación ofrecida por el proveedor	96
Gráfica 28. Criterios de selección: servicio posventa	97
Gráfica 29. Criterios de selección: experiencia del proveedor en ventas a la UIS	97
Gráfica 30. Evaluación de criterios-Calorímetros LECO y PARR	98
Gráfica 31. Selección de calorímetros según modelo de Lehman y O'Shaughness	99
Gráfica 32. Criterios de selección: precio ácido benzoico (250 g)	101
Gráfica 33. Criterios de selección: Naranja de metilo (solución al 0.1%)	102
Gráfica 34. Criterios de selección: hidróxido de sodio (1 kg)	102
Gráfica 35. Criterios de selección: carbonato de sodio (1 kg)	102
Gráfica 36. Criterios de selección: trimetilpentano (4L)	102
Gráfica 37. Criterios de selección: oxígeno (7 m ³)	103
Gráfica 38. Proveedor de calorímetro seleccionado	106
Gráfica 39. Proveedores de insumos seleccionados	106
Gráfica 40. Presupuesto de inversiones	109
Gráfica 41. Costos de producción	111
Gráfica 42. Costos totales de inversión y producción	112
Gráfica 43. Escenario académico	114
Gráfica 44. Escenario comercial	115
Gráfica 45. Escenario nuevos mercados	116
Gráfica 46. VPN para escenario comercial	119
Gráfica 47. TIR para escenario comercial	119
Gráfica 48. VPN para escenario nuevos mercados	120
Gráfica 49. VPN para escenario nuevos mercados	120
Gráfica 50. Los requisitos para obtener la acreditación por parte del ONAC	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Oxidación completa de hidrocarburos	22
Figura 2. Unidad de destilación de crudo.....	24
Figura 3. El proceso de selección de proveedores	78

LISTA DE ANEXOS

(Anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de datos de la Biblioteca UIS)

ANEXO A. Cotizaciones prueba poder calorífico

ANEXO B. Cantidad de alumnos matriculados en la asignatura Laboratorio de fluidos para semestres anteriores

ANEXO C. Información sobre ubicación del calorímetro en el PTG

ANEXO D. Cotizaciones calorímetros

ANEXO E. Cotizaciones insumos

ANEXO F. Selección de calorímetros

ANEXO G. Solicitud información ASTM

ANEXO H. Formulario de solicitud de acreditación de laboratorios de ensayo

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA IMPLEMENTAR PRUEBA DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL PODER CALORÍFICO DE HIDROCARBUROS LÍQUIDOS*

AUTORES: ANDREA TORRES SUÁREZ

DIBERTH JULEISY GUEVARA CHAPARRO**

PALABRAS CLAVE: PREFACTIBILIDAD, PODER CALORÍFICO, MERCADO, ANÁLISIS TÉCNICO, ANÁLISIS DE COSTOS, CALORÍMETRO.

DESCRIPCIÓN:

El análisis de prefactibilidad aplicado a la implementación de la prueba de laboratorio para determinar poder calorífico en hidrocarburos líquidos tiene como objetivo brindar una guía completa donde se analicen factores técnicos, financieros y de calidad, a través de los cuales sea posible el desarrollo y escalamiento de esta propuesta como parte del portafolio de servicios de la Escuela de Ingeniería de Petróleos.

Este proyecto cuenta con un estado del arte completo, en el cual se describen los aspectos más relevantes de la combustión, los combustibles y el poder calorífico. Del mismo modo, se presenta el protocolo ASTM D240 y los requerimientos necesarios para su implementación. En base a lo documentado, se realiza un estudio con el fin de identificar los posibles competidores y compradores del servicio, y así poder establecer un margen de precios que permita entrar en el mercado. Adicionalmente, se realiza un análisis técnico, cuyo objetivo es elegir las mejores propuestas en cuanto a equipos e insumos, las cuales deben ajustarse a los criterios de selección establecidos para cada caso, basados en cotizaciones e información suministrada por los respectivos proveedores. Posteriormente se lleva a cabo un análisis financiero, enfocado en la estimación de los costos totales del proyecto y las utilidades que podrían recibirse, variando condiciones a futuro a través del planteamiento de escenarios diferentes al netamente académico. Luego, se establece viabilidad del proyecto para cada caso a través de indicadores de evaluación financiera, con el fin de conocer si es rentable o no invertir.

Por último, se documentan los controles requeridos para la implementación del sistema de gestión de calidad basado en la norma NTC-ISO/IEC 17025 para ensayos de laboratorio.

* Trabajo de grado

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

ABSTRACT

TITLE: PRE-FEASIBILITY STUDY TO IMPLEMENT LABORATORY TEST TO DETERMINE HEAT OF COMBUSTION OF LIQUID HYDROCARBON*

AUTHORS: ANDREA TORRES SUÁREZ

DIBERTH JULEISY GUEVARA CHAPARRO**

KEYWORDS: PRE-FEASIBILITY, HEAT OF COMBUSTION, MARKET, TECHNICAL ANALYSIS, COSTS ANALYSIS, CALORIMETER.

DESCRIPTION:

The pre-feasibility analysis applied to implementation of the laboratory test to determine heat of combustion of liquid hydrocarbons aims to provide a complete guide where technical, financial and quality factors are analyzed, to allow for development and scaling of the proposal as part of portfolio of services of the Petroleum Engineering School.

This project has a complete state of art, in which the most relevant aspects of combustion, fuels and calorific value are described. In the same way, the ASTM D240 protocol is presented and the necessary requirements for its implementation. Based on documented information, a study is carried out in order to identify potential competitors and buyers of the service, and thus be able to establish a margin of prices that allows entering the market. In addition, a technical analysis is carried out, whose objective is to choose the best proposals in terms of equipment and supplies, which must comply with the selection criteria established for each case, based on quotations and information provided by the respective suppliers. Subsequently, a financial analysis is carried out, focusing on estimation of total costs of the project and the profits could be received, varying future conditions through the approach of different scenarios. Afterwards, project's feasibility is established for each case through financial evaluation indicators, in order to know if it is profitable or not to invest.

Finally, controls required for the implementation of the quality management system based on the NTC-ISO / IEC 17025 standard for laboratory tests are documented.

* Bachelor Thesis

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

INTRODUCCIÓN

En los últimos años las empresas petroleras han mostrado gran avance en las áreas de caracterización y evaluación de parámetros de calidad de hidrocarburos líquidos, con el objetivo no solo de dar cumplimiento a sus políticas misionales enfocadas en garantizar la calidad de sus procesos y productos, sino también de cumplir con los requerimientos estipulados en la normatividad vigente.

En aras de satisfacer dichos objetivos, la industria petrolera requiere la prestación de servicios de pruebas de laboratorio que permitan llevar un adecuado y continuo control de los parámetros de calidad, dentro de los cuales se encuentra el poder calorífico. Su determinación es un cálculo fundamental en el desarrollo de procesos industriales, que permite evaluar la energía liberada por un combustible durante la combustión, lo cual es indispensable en el diseño de equipos y en la determinación de la eficiencia y las variables operacionales que incluye un proceso. Además, proporciona información para la caracterización de combustibles líquidos y sirve como parámetro indicador de calidad en las etapas de comercialización y venta.

En base a lo mencionado anteriormente, el presente proyecto busca realizar un análisis de prefactibilidad enfocado en la implementación de la prueba de laboratorio para determinar el poder calorífico de combustibles líquidos por bomba calorimétrica bajo la norma internacional ASTM D240, dado que la Escuela de Ingeniería de Petróleos no cuenta con este ensayo, y su ejecución brindaría a los estudiantes nuevas oportunidades para desarrollar prácticas aplicadas en la industria y consolidaría la institución como líder a nivel nacional en la prestación de servicios para el sector.

Así pues, el desarrollo de este estudio se presenta en cinco capítulos; en el primero se incluye un estado del arte aplicado a las generalidades del proceso de combustión y el segundo a la determinación del poder calorífico en hidrocarburos líquidos. Posteriormente, en el tercer capítulo se identifican y cuantifican los recursos físicos necesarios para la implementación de la prueba acorde al protocolo ASTM D240. El estudio de mercado y los análisis técnicos y financieros se enseñan en el cuarto capítulo, y finalmente, la documentación de los controles para que el desarrollo del ensayo cumpla con los requisitos del sistema de gestión de calidad basado en la norma NTC ISO 17025 se muestran en el quinto capítulo.

1. COMBUSTIÓN

La combustión es un proceso químico de oxidación en el cual se libera gran cantidad de energía que se encuentra ligada químicamente³. Para que este proceso se dé se hace necesaria la presencia de un combustible, un comburente y calor (energía de activación). Una característica de esta reacción es la formación de una llama, que es la masa gaseosa incandescente que emite luz y calor, que está en contacto con la sustancia combustible⁴.

Durante un proceso de combustión los componentes que existen antes de la reacción reciben el nombre de reactivos, y los componentes que existen después de la reacción se denominan productos⁵. Cuando se habla específicamente de combustión de hidrocarburos se hace referencia a la reacción con el oxígeno, la cual da lugar a agua y dióxido de carbono. En dicha reacción se presenta la ruptura de la totalidad de los enlaces que posee la cadena (carbono-carbono e hidrógeno-carbono), y la formación de enlaces nuevos con gran estabilidad, lo que lleva al desprendimiento de mucha energía en este tipo de reacciones⁶.

Aunque la combustión sea una reacción exotérmica, su inicio puede requerir que se aporte calor hasta llegar a la temperatura de ignición, característica que depende de cada sustancia. Una vez comienza la combustión, el propio calor que desprende la reacción sirve para que esta continúe. Cabe resaltar que poner un combustible en estrecho contacto con el oxígeno no es suficiente para iniciar

³ ENOCH THULIN LABORATORY. Combustion Physics. [En línea]. Suecia: Lund University. 2015. (Recuperado en 10 de mayo de 2017.) Disponible en <http://www.forbrf.lth.se/english/about/what-is-combustion/>

⁴ DANILIN, Oscar L. Combustión. Cátedra de integración II. La Plata: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional La Plata. Departamento de ingeniería química, 1999, p.3

⁵ ÇENGEL, Yunus A; BOLES, Michael A. Termodinámica. Ciudad de México: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A, 2011. p.774. ISBN 978-607-15-0743-3

⁶ MENDEZ, Ángeles. Reactividad química de los hidrocarburos. [En línea]. 2013. (Recuperado en 8 de febrero de 2017). Disponible en <https://quimica.laguia2000.com/reacciones-quimicas/reactividad-quimica-de-los-hidrocarburos>

la combustión, por lo cual debe llevarse arriba de su temperatura de ignición. Las temperaturas de ignición mínimas aproximadas de varias sustancias del aire atmosférico son: 260°C (500 °F) para la gasolina, 400°C (752 °F) para el carbón, 580°C (1076 °F) para el hidrógeno, 610°C (1130 °F) para el monóxido de carbono y 630°C (1.66 °F) para el metano⁷.

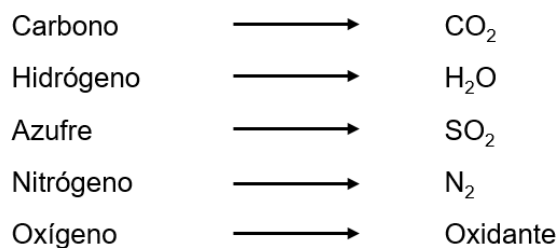
1.1. TIPOS DE COMBUSTIÓN

De acuerdo a la forma en que se produzcan las reacciones de combustión, estas pueden ser de distintos tipos:

1.1.1. Combustión completa

Conduce a la oxidación total de todos los elementos que constituyen el combustible; en el caso de hidrocarburos, se da como se muestra en la Figura 1⁸.

Figura 1. Oxidación completa de hidrocarburos



Modificado de: GARCÍA SAN JOSÉ, Ricardo. Combustión y combustibles.

⁷ ÇENGEL. Op. Cit., p.774

⁸ GARCÍA SAN JOSÉ, Ricardo. Combustión y combustibles. Teoría de la combustión. Noviembre, 2001. p.4.

1.1.2. Combustión incompleta

Se da cuando los productos de combustión contienen algo de combustible o componentes no quemados, tales como C, H₂, CO y OH. La razón principal por la cual existe combustión incompleta es por falta de oxígeno, sin embargo, también puede darse cuando en la cámara de combustión hay más oxígeno del necesario⁹.

1.2. COMBUSTIBLES

Cualquier material que puede quemarse para liberar energía recibe el nombre de combustible. La mayoría de los combustibles conocidos se componen principalmente de carbono e hidrógeno y se denotan con la fórmula general C_nH_m . Los combustibles hidrocarburos existen en todas las fases: carbón, gasolinas, gas natural, entre otros¹⁰.

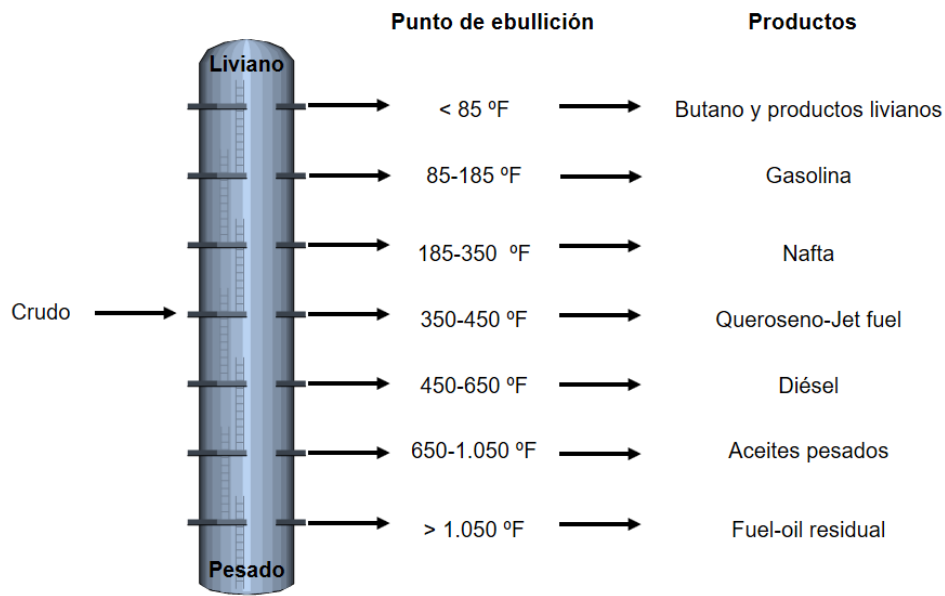
La mayor parte de los combustibles líquidos son una mezcla de numerosos hidrocarburos y se obtienen del petróleo crudo mediante destilación. Los productos livianos, tales como butano, gas licuado del petróleo-LPG (por sus siglas en inglés *liquefied petroleum gas*), gasolina y nafta, son recuperados a las más bajas temperaturas. En un rango intermedio se encuentran productos como combustible para avión (jet fuel), queroseno, diésel y combustóleo. Los productos más pesados, conocidos como fuel-oil residuales, son recuperados a temperaturas que pueden superar los 1000 °F. En la Figura 2 se muestra una

⁹ ÇENGEL. Op. Cit., p.776

¹⁰ Ibíd., p.772

unidad de destilación donde se relacionan los diferentes productos que se obtienen del crudo dependiendo de su punto de ebullición¹¹.

Figura 2. Unidad de destilación de crudo



Modificado de: U.S. Energy Information Administration

Una de las características más importantes de los combustibles hidrocarburos líquidos es su contenido energético por unidad de volumen, siendo este parámetro mayor si se le compara con el de los combustibles alternativos, tales como alcoholes y gases (Gráfica 1)¹².

¹¹ U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. Crude oil distillation and definition of refinery capacity. [En línea]. Today in energy. Washintong. 2012. (Recuperado en agosto 3 de 2017. Disponible en <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=6970>)

¹² ÇENGEL. Op. Cit., p.773

Gráfica 1. Contenido energético de combustibles alternativos contra combustibles tradicionales basados en petróleo

Combustible	Contenido energético kJ/L	Equivalencia* en gasolina L/L gasolina
Gasolina	31850	1
Diésel ligero	33170	0.96
Diésel pesado	35800	0.89
LPG (gas licuado de petróleo)	23410	1.36
Etanol	29420	1.08
Metanol	18210	1.75
CNG (gas natural comprimido)	8080	3.94
LNG (gas natural licuado)	20490	1.55

**Cantidad de combustible cuyo contenido energético es igual a la energía contenida en 1 litro de gasolina*

Modificado de: ÇENGEL, Yunus A; BOLES, Michael A. Termodinámica.

Lo anteriormente mencionado puede evidenciarse de forma clara en la industria del transporte, pues la distancia máxima que un vehículo podría recorrer al gastar un tanque lleno de combustible sería menor cuando se opere con combustibles alternativos. Además, al comparar costos, es más importante tener en cuenta el valor por unidad de energía que por unidad de volumen¹³.

¹³ ÇENGEL. Op. Cit., p.773

1.2.1. Combustibles en Colombia

1.2.1.1. Gasolina¹⁴

Es una mezcla compleja en la que se encuentran más de 200 hidrocarburos, formada por fracciones combustibles provenientes de diferentes procesos de refinación del petróleo, tales como destilación atmosférica, ruptura catalítica, ruptura térmica, alquilación, entre otros.

Las fracciones obtenidas en los procesos son tratadas químicamente para eliminar compuestos de azufre tales como sulfuros y mercaptanos que tienen un comportamiento corrosivo. Luego se mezclan de tal forma que el producto final tenga un índice antidetonante que corresponda a la especificación de la gasolina básica. El índice es una medida de la capacidad antidetonante de la gasolina y la principal característica que identifica el comportamiento de la combustión dentro del motor. Mayor octanaje indica mejor capacidad antidetonante.

Antes de su distribución, se le adiciona una sustancia química, llamada marcador, que permite obtener información sobre la procedencia del combustible sin que modifique la calidad del producto. La gasolina básica es suministrada a los distribuidores mayoristas de combustibles, los cuales luego de mezclarla con alcohol etílico combustible y un paquete de aditivos detergentes dispersantes con el fin de prevenir la formación de depósitos en el sistema de admisión de combustible de los motores, la pueden suministrar al usuario final como gasolina oxigenada siempre que cumpla con las especificaciones establecidas en la Resolución 1180 del 21 de junio de 2006.

¹⁴ ECOPETROL S.A. Gasolina motor corriente/extra. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/Combustibles1.html

En Colombia se comercializan dos tipos de gasolina: corriente y extra (o premium), las cuales se producen en las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena. La gasolina se entrega a distribuidores mayoristas en los puntos de salida del sistema de poliductos, por bote o buque-tanque.

1.2.1.2. Diésel¹⁵

Es una mezcla de hidrocarburos constituida por fracciones combustibles provenientes de procesos de refinación del petróleo, tales como destilación atmosférica, ruptura catalítica, hidrotratamiento e hidrocrackeo de gasóleos, y biodiesel (hasta 4% vol.), obtenido por trans-esterificación del aceite de palma con metanol.

Este producto es suministrado a los distribuidores mayoristas de combustibles, los cuales luego de mezclarlo con Biodiesel para aumentar su contenido hasta B8/B10 lo suministran al usuario final, siempre que cumpla con las especificaciones establecidas por la Resolución 90963 del 10 de septiembre de 2014.

También puede ser usado para generar energía mecánica o eléctrica, y en quemadores de hornos, secadores y calderas.

Se produce en las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena. Además, este producto también puede ser importado para completar los requerimientos de la demanda nacional. El diésel se entrega a otros refinadores o importadores, a

¹⁵ ECOPETROL S.A. Diésel B2/B4. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/Combustibles4.html

distribuidores mayoristas o a grandes consumidores no intermediarios conforme con la cadena de combustibles líquidos del país.

1.2.1.3. Queroseno¹⁶

El queroseno es un destilado medio, proveniente de la destilación atmosférica del petróleo, consiste en una mezcla homogénea de hidrocarburos esencialmente libres de agua y de compuestos ácidos o básicos. Se utiliza como combustible en estufas domésticas, quemadores de hornos y secadores industriales. Se produce en las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena, y se entrega a distribuidores mayoristas en los puntos de salida del sistema de poliductos.

1.2.1.4. Combustóleo¹⁷

También conocido como Fuel oil No. 6, es un combustible elaborado a partir de productos residuales que se obtienen de los procesos de refinación del petróleo.

Se utiliza típicamente en procesos de combustión para calentamiento, y como materia prima para la fabricación de bunkers. Este producto no puede ser usado como combustible en quemadores, hornos, secadores y calderas o demás

¹⁶ ECOPETROL S.A. Queroseno. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20Queroseno%20VSM-01.pdf

¹⁷ ECOPETROL S.A. Combustóleo (Fuel oil No. 6). [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20Combustoleo%20VSM-01.pdf

equipos y plantas que generen emisiones atmosféricas que puedan afectar la calidad del aire.

En Colombia se produce en la refinería de Barrancabermeja, y se entrega únicamente en carrotanques.

1.2.1.5. Jet A1¹⁸

También conocido como turbocombustible, turbosina o JP-1A, es un destilado medio proveniente de la destilación atmosférica del petróleo, con características especiales de calidad, que es tratado químicamente para eliminar compuestos azufrados tales como sulfuros, mercaptanos y ácidos nafténicos, que pueden tener un comportamiento corrosivo.

Está diseñado para utilizarse como combustible para aviones con turbinas tipo propulsión o jet. Se produce en las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena y se entrega a distribuidores mayoristas y estaciones de servicio de aviación en los puntos de salida del sistema de poliductos, carrotanques o buque-tanques.

1.2.1.6. Diésel marino¹⁹

¹⁸ ECOPETROL S.A. Jet A1. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20JET%20A-1%20VSM-01.pdf

¹⁹ ECOPETROL S.A. Diésel marino. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20Diesel%20marino%20VSM-01.pdf

Es una mezcla de hidrocarburos formada por fracciones combustibles provenientes de diferentes procesos de refinación del petróleo tales como destilación atmosférica y ruptura catalítica. Este producto puede contener pequeñas cantidades de aditivos que mejoran su desempeño y un marcador, que permite obtener información sobre la procedencia del combustible sin modificar su calidad.

Se emplea como combustible en motores tipo diésel de embarcaciones marinas o fluviales. También puede usarse para generar energía mecánica y eléctrica, y en quemadores de hornos, secadores y calderas. Se produce en la refinería de Cartagena y se entrega a distribuidores mayoristas o estaciones de servicio marítimas por bote o buque-tanque.

1.2.1.7. Base pesada para IFO's²⁰

La base pesada para IFOs* está constituida por la fracción más pesada obtenida de la destilación al vacío del crudo reducido (fondos de la destilación atmosférica del petróleo). Normalmente son hidrocarburos pesados de color oscuro y pueden ser líquidos o sólidos.

Se emplea como materia prima para la producción de combustible de embarcaciones marinas o fluviales. También puede usarse para la producción de combustibles industriales para generar energía mecánica y eléctrica, y en quemadores de hornos, secadores y calderas. Es importante mencionar que la

²⁰ ECOPETROL S.A. Base pesada para Ifos. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ficha-Tecnica-Base-Pesada-IFOS.pdf

* El IFO (*Intermediate Fuel Oil*) es un combustible marino perteneciente al grupo de los fuels residuales utilizado por buquetanques en el mercado internacional.

base producida por Ecopetrol no debe usarse directamente, sino que es un compuesto utilizado para la producción de IFOs.

Se produce en la refinería de Barrancabermeja y se entrega a carrotanques en el llenadero de la refinería.

1.2.1.8. Gasolina de aviación²¹

Conocida también como avigás (Av Gas), es un combustible con alto índice de antidetonante (alto octanaje), producido a partir de gases de refinería que se hacen reaccionar con un catalizador y se le adicionan compuestos aromáticos con el fin de alcanzar un octanaje como mínimo de cien. Se emplea en aviones con motor de pistón.

Se entrega a distribuidores mayoristas y estaciones de servicio de aviación en carrotanques. Se produce en la refinería de Barrancabermeja.

1.3. COMBURENTES

Se conoce como comburente a aquella especie química capaz de oxidar un combustible. El oxígeno presente en el aire es el comburente más común²².

²¹ ECOPETROL S.A. Gasolina de aviación grado 100. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20Gasolina%20aviacion%20grado%20100%20VSM-01.pdf

²² TORRELLA, Enrique. La combustión. [En línea]. Departamento de termodinámica aplicada. Unversitat Politècnica de València. 2014. (Recuperado en 10 de noviembre de 2016). Disponible en <http://www.upv.es/entidades/DTRA/infoweb/dtra/info/U0675362.pdf>

La cantidad mínima de aire necesaria para la combustión completa de un combustible recibe el nombre de *aire estequiométrico* o *teórico*. Un proceso de combustión con cantidad de aire menor será incompleto. Por su parte, la cantidad de aire en exceso respecto al aire estequiométrico se llama *exceso de aire*²³.

Si dos reactivos participan en una reacción y uno de ellos es considerablemente más costoso que el otro, es común que el reactivo más económico se utilice en exceso; esto se justifica a efecto de aumentar la conversión del reactivo más caro. En consecuencia, como el reactivo más económico es el aire, las reacciones de combustión se realizan con más aire del que se necesita, para asegurarse en proporcionar oxígeno en cantidad estequiométrica al combustible²⁴.

²³ ÇENGEL. Op. Cit., p.777

²⁴ DANILIN. Op. Cit., p.9

2. PODER CALORÍFICO

El poder calorífico o calor de combustión es la energía liberada cuando una sustancia experimenta combustión completa a presión constante y en un ambiente usualmente con exceso de oxígeno. Cuanto mayor sea el poder calorífico, mayor será la energía contenida²⁵.

La mayoría de los combustibles, como se citó anteriormente, contienen hidrógeno, que al quemarse produce vapor de agua. En el proceso de enfriamiento de los productos se condensa cierta cantidad de ese vapor de agua lo cual produce una liberación de calor.

El poder calorífico de un combustible depende de la cantidad de vapor de agua que se condensa durante el enfriamiento de los productos de la combustión, y varía entre un valor mínimo, cuando no hay condensación alguna, y un valor máximo, cuando hay condensación completa. Por tanto, la diferencia entre estos dos poderes caloríficos es igual al producto de la cantidad de agua y la entalpía de vaporización del agua a temperatura constante²⁶.

El poder calorífico obtenido sin condensación de los vapores, cuando el agua resultante de la combustión se supone en estado de vapor con los productos de la combustión, se llama **poder calorífico inferior (PCI) o neto**. El valor calorífico máximo obtenido cuando la condensación de los vapores es completa, es decir, el agua resultante de la combustión se condensa en los productos, se llama **poder calorífico superior (PCS) o bruto**²⁷.

²⁵ NEUTRIUM, Heat of combustion. [En línea]. Heat transfer. 2014. (Recuperado en 14 enero 2017.) Disponible en https://neutrium.net/heat_transfer/heat-of-combustion/

²⁶ ÇENGEL. Op. Cit., p.79

²⁷XV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM (23-25, SEPTIEMBRE, 2009: Obregón-Sonora, México). Memorias. Sevilla: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2009, 5p.

Son raras las condiciones de combustión que dan lugar a uno u otro valor extremo. Cuando los productos se enfrían a la temperatura original, el monto de condensación, y, por lo tanto, el poder calorífico depende de la relación de aire a combustible original, la humedad del aire de combustión, la temperatura del aire y la presión barométrica.

A partir de esto y al tener tantas variables, se entiende que, para cada combustible dado, el proceso de combustión tiene su propio valor de poder calorífico y que, por consiguiente, debe ser determinado para las condiciones de cada caso²⁸.

2.1. DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO

El poder calorífico es una propiedad importante que normalmente es utilizada en la caracterización de combustibles y en el diseño de equipos, pues no sólo permite evaluar la cantidad de energía que se entrega en la combustión, sino que también es un parámetro fundamental en la eficiencia de procesos y en la determinación de variables operacionales.

Así pues, el cálculo del poder calorífico es una parte fundamental en el desarrollo de cada uno de los procesos anteriormente mencionados, por lo cual se presentan tres formas para determinarlo:

2.1.1. Teóricamente

Se obtiene a partir del cálculo de la entalpía de formación (H), que se define como la cantidad de energía necesaria para formar un compuesto a partir de sus elementos constitutivos. Es muy útil para cálculos de poder

²⁸ ÇENGEL. Op. Cit., p.773

calorífico de combustibles, mezclas de combustibles y combustiones incompletas, debido a que representa la energía química de un elemento o compuesto en algún estado de referencia.

El poder calorífico del combustible es igual al valor absoluto de la diferencia entre la entalpía de formación de los reactivos y productos, como se muestra en las siguientes expresiones (Ecuaciones 1 y 2)²⁹.

$$H_c = H_{\text{productos}} - H_{\text{reactivos}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Poder calorífico} = |H_c| \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

H_c: diferencia de entalpía de formación entre productos y reactivos

2.1.2. Empíricamente

Se determina a partir de la relación entre la energía liberada por un combustible durante su combustión (poder calorífico) y las proporciones en peso de cada uno de sus componentes (carbono, hidrogeno, oxígeno y azufre). Debido a esto diferentes autores han publicado en sus investigaciones correlaciones a través de las cuales es posible determinar el poder calorífico en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos³⁰.

²⁹ ÇENGEL. Op. Cit., p.783

³⁰ Universidad de Santiago de Chile. Guía de laboratorio para la determinación del poder calorífico. [En línea]. Sistemas térmicos e hidráulicos. Facultad de ingeniería mecánica. 2002. (Recuperado en 14 enero 2017) Disponible en http://www.dimecusach.cl/index.php?option=com_docman&view=docman&Itemid=239

A continuación, se presentan las correlaciones más utilizadas:

- Relación entre poder calorífico superior e inferior: se define por las ecuaciones 3, 4 y 5.

$$PCI = PCS - 597 * G \quad \text{Ecuación 3}$$

$$G = 9H + H2O \quad \text{Ecuación 4}$$

$$PCI = PCS - 597 * (9H + H2O) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

PCS: poder calorífico superior [kcal/kg]

PCI: poder calorífico inferior [kcal/kg]

597: calor de condensación del agua a 100° [kcal/kg agua]

G: % de agua en peso formado por la combustión [kg agua/kg combustible]

9: kg de agua formada al oxidar 1 kg de H₂

H: % de H₂ en el combustible

H₂O: porcentaje de H₂O de humedad en el combustible

- Combustibles líquidos y sólidos (Dulong)³¹: se define por las ecuaciones 6 y 7.

$$PCS = 8100C + 34400 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500S \quad \text{Ecuación 6}$$

$$PCI = 8100C + 3400 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500S - 600G \quad \text{Ecuación 7}$$

³¹ NZIHOU, Jean Fidele, et al. Using Dulong and Vandralek Formulas to Estimate the Calorific Heating Value of a Household Waste Model. [En línea]. International Journal of Scientific & Engineering Research. 2014. (Recuperado en 23 enero 2017.) Disponible en <https://www.ijser.org/researchpaper/Using-Dulong-and-Vandralek-Formulas-to-Estimate.pdf>

Donde:

PCS: poder calorífico superior [kcal/kg]

PCI: poder calorífico inferior [kcal/kg]

C, H, O, S: fracción en peso de carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre [kg/g combustible]

G: fracción en peso de agua formada [kg agua / kg combustible]

W: humedad

Las correlaciones presentadas permiten obtener un valor aproximado del poder calorífico superior, en concordancia con datos de laboratorio obtenidos por métodos experimentales. Por tal razón, el método empírico ofrece una alternativa para cuando se cuenta con información de las fracciones de los componentes y no se pueda realizar una medición directa del poder calorífico por el equipo de laboratorio (bomba calorimétrica).

2.1.3. Experimentalmente

Se realiza por medio de un calorímetro, para combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. La energía calórica que se libera durante la combustión del hidrocarburo es transferida a un fluido que rodea una bomba de calorimétrica³².

La bomba calorimétrica permite la determinación del poder calorífico específico de una muestra, llevando a cabo su combustión en atmósfera de oxígeno. Para ello es necesario conocer la capacidad calorífica del sistema, la masa de muestra y el incremento de temperatura que origina la combustión en la celda de medición del calorímetro. En ocasiones es necesario corregir el valor de poder calorífico mediante la determinación de la denominada energía de externos, en la que

³² USACH. Op. Cit.

intervienen los medios de ignición, las sustancias auxiliares a la combustión y la formación y disolución de ácidos nítrico y sulfúrico, que pueden ser cuantificados mediante valoración o conociendo el análisis elemental de la muestra³³.

El poder calorífico de un combustible se determina en la bomba calorimétrica, colocando una muestra del combustible en un crisol; en este crisol se pone una bobina de alambre fino que genera la chispa para la combustión. La bomba se carga con oxígeno a presión y cuando pasa una corriente eléctrica por el alambre, el combustible se enciende.

La bomba se encuentra rodeada por una camisa de agua que absorbe el calor generado por la combustión. La bomba tiene también una camisa exterior y un espacio de aire alrededor del recipiente o camisa de agua central para minimizar las pérdidas de calor al ambiente. Aunque el agua del recipiente interior absorbe la mayor porción del calor, este calor no es el poder calorífico del combustible por las siguientes razones:

- La bomba en sí absorbe cierto calor
- Hay intercambio de calor con la camisa externa
- El alambre de ignición libera cierta energía
- Los productos de combustión no se enfrían a la temperatura original.
- La formación de ácido nítrico y ácido sulfúrico, debido a que la combustión se produce en oxígeno y se alcanzan altas temperaturas.

El equivalente del agua de la bomba es un dato suministrado por el fabricante. Es la cantidad de agua que tiene la misma capacidad térmica de la bomba y su recipiente o camisa interior. Cuando se duda de este valor, la bomba debe ser

³³ Universidad de Alicante. Análisis de poder calorífico (Bomba calorimétrica). [En línea]. Instrumentación científica: unidad de análisis térmicos. (Recuperado en 14 enero 2017) Disponible en <https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-analisis-termico/analisis-de-poder-calorifico-bomba-calorimetrica.html>

normalizada, lo cual se hace quemando en ella un compuesto de valor conocido (ácido benzoico)³⁴.

Por medio de esta prueba se obtiene el poder calorífico superior, debido a que el vapor de agua producido durante la combustión se condensa por las bajas temperaturas al finalizar la reacción y la alta presión con la cual se lleva a cabo el ensayo. Como no se puede medir en el laboratorio la cantidad de agua presente después de la combustión, es imposible el cálculo del poder calorífico inferior de forma directa³⁵.

Finalmente, la normatividad implementada para la realización de la prueba permite que esta pueda ejecutarse por varios métodos (adiabático, isotérmico, isoperibólico), en los cuales cambian las condiciones de operación que dependen del tipo de calorímetro utilizado.

Entre los tipos de calorímetros más utilizados en encuentran:

2.1.3.1. Calorímetro adiabático

En este equipo la temperatura en la camisa durante toda la prueba es igual a la temperatura en la bomba de combustión, con el fin de obtener un «aislamiento ideal». Las influencias ambientales deben minimizarse mediante climatización, a fin de mantener prácticamente constante la temperatura ambiente. A diferencia de lo que ocurre con el calorímetro isoperibólico, no se requieren cálculos de corrección³⁶.

³⁴ USACH. Op. Cit.

³⁵ Universidad Nacional Experimental de Táchira. Guía de laboratorio: Bomba calorimétrica. [En línea]. Decanato de investigación, Ciencias exactas. (Recuperado en 14 enero 2017) Disponible en <http://www.unet.edu.ve/~rarevalo/Documentos/BOMBA%20CALORIMETRICA.doc>

³⁶ PARR INSTRUMENT COMPANY. Calorímetro de bomba de oxígeno: Métodos de calorimetría. [En línea]. (Recuperado en 20 febrero 2017) Disponible en <http://www.parrinst.com/es/products/oxygen-bomb-calorimeters/design-features/>

2.1.3.2. Calorímetro isotérmico

En el método isotérmico, la temperatura de la camisa permanece constante por lo que se presenta gran intercambio de calor ente la bomba de combustión y la camisa. El flujo de calor es debido a la diferencia de temperatura existente entre la bomba y la camisa durante el proceso de combustión; la magnitud de esta diferencia de temperatura depende de la cantidad de calor liberado por unidad de tiempo, y de las conductividades térmicas del medio³⁷.

2.1.3.3. Calorímetro isoperibólico

En el calorímetro isoperibólico, la temperatura de la camisa se mantiene constante mientras que la temperatura en la bomba de combustión se eleva a medida que el calor se libera. En este montaje, un controlador basado en un microprocesador registra la temperatura de la bomba y de la camisa, y realiza las correcciones necesarias por transferencia de calor que resultan de las diferencias entre estas dos temperaturas. Dichas correcciones se aplican continuamente a lo largo de la prueba, en vez de una corrección final basada en mediciones de antes y después de la prueba³⁸.

2.1.3.4. Normas para determinar poder calorífico.

A continuación, se presenta una descripción de los protocolos ASTM que pueden implementarse en la determinación del poder calorífico de

³⁷ IKA. Catálogo calorímetros. [En línea]. (Recuperado en 20 febrero 2017) Disponible en <http://pdf.medicaexpo.es/pdf/ika/calorimeters/70924-156832.html>

³⁸ *Ibid.*, p. 13.

hidrocarburos líquidos por medio de bomba calorimétrica. El desarrollo del proyecto se basará en la puesta en marcha de la norma guía ASTM D 240, cuyas especificaciones y procedimiento se mostrarán en el siguiente capítulo.

Gráfica 2. Protocolos ASTM para determinación de poder calorífico con bomba calorimétrica

Norma	Descripción	Aplicación
ASTM D240	<p>Permite determinar el calor de combustión, quemando una muestra de combustible de peso conocido en una bomba calorimétrica de oxígeno bajo condiciones controladas. Para su cálculo se deben tener en cuenta las medidas de temperatura (antes, durante y después de la combustión), y las correcciones termoquímicas y por transferencia de calor.</p> <p>El procedimiento se puede realizar utilizando un calorímetro adiabático (sin pérdida de energía) o isotérmico (temperatura constante)³⁹.</p>	Gasolinas, querosenos, combustóleos, diésel y combustibles de aviación.
ASTM D4809	<p>Permite determinar el calor de combustión por unidad de masa, mediante el uso de una bomba calorimétrica. El cálculo del poder calorífico se basa en el aumento de temperatura corregido y la masa de la muestra.</p> <p>Se encuentra diseñado para el uso de combustibles de aviación, cuando la diferencia entre las determinaciones del duplicado es del orden del 0.2%. Las pruebas de normalización o cálculo de energía equivalente deben asegurar que la desviación estándar en sus resultados siempre sea mayor a 0.1%.</p>	Combustibles de aviación, sustancias volátiles y no volátiles.

³⁹ ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D240. Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (01, enero, 2017). Pensilvania, 2017

	Puede realizarse por medio de dos métodos: isoperibólico (temperatura constante) y adiabático (no transferencia de energía), que dependen del ajuste que se le haga a la temperatura de operación ⁴⁰ .	
ASTM D4868	<p>Permite la estimación del calor combustión neto y bruto. Es utilizado en casos en los que no se cuente con una determinación experimental del calor de combustión y no pueda realizarse satisfactoriamente.</p> <p>La determinación del calor de combustión de un combustible se obtiene apartir de correlaciones empíricas, que incluyen el cálculo de la densidad y el contenido de azufre, agua y cenizas, por medio de ensayos experimentales ASTM⁴¹.</p>	Combustibles para quemadores y diésel (que no contienen compuestos no hidrocarburos)
ASTM D5865	<p>Permite la estimación del calor combustión bruto del carbón y el coque mediante el uso de un calorímetro isoperibolico o adiabático que opera a presión constante.</p> <p>Para la determinación del calor de combustión se quema una cantidad considerable de la muestra a analizar bajo condiciones operacionales establecidas. El cálculo del poder calorífico se basa en el aumento de tempetura corregido registrado y la masa de la muestra.</p> <p>El cálculo del valor calorífico del coque y el carbón, no sólo es utilizado como parámetro para efectos de pago, sino también para determinar si el carbón cumple con los requisitos reglamentarios (contenido de azúfre) de</p>	Carbón y coque

⁴⁰ ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D4809. Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels By Comb Calorimeter (Precision Method). Pensilvania, 2013

⁴¹ ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D4868. Standard Test Method for Estimation of Net and Gross Heat of Combustion of Hydrocarbon Burner and Diesel Fuels (01, enero, 2017). Pensilvania, 2017

	los combustibles industriales, evaluar eficiencias de procesos y clasificación de carbones ⁴² .	
ASTM D4529	<p>Este método de ensayo es completamente empírico y utilizado como guía en los casos en que no se dispone de una determinación experimental del calor de combustión y no pueda hacerse satisfactoriamente.</p> <p>El cálculo del calor neto de combustión para un combustible, se logra a partir de una ecuación cuadrática que se obtuvo mediante el método de mínimos cuadrados a partir de medidas precisas sobre combustibles con características específicas. Para su determinación es necesario contar con datos experimentales de pruebas basadas en protocolos ASTM, donde se calcule la temperatura de anilina, la densidad y el contenido de azufre en peso de la muestra⁴³.</p>	Derivados de procesos de refinación de crudo convencional como: gasolinas de aviación (grado UL82, UL87, 90, 91, UL91, 94, UL94, 100/100LL/100VLL) o turbinas de aviones (Jet B, JP-4, JP-5, JP-8, Jet A, Jet A1)
ASTM D3338	Este método permite determinar el calor de combustión a partir de correlaciones empíricas que relacionan propiedades como: el porcentaje en volumen de los compuestos aromáticos, la densidad y la volatilidad del combustible. Es utilizado como guía en los casos en que la determinación experimental del calor de combustión no esté disponible o no se pueda hacer satisfactoriamente. Requiere el cálculo de una ecuación única para todos los combustibles de aviación con una precisión equivalente a la de este método de ensayo. A diferencia del método de ensayo D4529, este método no requiere el cálculo de la temperatura del punto de anilina ⁴⁴ .	Gasolina de aviación grados 100/130 y 115/145, querosoles, alquilatos y combustibles especiales de WADC, hidrocarburos puros-parafinas, naftenos y aromáticos.

⁴² ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D5865. Standard Test Method for Estimation of Net and Gross Heat of Combustion of Hydrocarbon Burner and Diesel Fuels (10, enero, 2013). Pensilvania, 2013

⁴³ ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D4529. Standard Test Method for Estimation of Net Heat of Combustion of Aviation Fuels. (01, enero, 2017). Pensilvania, 2017

⁴⁴ ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3338. Standard Test Method for Estimation of Net Heat of Combustion of Aviation Fuels. (01, mayo, 2014). Pensilvania, 2014

2.2. PODER CALORÍFICO EN COMBUSTIBLES-REQUISITOS

El poder calorífico es uno de los parámetros más importantes para la evaluación de la calidad de un combustible, dado que permite conocer la eficiencia (en cuanto a la cantidad energía liberada) de un combustible en un proceso de combustión. Por esta razón, su determinación se convierte en una forma de control de calidad para los combustibles comercializados por parte de las empresas del sector de los hidrocarburos.

A continuación, se presentan los valores de referencia del poder calorífico inferior para los combustibles más utilizados en el transporte (especificados en el capítulo anterior), tomados del balance energético Nacional de la UPME⁴⁵:

Gráfica 3. Poder calorífico de referencia para combustibles

Producto	API	Poder calorífico BTU/GAL	Poder calorífico MBTU/Bls	Poder calorífico MJ/Bls
Gasolina regular	59.30	117943	4.95	5251
Gasolina extra	56.00	119639	5.03	5331
Avigas	67.20	113880	4.78	5072
Jet-A1	45.17	125207	5.25	5570
GLP	ND	83928	3.53	3737
Queroseno	45.17	125208	5.25	5570
ACPM	32.54	131702	5.53	5859
Combustóleo(diésel)	5.50	145607	6.12	6487
Asfalto	7.21	144728	6.08	6447

*ND: no definido

Modificado de: UPME, Balance energético nacional

⁴⁵ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Balance energético nacional 1975-2006. Bogotá D.C. 2007. p.12

Cabe resaltar que, dentro de los estándares de calidad exigidos en la normatividad colombiana no se contempla el cumplimiento del poder calorífico como un parámetro requerido para la comercialización de la mayoría de los combustibles, a excepción del JET A1, el cual debe cumplir con los requisitos descritos en la norma NTC 1899 (de acuerdo con la resolución MME 180790 de 2002⁴⁶).

Así pues, para el JET A1 el calor de combustión exigido es de 42.6 MJ/Kg, el cuál debe determinarse bajo la aplicación de los protocolos ASTM D4529, D3338 o D4809.

⁴⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Resolución No. 180790 (31, julio, 2002). Por la cual se establecen todos los requisitos de calidad, de almacenamiento, transporte y suministro de los combustibles de aviación para motores tipo turbina y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., 2002. p.1-5.

3. NORMA ASTM D-240⁴⁷

La aplicación de esta prueba permite determinar el poder calorífico de hidrocarburos líquidos en un amplio rango de volatilidad, el cual varía desde destilados livianos hasta combustibles residuales. Puede aplicarse bajo condiciones normales a gasolinas, querosenos, combustóleos, diésel y combustibles de aviación.

Es importante resaltar que esta norma no proporciona directrices relacionadas con la seguridad durante el desarrollo de la prueba, sino que es responsabilidad de los usuarios establecer las prácticas apropiadas en cuanto a salud y seguridad antes de implementarla; por esta razón en el capítulo 5 del presente libro se aborda el tema completo relacionado con el sistema de gestión que debe aplicarse.

3.1. CONSIDERACIONES

Para la determinación del poder calorífico bruto en este procedimiento, se debe tener en cuenta que la temperatura inicial, es decir, la temperatura del combustible y el oxígeno debe ser igual a la temperatura final de los productos, siendo esta 25 °C. En cuanto al poder calorífico neto, se maneja una presión constante de 101.325 kPa, y de igual forma 25 °C como temperatura inicial y final.

La relación entre los poderes caloríficos está dada por la siguiente expresión (Ecuación 8):

⁴⁷ ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D240. Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (01, enero, 2017). Pensilvania, 2017

$$Q_{n @ 25\text{ }^{\circ}\text{C}} = Q_{b @ 25\text{ }^{\circ}\text{C}} - 0.2122xH$$

Ecuación 8

Donde:

H: % en peso de hidrógeno presente en la muestra

Q_n: calor de combustión neto [MJ/kg]

Q_b: calor de combustión bruto [MJ/kg]

3.2. RESUMEN DE LA PRUEBA

El calor de combustión es determinado en esta prueba quemando una muestra de combustible de peso conocido en una bomba calorimétrica de oxígeno bajo condiciones controladas. Para su cálculo se deben tener en cuenta las medidas de temperatura (antes, durante y después de la combustión), y las correcciones termoquímicas y por transferencia de calor.

La importancia del poder calorífico de un combustible radica en conocer la energía disponible del mismo, con el fin aplicarla eficientemente en los equipos de procesos. De igual manera, es una propiedad crítica si se tiene en cuenta la masa del combustible, dado que la idea es obtener energía utilizando la menor cantidad de recurso posible.

3.3. EQUIPOS

Gráfica 4. Equipos requeridos-Norma ASTM D240

Equipo	Descripción
Bomba de oxígeno	Debe tener un volumen interno de 350 mL ± 50 mL. Todas las partes deben estar construidas con materiales que no afecten el proceso de combustión o los productos, de forma tal que lleguen a aportar entradas de calor al sistema. La bomba debe estar diseñada para recuperar todos los productos líquidos de la combustión a través el lavado de las superficies internas, no presentar fugas de gas y resistir presiones hidrostáticas de 3000 psi a temperatura ambiente.
Calorímetro	Preferiblemente debe estar hecho de metal (cobre o latón). Su tamaño debe ser tal que la bomba de oxígeno pueda sumergirse completamente en él. Debe contar con un dispositivo para agitar el agua (que genere la mínima entrada de calor), con el fin de alcanzar una temperatura uniforme en el calorímetro, la cual debe ser igual a la medida en la camisa y en la sala.
Camisa	Debe contar con un sistema de control de temperatura, que permita mantenerla constante (método isotérmico) o ajustarla rápidamente a la temperatura del calorímetro (método adiabático). Esta camisa debe ser construida de tal forma que el agua evaporada no se condense en el calorímetro
Termómetros	Las temperaturas en el calorímetro y la camisa deben ser medidas con los siguientes termómetros, o con una combinación de los mismos: <ul style="list-style-type: none"> • Termómetro ASTM para bomba calorimétrica • Termómetro diferencial Beckmann • Termómetro calorimétrico de resistencia tipo platino
Dispositivo de sincronización	Puede ser un reloj o cualquier otro dispositivo capaz de medir el tiempo a 1 segundo (usado en calorímetros de camisa isotérmica)
Porta-muestras	Para muestras no volátiles se deben utilizar crisoles de platino, cuarzo o una aleación base metal (solo son aceptables si después de algunos disparos su peso no cambia de manera significativa)
Alambre de ignición	Se deben usar 100 mm de alambre de hierro calibre Nº 34 B&S o de resistencia cromel C. Es posible utilizar longitudes menores si siempre es la misma para todas las pruebas incluyendo la estandarización.
Circuito de ignición	Se requiere el flujo de una corriente alterna o continua de 6 a 16 voltios, con un amperímetro o una luz piloto que indique cuando la corriente esté fluyendo.
Sala de prueba	La sala en la cual se va a operar el calorímetro debe estar libre de corrientes de aire y sin exposición a los rayos del sol o a cambios de temperatura repentinos. Las instalaciones deben ser adecuadas en iluminación, calefacción y ventilación.

3.4. REACTIVOS

Gráfica 5. Reactivos requeridos-Norma ASTM D240

Reactivo	Descripción
Ácido benzoico	Debe ser comprimido en tabletas o pellets antes de pesarse. El calor de combustión de estos pellets es utilizado como estándar (por comparación con muestras del <i>National Bureau of Standards</i>), y puede ser obtenido comercialmente.
Solución de hidróxido de sodio	Se deben disolver en agua 3.5 g de hidróxido de sodio (NaOH) y diluir a 1 L. Estandarizar con ftalato ácido de potasio y ajustar a 0.0866 mol/L.
Solución de carbonato de sodio	Se deben disolver en agua 3.84 g de carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃) y diluir a 1 L. Estandarizar con ftalato ácido de potasio y ajustar a 0.03625 mol/L.
Cinta de presión sensitiva	Cinta adhesiva de 38 mm de ancho, libre de cloro y azufre.
Cápsulas de gelatina/Aceite mineral	Se utilizan en pruebas con combustibles volátiles.
Indicador naranja de metilo/rojo de metilo	Se utiliza para realizar la titulación por formación de ácidos.
Oxígeno	El suministro puede ser continuo o por bala con regulador.
2,2,4-Trimetilpentano (isooctano)	Se utiliza para estandarización con combustibles volátiles.

3.5. ESTANDARIZACIÓN

3.5.1. Determinar la energía equivalente del calorímetro

En promedio no menos de seis pruebas usando ácido benzoico. Estas pruebas pueden estar separadas por períodos no menores a tres días. No se debe usar menos de 0.9 g ni más de 1.1 g de ácido benzoico estándar. Se debe determinar el calor de combustión y realizar las correspondientes correcciones por temperatura y ácidos, y aplicar la Ecuación 9:

$$W = \frac{(Q \cdot g + e_1 + e_2)}{t} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

W: energía equivalente del calorímetro [MJ/°C]

Q: calor de combustión del ácido benzoico estándar [MJ/g]

g: peso de la muestra de ácido benzoico estándar [g]

t: aumento de temperatura corregido

e₁: corrección por calor de formación de ácido nítrico [MJ]

e₂: corrección por calor de combustión del alambre de ignición [MJ]

Se deben repetir las pruebas de estandarización después de cambiar cualquier parte del calorímetro, y ocasionalmente como revisión del equipo y de la técnica de operación.

3.5.2. Revisión del calorímetro para usar con combustibles volátiles

Usar 2,2,4-Trimetilpentano para determinar si los resultados obtenidos están acordes con el valor certificado (47788 MJ/kg) y dentro de la repetibilidad del método. Si los valores no están dentro del rango, se debe cambiar la técnica de manejo de las muestras; de no ser posible, o en caso de no corregir el error, se deben correr series de pruebas usando 2,2,4-Trimetilpentano para establecer la energía equivalente a usar con combustibles volátiles.

3.5.3. Calor de combustión de la cinta de presión sensitiva o cápsula de gelatina/aceite mineral

Determinar el calor de combustión de la cinta de presión sensitiva (1.2 g) o de la cápsula de gelatina/aceite mineral (0.5 g). Se deben realizar por lo menos tres determinaciones y calcular el calor combustión con la Ecuación 10:

$$Q_c = \frac{(\Delta t * W - e_1)}{1000a} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

Q_c : calor de combustión de la cinta de presión sensitiva o de la cápsula de gelatina/aceite mineral [MJ/kg]

Δt : aumento de temperatura corregida

W : energía equivalente del calorímetro [MJ/°C]

e_1 : corrección por calor de formación de ácido nítrico [MJ]

a : masa de la cinta de presión o de la cápsula de gelatina/aceite mineral [g]

Se deben promediar los resultados y volver a determinar el calor de combustión de la cinta o de la cápsula de gelatina/aceite mineral cada vez que se inicie una nueva corrida.

3.6. PROCEDIMIENTO

3.6.1. Peso de la muestra

Se debe controlar el peso de la muestra de tal forma que el aumento de temperatura producido por su combustión sea igual al de 0.9 g o 1.1 g de ácido benzoico. Se debe pesar la muestra al 0.1 mg más cercano.

En caso de conocer una aproximación del calor de combustión de la muestra, el peso requerido puede ser estimado por la Ecuación 11:

$$m = \frac{26.454}{Q_s} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

m: masa de la muestra [g]

Q_s: calor de combustión conocido [MJ/kg]

Algunos combustibles contienen agua y material particulado (cenizas), que pueden alterar los valores del calorímetro. Si el poder calorífico es requerido para una muestra de combustible limpio, se debe filtrar la muestra antes de la prueba con el fin de remover el agua libre y las cenizas insolubles.

Para fluidos de alta volatilidad, las pérdidas se reducen con el uso de cinta, cápsulas de gelatina o aceite mineral.

3.6.1.1. Cinta sensitiva de presión

Recubre la parte superior del recipiente para proporcionar un sello hermético, y a su vez permite el llenado del vaso con la muestra de combustible volátil, minimizando de esta manera las pérdidas de componentes livianos. Se debe pesar el recipiente con la cinta, y posteriormente el recipiente con la cinta y la muestra. El volumen puede estimarse como se muestra en la Ecuación 12:

$$v = \frac{W*0.00032}{Q*D} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

V= volumen de la muestra a ser usada [mL]

W= energía equivalente del calorímetro [J/°C]

Q= calor de combustión aproximado de la muestra [MJ/kg]

D= densidad [kg/m³]

3.6.1.2. Cápsula de gelatina/aceite mineral

Pesar el recipiente y la cápsula. Añadir la muestra a la cápsula y volver a pesar el recipiente, la cápsula y la muestra. Si se espera una

combustión pobre, se deben añadir gotas de aceite mineral en la cápsula y volver a pesar.

3.6.2. Agua en la bomba

Se debe añadir 1 mL de agua a la bomba.

3.6.3. Oxígeno

La bomba se debe cargar con oxígeno a 3 MPa (30 atm) y a temperatura ambiente, con la muestra y el fusible en su lugar. No se debe purgar la bomba para remover el aire atrapado. Se debe tener cuidado con no sobrecargar la bomba, dado que si se exceden los 4 MPa no se puede llevar a cabo la combustión; existe peligro de explosión violenta de la bomba.

La presión inicial del oxígeno puede estar desde 2.5 MPa a 3.5 MPa, siempre que se utilice la misma presión para todas las pruebas, incluyendo la estandarización.

3.6.4. Agua en el calorímetro

La temperatura del agua debe ser ajustada antes de pesarse, de la siguiente forma:

Método de camisa isotérmica: 1.6°C – 2°C abajo de la temperatura de la camisa.

Método de camisa adiabática: $1^{\circ}\text{C} - 1.4^{\circ}\text{C}$ abajo de la temperatura de la camisa.

Este ajuste inicial asegura una temperatura final ligeramente mayor a la temperatura de la camisa en calorímetros con energía equivalente aproximada de $10.2 \text{ kJ}/^{\circ}\text{C}$.

Se debe usar la misma cantidad de agua destilada o desionizada ($2000 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$) en el calorímetro para cada prueba.

3.6.5. Observaciones método camisa isotérmica

Se debe montar el calorímetro en la camisa e iniciar la agitación. Esperar cinco minutos hasta alcanzar el equilibrio y registrar las temperaturas del calorímetro en intervalos de 1 minuto, durante 5 minutos. En el minuto 6 se debe encender la carga y registrar el tiempo y la temperatura, t_a . Añadir a esta temperatura el 60% del aumento de temperatura esperado, y registrar el tiempo al cual se alcanza. Después del período de ascenso rápido (4-5 minutos), se deben registrar las temperaturas en intervalos de 1 minuto hasta que la diferencia entre lecturas sucesivas sea constante por 5 minutos.

Cuando el aumento de temperatura esperado se desconoce, el tiempo al cual la temperatura aumenta el 60% del total puede ser determinado registrando las temperaturas a 45, 60, 75, 90 y 105 s después de encender la carga e interpolar.

3.6.6. Observaciones método camisa adiabática

Se debe montar el calorímetro en la camisa e iniciar la agitación. Se debe ajustar la temperatura de la camisa para que sea igual o ligeramente menor que la temperatura del calorímetro; esperar 5 minutos hasta alcanzar el equilibrio. Ajustar la temperatura de la camisa para que coincida con la del calorímetro dentro de $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ y esperar por 3 minutos. Registrar la temperatura inicial y encender la carga. Volver a ajustar la temperatura de la camisa para que coincida con la del calorímetro durante el período de ascenso, manteniendo las dos temperaturas tan cerca como sea posible, dentro de $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ al aproximarse a la temperatura final de equilibrio. Tomar las lecturas del calorímetro a intervalos de 1 minuto, hasta que la misma temperatura sea observada en 3 lecturas sucesivas, y registrarla como la temperatura final. Los intervalos de tiempo no se deben registrar, dado que no son críticos en el método adiabático.

3.6.7. Análisis de los contenidos de la bomba

Se debe remover la bomba y liberar la presión a una tasa constante en un tiempo no menor de 1 minuto. Se debe examinar el interior de la bomba para verificar la combustión completa de la muestra, de lo contrario se debe descartar la prueba.

Se debe lavar el interior de la bomba con un chorro fino de agua (incluyendo los electrodos y el toma-muestras) y posteriormente recolectarla en un beaker. Se debe usar la mínima cantidad de agua posible, preferiblemente 350 mL. Titular con solución álcali, usando indicador naranja de metilo o rojo de metilo.

Posteriormente se debe remover y medir la cantidad de alambre de ignición que no se quemó para restarlo de la cantidad inicial; registrar la diferencia como el alambre consumido.

Debe determinarse el contenido de azufre de la muestra si este excede 0.1%.

3.7. CÁLCULOS

3.7.1. Aumento de temperatura en calorímetro de camisa isotérmica

A partir de los datos obtenidos sobre el aumento de la temperatura (t) en un calorímetro de camisa isotérmica, se tiene la Ecuación 13:

$$t = t_c - t_a - r_1(b - a) - r_2(c - b) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

t : aumento de temperatura corregido

a : tiempo de encendido

b : tiempo en el cual el aumento de temperatura alcanza el 60% del total (aproximado a 0.1 min más cercano)

c : tiempo de inicio del período en el cual la tasa de temperatura que cambiaba con el tiempo se convierte en constante (después de la combustión)

t_a : temperatura al tiempo de encendido, corregida para errores de termómetros

t_c : temperatura a tiempo "c", corregida para errores de termómetros

r_1 : tasa a la cual la temperatura aumenta en el período de 5 minutos antes del encendido (unidades de temperatura por minuto)

r_2 : tasa a la cual la temperatura aumenta en el período de 5 minutos después de “C”.

3.7.2. Aumento de temperatura en calorímetro de camisa adiabática

A partir de los datos obtenidos sobre el aumento de la temperatura (t) en un calorímetro de camisa adiabática, se tiene la Ecuación 14:

$$t = t_f - t_a \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

t : aumento de temperatura corregido

t_a : temperatura cuando la carga se quema, corregida por errores de termómetros

t_f : temperatura final de equilibrio, corregida por errores de termómetros

3.7.3. Correcciones termoquímicas

3.7.3.1. Calor de formación de ácido nítrico (HNO_3)

Se debe aplicar una corrección de 5J por cada centímetro cúbico de NaOH (0.0866 mol/L) usado en la titulación ácida. Esto se basa en dos asunciones: (1) todo el ácido titulado es HNO_3 , (2) el calor de formación de 0.1 moles de HNO_3 es 57.8 kJ/mol a condiciones de esta prueba.

e1: corrección por calor de formación del ácido nítrico (HNO₃).

$$MJ = cm^3 \text{ de sln NaOH (0.0866 N) usada en la titulación} * 5/10^6 \quad \text{Ecuación 15}$$

3.7.3.2. Calor de formación de ácido sulfúrico (H₂SO₄)

Se debe aplicar una corrección de 5.80 kJ por cada gramo de azufre en la muestra. Esto se basa en que el calor de formación de 0.17 moles de H₂SO₄ es -301.4 kJ/mol.

e2: corrección por calor de formación de ácido sulfúrico (H₂SO₄).

$$MJ = 58 * \% \text{ de S en la muestra} * \text{masa de la muestra} / 10^6 \quad \text{Ecuación 16}$$

e3: corrección por calor de combustión de la cinta de presión sensitiva o cápsula de gelatina/aceite mineral.

$$MJ = \text{masa de la cinta o cápsula/aceitemineral (g)} * \text{calor de combustión de la cinta o cápsula/aceite (MJ / kg / 10}^6) \quad \text{Ecuación 17}$$

3.7.3.3. Calor de combustión del alambre de ignición

El calor de combustión para el alambre de hierro es de 1.13 J/mm, y para el alambre cromel C es 0.96 J/mm.

e4: corrección por calor de combustión del alambre de ignición.

$$MJ = 1.13 * mm \text{ de alambre de hierro consumido} / 10^6 \quad \text{Ecuación 18}$$

$$MJ = 0.96 * mm \text{ de alambre de cromel } C \text{ consumido} / 10^6 \quad \text{Ecuación 19}$$

3.7.3.4. Calor de combustión bruto

El poder calorífico bruto a volumen constante se calcula a partir de la Ecuación 20:

$$Q_b = (tW - e_1 - e_2 - e_3 - e_4) * (1000/m) \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

Q_b : calor de combustión bruto, a volumen constante [MJ/kg]

t: aumento de temperatura corregido

W: energía equivalente del calorímetro [MJ/°C]

e_1, e_2, e_3, e_4 : correcciones termoquímicas

m: masa de la muestra [g]

El poder calorífico bruto a presión constante se calcula a partir de la Ecuación 21:

$$Q_{bp} = Q_b + 0.006145H \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

Q_{bp} : calor de combustión bruto, a presión constante [MJ/kg]

H: porcentaje en peso de hidrógeno en la muestra

3.7.3.5. Calor de combustión neto

Si el porcentaje de hidrógeno (H) de la muestra es conocido, el poder calorífico neto se calcula a partir de la Ecuación 22:

$$Q_n = Q_b - 0.2122H \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

Q_n : calor de combustión neto a presión constante [MJ/kg]

Q_b : calor de combustión bruto a volumen constante [MJ/kg]

H: porcentaje en peso de hidrógeno de la muestra.

Si el porcentaje en peso de hidrógeno en muestras de gasolina de avión y combustible turbina no se puede determinar, el calor neto de combustión se calcula a partir de la Ecuación 23:

$$Q_n = 10.025 (0.7195)Q_b \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

Q_n : calor de combustión neto, a presión constante [MJ/kg]

Q_b : calor de combustión bruto, a volumen constante [MJ/kg]

3.8. RESULTADOS

El calor de combustión neto es la cantidad requerida en aplicaciones prácticas, y debe ser reportado al 0.005 MJ/kg más cercano.

Para obtener el calor de combustión bruto o neto en cal/g o en BTU/lb se deben usar las Ecuaciones 24 y 25, y reportar al 0.5 cal/g o 1 BTU/lb más cercano:

$$Q_{BTU/lb} = \left(Q, \frac{MJ}{kg} \right) / 0.002326 \quad \text{Ecuación 24}$$

$$Q_{cal/g} = \left(Q, \frac{MJ}{kg} \right) / 0.0041868 \quad \text{Ecuación 25}$$

4. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

En este capítulo se presenta un análisis de prefactibilidad completo, en el cual se exponen aspectos técnicos y financieros enfocados en conocer la viabilidad de implementar la prueba de determinación de poder calorífico en hidrocarburos líquidos como parte de los servicios del laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos-UIS.

Para llevar a cabo el estudio mencionado, es necesario evaluar factores relacionados con ubicación y dimensionamiento del proyecto, equipos e insumos, personal, inversión, proveedores, competidores y clientes, con el fin de analizar los diferentes escenarios que pudieran darse al momento de prestar el servicio, y presentar la mejor propuesta que cumpla con los requerimientos técnicos, económicos y de calidad.

4.1. ESTUDIO DE MERCADO

Este estudio representa uno de los factores más importantes e influyentes al momento de definir la viabilidad del presente proyecto, dado que se da a conocer cómo está el mercado en general del servicio de determinación de poder calorífico en hidrocarburos líquidos.

Como es sabido, la oferta y la demanda son las fuerzas que hacen que las economías de mercado funcionen, y además determinan la cantidad de bienes producidos o servicios prestados, y el precio al cual deben venderse⁴⁸.

⁴⁸ MOCHÓN MORCILLO, Francisco. Principios de economía. Tercera edición. España: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A, 2006. p.62. ISBN 84-481-4656-5

Por esta razón, se analizará primero la oferta y la demanda del servicio, para posteriormente establecer el costo que tendría realizar la prueba siendo un nuevo competidor.

4.1.1. Oferta

Como se mencionó anteriormente, el objetivo es conocer el mercado de laboratorios que prestan el servicio de determinación de poder calorífico en hidrocarburos líquidos, esto con el fin de identificar posibles competidores a nivel regional y nacional.

La idea principal en esta parte del proyecto se basa en buscar, identificar y caracterizar cada empresa prestadora del servicio, adquiriendo información sobre los protocolos que siguen, las acreditaciones con las que cuentan y el precio de venta de la prueba.

La estrategia utilizada para obtener información de las diferentes empresas se basó en pedir cotizaciones para la prueba específica (Anexo A). En total se solicitó información a 20 entidades, la mayoría de las cuales se encuentran registradas frente al Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) como laboratorios de ensayos certificados para prestar servicios en las áreas de combustibles y petróleo, carbón y productos derivados.

Se obtuvo respuesta de gran parte de los laboratorios contactados, sin embargo, la mayoría afirmó no realizar la prueba para la matriz requerida (combustibles líquidos) o no contar con los equipos necesarios.

Posterior a esto, se filtró la información obtenida y se logró realizar el sondeo que se presenta en la Gráfica 6, donde se relacionan las variables más relevantes para este estudio.

Gráfica 6. Laboratorios que prestan el servicio de determinación de poder calorífico a hidrocarburos líquidos y características de la prueba.

Empresa	Protocolo	Acreditación	Costo por prueba	Información
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	ASTM D240	Sí	\$ 58084	Laboratorio de crudos y derivados (Sede Medellín)
INTERTEK COLOMBIA	ASTM D240	Sí	\$ 955408.2 (Q _b)	Laboratorio Intertek New Orleans, LA (Estados Unidos)
			\$ 746065.9 (Q _n)	
SGS COLOMBIA	ASTM D240	Sí	\$1547167.5	SGS (Alemania)
UNIVERSIDAD DEL VALLE	ASTM D240	No	\$ 98000	Instalaciones Universidad del Valle
INSPECTORATE	ASTM D4868	Sí	-	No cuentan con bomba calorimétrica
PROASEM	ASTM D240	Sí	\$ 2957150	Laboratorio PROASEM (Estados Unidos)
CDT MINERAL	ASTM D240	No	\$ 80000	Laboratorio (Sogamoso)

Cabe resaltar que, para las cotizaciones dadas en moneda extranjera, se utilizaron las tasas de cambio del peso colombiano (TRM) dadas para el día 27 de septiembre de 2017:

- 1 USD = 2930.70 COP (Tomado de: Banco de la República-Colombia⁴⁹)
- 1 EUR = 3438.15 COP (Tomado de: Banco de la República-Colombia⁵⁰)

Como se evidencia en la Gráfica 6, pocos laboratorios en Colombia realizan la prueba para determinar poder calorífico en hidrocarburos líquidos, lo cual deja en evidencia una buena plaza para prestar el servicio. Además, se tienen las siguientes consideraciones:

- Tres laboratorios (SGS, Intertek y Proasem) ofrecen sus servicios para determinar poder calorífico a hidrocarburos líquidos, pero a pesar de estar certificados, no realizan la prueba en el país, lo cual incurre en aumento de los costos de la misma (por tal motivo realizan sus cotizaciones en dólares o euros).
- Dos laboratorios (Universidad del Valle y CDT mineral) ofrecen el servicio de la prueba bajo el protocolo ASTM D240, sin embargo, no cuentan con acreditación por parte de la ONAC.
- Un laboratorio (Inspectorate) realiza la determinación de poder calorífico para combustibles de aviación, sin embargo, lo hace bajo un protocolo

⁴⁹ BANCO DE LA REPÚBLICA-COLOMBIA. Tasa de cambio del peso colombiano (TRM). [En línea]. Bogotá D.C. (Recuperado en 27 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.banrep.gov.co/es/trm>

⁵⁰ BANCO DE LA REPÚBLICA-COLOMBIA. Monedas disponibles. Tasas de cambio-Monedas disponibles. [En línea]. Bogotá D.C. (Recuperado en 27 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.banrep.gov.co/es/tasas-cambio-mundo>

diferente al ASTM D240, debido a que no cuenta con una bomba calorimétrica, según lo expresado a través de correo electrónico.

- Únicamente un laboratorio (Laboratorio de crudos y derivados- Universidad Nacional) realiza la prueba bajo el protocolo ASTM D240, está acreditada y se puede hacer en el país.

Por lo anteriormente descrito, es posible afirmar que implementar el protocolo ASTM D240 como servicio del laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos representa una buena oportunidad desde el punto de vista de la oferta, teniendo en cuenta que en este proyecto se darán las pautas para realizar un montaje integral de la prueba (calidad, costos, prestación del servicio), lo cual representa un valor agregado si se compara con los laboratorios y empresas que actualmente se encuentran en el mercado.

4.1.2. Demanda

En esta parte del proyecto se analizan los consumidores que actualmente requieren el servicio de determinación de poder calorífico en hidrocarburos líquidos y aquellos consumidores potenciales del mismo.

Cabe aclarar que los demandantes más importantes de la prueba son los estudiantes de la materia *Laboratorio de fluidos (código 23183)* de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, quienes la realizarían con fines académicos y prácticos.

En la Gráfica 7 se relaciona la cantidad de estudiantes matriculados en la asignatura para los últimos seis semestres académicos, de acuerdo con información brindada por la Dirección de Admisiones y Registro Académico (Anexo B), evidenciando la gran cantidad de alumnos que se beneficiarían al

contar con la prueba que se propone implementar, contribuyendo de esta manera con su formación académica.

Gráfica 7. Estudiantes matriculados en la materia laboratorio de fluidos en los últimos 6 semestres

Semestre	Total de estudiantes matriculados
2015-I	100
2015-II	122
2016-I	94
2016-II	110
2017-I	88
2017-II	94

Adicionalmente, la implementación de la prueba abriría las puertas a líneas de investigación que requieran contar con datos confiables de poder calorífico de hidrocarburos líquidos, permitiendo a los estudiantes plantear nuevas ideas en el área de los derivados de petróleo, eficiencia de los combustibles, entre otros. Asimismo, el rango de clientes potenciales del servicio se amplía si se plantea la posibilidad de que otras universidades colombianas requieran el servicio con el fin de desarrollar sus propios proyectos en las áreas mencionadas.

Por otra parte, se encuentran los clientes potenciales de la prueba que son externos a la comunidad universitaria, siendo estos empresas productoras, comercializadoras o distribuidoras de combustibles en Colombia, las cuales demandarían el servicio con el fin de tener conocimiento acerca del poder calorífico de sus productos.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente se realizó un sondeo de empresas, las cuales podrían demandar el servicio de acuerdo a sus características de mercado. Cabe señalar que, a pesar de no tener la determinación del poder calorífico como uno de los parámetros exigidos en la reglamentación colombiana para la mayoría de combustibles, conocer su valor es un indicador importante para las empresas, dado que permite establecer un control de calidad de los productos.

A continuación, se listan las empresas identificadas como clientes potenciales:

Gráfica 8. Clientes potenciales de la prueba de determinación de poder calorífico

Empresa	Información
Terpel	<p>Empresa colombiana distribuidora y comercializadora de combustibles líquidos, gas vehicular y diferentes tipos de lubricantes. Brinda el suministro continuo y logística impecable de líquidos, gas y lubricantes a través de una amplia red de abastecimiento.</p> <p>Distribuye combustibles al mercado de marinos, aviación e industrial; además, ofrece asesoría técnica, ambiental y regulatoria con el fin de optimizar las operaciones⁵¹.</p>
Chevron Colombia	<p>Petrolera estadounidense dedicada a la exploración, producción, fabricación, transporte, refinación, almacenamiento y comercialización de petróleo crudo, gas y sus derivados. Entre sus productos se incluyen: petroquímicos, gas natural, gas licuado, gasolina, parafina, diésel, aditivos, lubricantes, entre otros⁵².</p>
Ecopetrol	<p>Estatal colombiana Ecopetrol dedicada a la producción, refinación y transporte de petróleo y gas, así como a actividades petroquímicas. Sus activos comprenden una amplia gama de productos refinados como</p>

⁵¹ TERPEL. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <https://www.terpel.com/en/Quienes-somos/Nuestro-proposito/>

⁵² CHEVRON COLOMBIA. [En línea]. (Recuperado en 18 de septiembre de 2017). Disponible en <https://www.chevron.com/worldwide/colombia>

	gasolina, diésel, combustible de aviación, gas licuado de petróleo y combustible residual pesado ⁵³ .
Biomax	Firma colombiana, opera como distribuidor mayorista y minorista de combustibles líquidos derivados del petróleo. Entre los productos comercializados se encuentra: gasolina y gas para motor, diésel, lubricantes, turbo combustible Jet A1 ⁵⁴ .
Prolub S.A. (Gulf)	Empresa distribuidora mayorista de combustibles, dedicada a la fabricación y comercialización de lubricantes. Ofrece servicios en análisis de aceites usados, asesoramiento técnico-comercial y logístico, para motores a gasolina, gas diésel, 2T, 4T y fuera de borda ⁵⁵ .
ExxonMobil de Colombia S.A	Empresa con fuerte presencia en Colombia debido a su participación en el mercado de combustibles, lubricantes y químicos. Se caracteriza por la comercialización y distribución de gasolina corriente, gasolina extra, diésel y supreme diésel. Su red de distribución se encuentra por todo el país en las estaciones de servicio Esso y Mobil ⁵⁶ .
Petrobras	Empresa de propiedad de Petróleo Brasileiro S.A., especializada en la industria del petróleo, el gas natural y la energía. Está presente en la áreas de exploración y producción, refinación, comercialización, transporte, petroquímicos, distribución de productos derivados del petróleo, gas natural, electricidad, productos químicos y biocombustibles. ⁵⁷
Faster Fuel S.A.S	Empresa colombiana, dedicada a la distribución y comercialización de combustible de aviación, creada para prestar con excelencia y compromiso, abastecimiento a cualquier tipo de aeronave y entregarlo en cualquier parte del territorio nacional donde se requiera;

⁵³ ECOPETROL. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos>

⁵⁴ BIOMAX. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <https://www.biomax.co/nuestra-compania/#productos>

⁵⁵ GULF COLOMBIA. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://gulfcolombia.com/co/compania/>

⁵⁶ EXXON MOBILE. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <https://www.essoymobil.com.co/es-co/merger>

⁵⁷ PETROBRAS. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.petrobras.com.br/en/about-us/profile/>

	caracterizada por la responsabilidad en el manejo y control de la calidad de este producto. ⁵⁸
Energizar Aviación	Es una empresa colombiana, dedicada a la venta y suministro de combustible de aviación en el país, comercializando JET A1 y Av Gas 100/130. Cuenta con tres terminales principales y 20 estaciones de suministro de combustible en diferentes regiones del país para abastecer a las empresas de aviación ⁵⁹ .
Globe Air Fuel- GAF	Es una empresa colombiana orientada al transporte y distribución de combustibles y lubricantes para aviación en los diferentes aeropuertos y estaciones de servicio de aviación en el país. Actualmente manejan una red que les permite suministrar combustibles, tanto JET A1 como Av Gas en los principales aeropuertos y pistas del país ⁶⁰ .
Colombiana de combustibles- CODECO	Colombiana de Combustibles CODECO SAS. Es una compañía que comercializa, suministra y transporta combustibles, lubricantes y aditivos. Ofrece variedad de combustibles a la industria, tales como biodiésel, diésel ecológico, gasolina corriente oxigenada, gasolina extra oxigenada, queroseno y Jet A1 ⁶¹ .
PETROMIL	Grupo empresarial colombiano, compuesto por las empresas PETROMIL S.A.S (combustibles líquidos y lubricantes), PETROMIL GAS S.A.S (gas vehicular, domiciliario e industrial) y TELBA S.A.S (refinería y almacenamiento de combustibles). Realiza procesos relacionados con almacenamiento, procesamiento, comercialización y distribución de combustibles líquidos, gas y lubricantes ⁶² .
Combustibles de Colombia S.A- COMBUSCOL	Combuscol es una compañía colombiana, se constituye como una empresa operadora de una red de Estaciones de Servicio en importantes ciudades del país, realizando actividades de comercialización y distribución de combustibles, lubricantes y demás derivados del petróleo ⁶³ .

⁵⁸ FASTER FUEL. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.ffc.com.co/servicios.html>

⁵⁹ ENERGIZAR AVIACIÓN. [En línea]. (Recuperado en 22 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.energizar.org/nosotros.html>

⁶⁰ GLOBE AIR FUEL-GAF. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.gafcolombia.com/>

⁶¹ COLOMBIANA DE COMBUSTIBLES-CODECO S.A.S. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://combustiblescodeco.com/acerca/>

⁶² PETROMIL. Grupo empresarial Petromil. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.petromilsa.com/quienes-somos>

⁶³ COMBUSTIBLES DE COLOMBIA S.A. Información corporativa. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.combuscol.com/index.php/nuestra-compania>

4.1.3. Precio de la prueba

Determinar el precio de un servicio es una tarea complicada e inexacta, que con frecuencia implica la toma de decisiones por tanteo⁶⁴. La idea es entrar al mercado con precios competitivos, pero que a su vez sean razonables y atractivos a la vista de los compradores.

En la asignación de precios de penetración a un mercado se establece un precio inicial relativamente bajo para el nuevo servicio, en relación con la escala de precios que se manejen en dicho mercado. El objetivo primario de esta estrategia es entrar a participar en el mercado de manera sustancial y hacer frente a la competencia existente⁶⁵. Lo anterior tiene cierta relación con la estrategia utilizada por algunas empresas, las cuales en ciertas ocasiones utilizan el llamado *dumping* o ventas de bajo costo, con el fin de darle mayor movimiento a los bienes y servicios ofrecidos.

En base a lo descrito anteriormente, el precio para la prueba de determinación de poder calorífico debe estar dentro del rango de precios que ofrecen las demás empresas colombianas prestadoras del servicio.

En primer lugar, se descartan las ofertas de SGS, INTERTEK y PROASEM, debido a que su costo no es representativo en esta parte del estudio, dado que la prueba específica se realiza en el exterior, lo cual incrementa su valor principalmente por el transporte de las muestras a analizar (se debe movilizar la muestra desde Colombia hasta el país donde se encuentre ubicado el laboratorio de cada empresa, para lo cual se requiere una logística especial, dado que las

⁶⁴ STANTON, William J; ETZEL, Michael J y WALKER, Bruce J. Fundamentos de marketing. Decimocuarta edición. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A, 2007. p.69. ISBN 978-970-10-6201-9

⁶⁵ *Ibíd.*, p.371

muestras son combustibles y deben seguirse ciertos protocolos de seguridad para su transporte).

En segunda instancia se tienen los laboratorios de la Universidad del Valle y CDT Mineral, los cuales ofrecen el servicio sin acreditación a un costo superior si se le compara con el costo por prueba del laboratorio de crudos y derivados de la Universidad Nacional, que sí está acreditado.

Por lo anterior se toma como única referencia el precio de \$ 58084 del laboratorio de la Universidad Nacional, ya que además de ser el más económico, representa también el modelo a seguir en cuanto al protocolo y calidad que se plantea implementar con el presente proyecto. Así pues, se establece un margen del 5% inferior respecto al precio base, con el fin de poder entrar al mercado de manera competitiva.

En conclusión, el precio por cada prueba para determinar el poder calorífico en hidrocarburos líquidos en el laboratorio de fluidos de la UIS se muestra en la Gráfica 9.

Gráfica 9. Precio de la prueba a implementar

Precio base de la prueba-UNAL	\$ 58084
- 5% del precio base	\$ 2904.2
Precio final de la prueba-UIS	\$ 55179.8

Es importante mencionar que, a mayor número de pruebas, el costo disminuye. Con lo cual se abre la posibilidad a descuentos, los cuales dependerán del número de muestras a analizar.

4.2. ANÁLISIS TÉCNICO

El objetivo del estudio técnico es establecer las condiciones necesarias para implementar la prueba de determinación de poder calorífico y asegurar un óptimo funcionamiento de la misma, respetando las normas guía y cumpliendo con los requerimientos establecidos por los entes de control. Para la realización de este estudio se tienen en cuenta los factores relacionados con:

4.2.1. Dimensionamiento y ubicación

Para el montaje de la prueba, de acuerdo con estimaciones basadas en los tamaños de los equipos, se requiere un espacio de aproximadamente 2 m², en el cual se podrá ubicar de manera adecuada el calorímetro, los insumos y equipos auxiliares necesarios para desarrollar la prueba.

Partiendo de la consideración anterior, se debe encontrar la localización óptima para el proyecto, de manera tal que cuente con las mejores características para garantizar su éxito en el corto y largo plazo, teniendo en cuenta factores que puedan influir, tales como las vías de acceso al lugar, la facilidad de transportarse hasta el sitio, la infraestructura, el personal, entre otros.

Así pues, se cuenta con dos localizaciones específicas, siendo la primera de ellas el nuevo laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos

(EIP), ubicada en el campus central de la UIS, y la segunda, el Parque Tecnológico Guatiguará (PTG), en Piedecuesta.

A continuación, se presentan los aspectos de mayor relevancia para cada una de las locaciones mencionadas:

4.2.1.1. Escuela de Ingeniería de Petróleos

Una de las ventajas de implementar la prueba de determinación de poder calorífico en la EIP es la ubicación de la universidad, ya que es un punto estratégico y conocido de Bucaramanga.

En el ámbito académico, los estudiantes tendrían la oportunidad de realizar esta prueba directamente en las instalaciones de la escuela, lo cual complementaría los conocimientos teóricos vistos en las aulas sin tener que desplazarse fuera de la universidad, además del acompañamiento de profesores y auxiliares, quienes están capacitados y tienen la experiencia en el manejo de equipos de laboratorio y conocimientos enfocados en el área de fluidos.

Adicionalmente, implementar el protocolo en la EIP traería consigo la facilidad de contar con otras pruebas, instrumentos e insumos del laboratorio de fluidos que puedan complementar la determinación de poder calorífico.

Por otro lado, como principal desventaja se tiene el espacio disponible del laboratorio de fluidos, dado que es exacto para los equipos que se encuentran actualmente en el laboratorio, lo que representa una limitante para el montaje de nuevos equipos y pruebas.

4.2.1.2. Parque Tecnológico Guatiguará

La principal ventaja del PTG está relacionada con su infraestructura, ya que cuenta con excelentes instalaciones en materia de desarrollo científico y tecnológico, además de contar con el espacio necesario para el montaje de los equipos requeridos para realizar esta prueba, así como las condiciones ambientales óptimas en cuanto a ventilación y suministro de energía.

Adicionalmente a lo anterior, en el PTG se cuenta con personal capacitado en el manejo de equipos de laboratorio en general (profesores, auxiliares y estudiantes), quienes además de realizar pruebas con fines académicos, también prestan servicios a empresas externas. Por estas razones la implementación de la prueba en el PTG formaría parte del portafolio de servicios presentado por uno de los centros de investigación más importantes, pues la calidad de los trabajos que allí se desarrollan son avalados por las certificaciones y acreditaciones correspondientes de cada campo.

Como desventaja del PTG se tiene la ausencia de personal docente del área de laboratorio de fluidos en dichas instalaciones de manera permanente, lo cual implicaría que el equipo sea manejado por auxiliares y docentes del laboratorio de petrofísica, quienes hacen parte del personal de la Escuela de Ingeniería de Petróleos.

A partir de lo anterior, se presenta la siguiente gráfica resumen (Gráfica 10), con el fin visualizar de mejor manera la opción más adecuada para implementar la prueba de determinación de poder calorífico, teniendo en cuenta los parámetros más relevantes:

Gráfica 10. Escogencia de locación para implementación de protocolo ASTM D240

Consideraciones	EIP	PTG
Espacio disponible	x	✓
Ubicación geográfica	✓	✓
Posibilidades de ampliación	x	✓
Factores ambientales y de seguridad	✓	✓
Acompañamiento de docentes del área de fluidos	✓	x
Personal con experiencia en manejo de los equipos	✓	✓
Laboratorios certificados	x	✓

En conclusión, se escoge el PTG como locación para el montaje de la prueba, debido a que presenta las mejores condiciones para el desarrollo de este proyecto a corto y largo plazo en cuanto a espacio, operación, posibilidades de expansión y préstamo de servicios a agentes externos de la universidad, dado que en el PTG los laboratorios se encuentran certificados, lo cual genera confianza en los clientes potenciales de la prueba.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, y a la consulta realizada al personal del laboratorio de petrofísica del PTG, la ubicación exacta para los equipos sería el *Laboratorio 106*, dado que allí se cuenta con el espacio requerido para este fin (Anexo C).

Por otra parte, los aspectos negativos que se encontraron respecto al PTG se pueden corregir a través de la buena planificación, con la cual se logre el acompañamiento periódico de los docentes expertos en fluidos y, además se permita a los estudiantes conocer las fechas en las cuales deben estar en el PTG para realizar la prueba de poder calorífico, para que organicen su horario y no tengan inconvenientes al desplazarse.

4.2.2. Personal

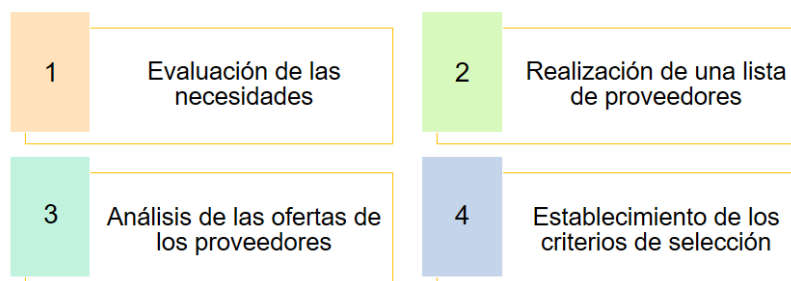
Se requiere personal de nivel técnico o tecnológico, con experiencia en trabajo de laboratorio y conocimiento de la norma ASTM D240; sin embargo, no se hace necesario que cuente con algún curso o certificación en dicha prueba, dado que uno de los requerimientos a los proveedores es capacitación en el manejo de los equipos.

4.2.3. Selección de proveedores

En esta parte del proyecto se procede a registrar la búsqueda y selección de proveedores de los equipos e insumos necesarios para el montaje de la prueba de determinación del poder calorífico en hidrocarburos líquidos bajo el protocolo ASTM D240.

La búsqueda de proveedores se realizó a través de internet, y con el fin de seleccionar los proveedores adecuados, se utilizó como guía el modelo que lleva a cabo el proceso mostrado en la Figura 3:

Figura 3. El proceso de selección de proveedores



Modificado de: GÓMEZ APARICIO, Juan Miguel. Gestión logística y comercial⁶⁶.

⁶⁶ GÓMEZ APARICIO, Juan Miguel. Gestión logística y comercial. España: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A, 2014. p.34. ISBN 84-481-9363-6

4.2.3.1. Evaluación de las necesidades

Las necesidades para este proyecto vienen representadas por los equipos y reactivos requeridos para la implementación del protocolo ASTM D240 en el laboratorio.

- Equipos

En primer lugar, se procede a estudiar las especificaciones de los equipos que se van a solicitar a los proveedores, los cuales se encuentran listados en la Gráfica 4. Equipos requeridos-Norma ASTM D240, del capítulo anterior.

Posterior a esto, se decide que se van a solicitar cotizaciones únicamente con la especificación de “calorímetros”, pues de acuerdo con información consultada, los equipos actualmente se comercializan como un conjunto, es decir, traen consigo la camisa, la bomba de oxígeno, el circuito de ignición y los porta-muestras, y realizan funciones de manera automática como la toma de tiempo y registro de datos.

- Reactivos

En segundo lugar, se analizan los reactivos que se van a solicitar a los proveedores, los cuales se encuentran listados en la Gráfica 5. Reactivos requeridos-Norma ASTM D240, del capítulo anterior. Se decide solicitar cotizaciones de ácido benzoico, hidróxido de sodio, carbonato de sodio, indicador naranja/rojo de metilo, oxígeno y trimetilpentano.

4.2.3.2. Lista de proveedores

El objetivo de esta lista es tener un registro de proveedores que, en principio, puedan satisfacer las necesidades requeridas. La idea es incluir la información más relevante de cada proveedor, principalmente los datos de identificación y de contacto⁶⁷.

En cuanto a los equipos, cabe resaltar que todos calorímetros por los cuales se solicitó información y cotización son de marcas internacionales, por lo cual, en la mayoría de los casos, asociado a la casa matriz de los equipos, se relaciona la empresa distribuidora en Colombia para dicha marca.

Respecto a los reactivos e insumos, las solicitudes se realizaron únicamente a empresas nacionales, esto con el fin de obtener respuestas más rápidas.

A continuación, se presentan las listas de las empresas consultadas con el fin de obtener información/cotizaciones de calorímetros e insumos necesarios para la implementación de la prueba:

⁶⁷ *Ibíd.*, p.37

Gráfica 11. Lista de proveedores de calorímetros

Proveedor	Marca	Contacto
US BIOSOLUTIONS COLOMBIA SAS	LECO	lina.ramirez@usbiocolombia.com
CASA CIENTÍFICA	PARR	ventas2@casacientifica.com
KREIS MASCHINEN LTDA	CKIC	msanchez@kreismaschinen.com
SyZ COLOMBIA SAS	KOEHLER	mauricio.baquero@grupo-syz.com
LAB-KITS	U-THERM	info@lab-kits.com
NUEVOS RECURSOS	IKA	adriana.buitrago@nuevosrecursos.com
PETROLEUM TOTAL EQUIPMENT	CAL	ventas@pte.com.co
ARQUITEC SOLAR	CAL	info@arquitecsolar.com
ROSBET	-	ventas@rosbet.mx
ICL DIDÁCTICA	CUSSONS TECHNOLOGY	smartinez@icl-didactica.com
	PA HILTON LTD	

Gráfica 12. Lista de proveedores de reactivos químicos

Proveedor	Contacto
ARQUILAB LTDA	arkilab@gmail.com
ARTILAB SA	artilab@artilab.com.co
AVÁNTIKA	cotizaciones@avantika.com.co
ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA	ventas1@elementosquimicos.com
QUIMICOS FG SAS	servicioalcliente@quimicosfg.com

Gráfica 13. Lista de proveedores de oxígeno

Proveedor	Contacto
SERVIOXÍGENO SAS	servioxigenos.sas@gmail.com
OXISAN	oxisan@hotmail.com
DISTRIOXÍGENO	distrioxigeno@hotmail.com
CORTEMETAL SAS	ventas1@cortemetal.com
OXIACED	comercial@oxiaced.com
PRAXAIR	sergio_reyes@praxair.com

4.2.3.3. Análisis de ofertas de proveedores

Teniendo las necesidades y los posibles proveedores identificados, es posible continuar con la siguiente fase, la cual incluye la solicitud de propuestas a los proveedores de las listas, la obtención de su catálogo

de productos y la recepción de ofertas detalladas por escrito⁶⁸, con el fin de ir estableciendo filtros en aras de realizar la elección de las mejores ofertas que se ajusten, en primera instancia, a los requerimientos técnicos.

En cuanto a los calorímetros se tienen en cuenta las siguientes características: tipo de calorímetro, precisión, fluido refrigerante, sistema de manejo de agua, kit de mantenimiento y operación, número de vasos (bomba de oxígeno), garantía, capacitación e instalación, requerimiento de corriente, certificación de normas, tamaño, peso y costo.

Respecto a los reactivos químicos se tiene en cuenta la marca, cantidad, tiempo de entrega y costo.

A continuación, se presentan las propuestas enviadas por parte de los diversos proveedores de calorímetros e insumos, donde se relacionan los productos ofrecidos, sus características y precio. En el Anexo D se muestran en detalle las cotizaciones recibidas de calorímetros y en el Anexo E las cotizaciones de insumos.

Gráfica 14. Especificaciones de los calorímetros ofrecidos

⁶⁸ *Ibíd.*, p.38

Proveedor	Marca/Referencia	Especificaciones	Costo
US BIOSOLUTIONS COLOMBIA SAS	LECO/AC500	Isoperibólico. Semi-automático. Precisión <0.05%. Refrigeración por agua. Sistema de recirculación de agua. Consumibles para 5000 análisis, repuestos recomendados para stock y 2 vessel de combustión. Garantía de 1 año. Instalación y capacitación en el lugar de operación. Operación 115/230 V. 1 computador externo (CPU, teclado y mouse). 1 visita de mantenimiento preventivo durante la garantía. Normas: ASTM D5865, ASTM D240, ASTM D4809 y DIN 51900. Dimensiones: 81.3 cm x 78.8 cm x 66 cm. 60 kg	\$ 163914051
	LECO/AC600	Isoperibólico. Semi-automático. Precisión <0.1%. Refrigeración por agua. 1 kit chiller de recirculación. Consumibles para 5000 análisis, repuestos recomendados para stock y 2 vessel de combustión resistentes a halógenos. Garantía de 1 año. Instalación y capacitación en el lugar de operación. 127/260 V. 1 computador externo (CPU, teclado y mouse). 1 visita de mantenimiento preventivo durante la garantía. Normas: ASTM D5865, ASTM D240, ASTM D4809 y DIN 51900. Dimensiones: 38 cm x 53 cm x 46 cm. 61 kg.	\$ 225312069.5

CASA CIENTÍFICA	PARR/6200	Isoperibólico. Semi-automático. Precisión 0.05-0.1%. Refrigeración por agua. Sistema de manejo de agua. Kit para 500 quemas. Kit de consumibles para un año de servicio. Botella de 100 comprimidos de ácido benzoico. Cintas para muestras volátiles (2). 1 vaso de combustión de oxígeno. Garantía de 1 año. Instalación y capacitación en el lugar de operación. Regulador de oxígeno. 120 V. Dimensiones: 60 cm x 55 cm x 45 cm. 32 kg. Requiere balanza analítica.	\$ 122112480.5
	PARR/6400	Isoperibólico. Automático. Precisión <0.1%. Refrigeración por agua. Kit para 500 quemas. Kit de consumibles para 1 año de servicio. Botella de 100 comprimidos de ácido benzoico. Frasco de lavado. Llave de conexión a pc. Cintas para muestras volátiles (2). 1 vaso de combustión de oxígeno. Garantía de 1 año. Instalación y capacitación en el lugar de operación. Regulador de oxígeno y de nitrógeno. 120 V. Dimensiones: 42 cm x 46 cm x 51 cm. 35 kg. Requiere balanza analítica.	\$ 133778278.3

KREIS MASCHINEN LTDA	CKIC/5E-C5500	Isoperibólico. Semi-automático. Precisión <0.05%. Refrigeración por agua. Con chiller. Kit de herramientas. Ácido benzoico, crisoles y alambres de ignición. Kit de o-rings. 1 vaso de combustión de oxígeno. Garantía de 1 año. Instalación y capacitación en el lugar de operación. Llenado semi-automático de oxígeno. 220V. Computador e impresora. Normas: ASTM D-240, ASTM D5865, ASTM D4809, GB/T 30727, ISO 1928, ISO 9831. Dimensiones: 48 cm x 50 cm x 42 cm. 75 kg.	\$ 118576122
	CKIC/5E-C5508	Isoperibólico. Automático. Precisión <0.05%. Refrigeración por agua. Con chiller. Kit de herramientas. Ácido benzoico, crisoles y alambres de ignición. Kit de o-rings. 1 vaso de combustión de oxígeno. Garantía de 1 año. Instalación y capacitación en el lugar de operación. Llenado semi-automático de oxígeno. 220V. Computador e impresora. Normas: ASTM D-240, ASTM D5865, ASTM D4809, GB/T 30727, ISO 1928, ISO 9831. Dimensiones: 58 cm x 55 cm x 55 cm. 80 kg.	\$ 162170284.5
SyZ COLOMBIA SAS	KOEHLER/K88900	Isoperibólico. Semi-automático (de bomba extraíble). Precisión 0.05-0.1%. Refrigeración por agua. Sistema de manejo de agua. 1 vaso de combustión de oxígeno. Garantía de 1 año. Instalación y capacitación en el lugar de operación. Llenado automático de oxígeno. Regulador de oxígeno. 115V. Impresora. Normas: ASTM D-240, ASTM D-1989, ASTM D-5468, ASTM D-4809, ASTM D-5865, ASTM E-711, ISO-1928, DIN	\$ 176050665.8

		51900, AS 1038.5, JIS M8814. Dimensiones: 57 cm x 40 cm x 43 cm. 30 kg.	
LAB-KITS	U-THERM/YX-ZR	Isoperibólico. Automático. Precisión < 0.1%. Refrigeración por agua. Sistema de recirculación por agua. Regulador de oxígeno. Operación 220V, 50/60HZ. Normas: ASTM D240. (54 cm x 42 cm x 42 cm). 45 kg. Entrega del producto en Hong Kong.	\$ 19196085
NUEVOS RECURSOS	IKA/C6000	Isoperibólico. Semi-automático. Refrigeración por agua. Sistema de recirculación por agua. Kit de funcionamiento y arranque. Línea de oxígeno ultrapuro con caseta de gases y controlador. Una carga de oxígeno ultrapuro. Vaso resistente a halógenos. Garantía de 2 años. Instalación y capacitación sobre manejo y funcionamiento. Llenado automático de oxígeno, ventilación y vaciado. Operación 220-240V, 50/60HZ. Normas: ASTM D240. Dimensiones abierto (50 cm x 45 cm x 42 cm). 35 kg.	\$ 207060000
PETROLEUM TOTAL EQUIPMENT	CAL/CAL3K-AP	Isotérmico. Adiabático e isobárico. Semi-automático. Precisión<0,01%. Refrigeración por aire. Kit de instalación, bomba Bayonet. Ácido benzoico x50 (2). Cápsulas de gelatina. Discos de cubierta para crisoles. Instalación en la universidad. Capacitación de personal que operará el equipo. Regulador de oxígeno. Operación 100-120 / 200-220 V, 50/60Hz. ASTM	\$ 83231293.86

		D-240, ASTM D5865, ASTM D4809, ISO 1928, DIN 51900. (35 cm x 28 cm x 24 cm). 12 kg	
ARQUITEC SOLAR	CAL/CAL2K	Isotérmico. Automático. Refrigeración por aire. Calibración automática. Kit de instalación CAL2K. Garantía de 1 año. Operación 90-250V. Normas: ASTM D240 y D4809. (No capacitación). Entrega en Colombia pagando costos de envío (desde España), aduana e impuestos.	\$ 51056527.5
	CAL/CAL3K-AP	Isotérmico, adiabático e isobárico. Semi-automático. Precisión<0,01%. Refrigeración por aire. Kit de instalación. Bomba Bayonet. Ácido benzoico x50. Garantía de 1 año. Capacitación de personal que operará el equipo. Regulador de oxígeno, Operación 100-120 / 200-220 V, 50/60Hz. ASTM D-240, ASTM D5865, ASTM D4809, ISO 1928, DIN 51900. (35 cm x 28 cm x 24 cm). 12 kg. Entrega en Colombia pagando costos de envío (desde España), aduana e impuestos	\$ 62746237.5
ICL DIDÁCTICA	CUSSONS TECHNOLOGY/P6310	Refrigeración por agua. 220-240V, 50/60HZ.	\$ 54420037
	PA HILTON LTD/C200	Refrigeración por agua. Garantía de 2 años. Termómetros. 110-120V. (30 cm x 25 cm x 25 cm).	\$ 56176211

*Se utilizaron las tasas de cambio del peso colombiano (TRM) dadas para el día 27 de septiembre para convertir los valores recibidos en USD y EUR.

Gráfica 15. Especificaciones del ácido benzoico

Proveedor	Marca	Presentaciones	Precio
ARQUILAB LTDA	Merck	100 g	\$ 240558.5
		250 g	\$ 282327.5
		1 kg	\$ 693829.5
ARTILAB SA	Merck	100 g	\$ 251661.2
		250 g	\$ 295358
		1 kg	\$ 725852.4
ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA	Panreac	250 g	\$ 188496
		500 g	\$ 333200
QUÍMICOS FG SAS	Scharlau	500 g	\$ 384370

Gráfica 16. Especificaciones del naranja de metilo

Proveedor	Marca	Presentaciones	Precio
ARQUILAB LTDA	Merck	250 mL	\$ 244426
ARTILAB SA	Merck	25 g	\$ 347146.8
		100 g	\$ 1297956.8
ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA	Panreac	25 g	\$ 309400
		50 g	\$ 399840
		100 g	\$ 664496
QUÍMICOS FG SAS	Scharlau	50 g	\$ 476000

Gráfica 17. Especificaciones del rojo de metilo

Proveedor	Marca	Presentaciones	Precio
ARTILAB SA	Merck	25 g	\$ 318015.6
		100 g	\$ 1055196.8
AVÁNTIKA	Bioquigen	500 mL	\$ 113050
ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA	Panreac	10 g	\$ 171360
		25 g	\$ 293216
		100 g	\$ 818720
QUÍMICOS FG SAS	Scharlau	10 g	\$ 172550

Gráfica 18. Especificaciones del hidróxido de sodio

Proveedor	Marca	Presentaciones	Precio
ARQUILAB LTDA	Merck	1 kg	\$ 77826
ARTILAB SA	Merck	500 g	\$ 77112
		1 kg	\$ 116739
		5 kg	\$ 413406
AVÁNTIKA	JT BAKER	1 kg	\$ 67830
ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA	Panreac	1 kg	\$ 81872
		5 kg	\$ 291312

Gráfica 19. Especificaciones carbonato de sodio

Proveedor	Marca	Presentaciones	Precio
ARQUILAB LTDA	Merck	1 kg	\$ 148512
ARTILAB SA	Merck	500 g	\$ 154224
		1 kg	\$ 222768
AVÁNTIKA	JT BAKER	1 kg	\$ 244188
ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA	Panreac	1 kg	\$ 155176
		5 kg	\$ 502656
QUÍMICOS FG SAS	Applichem	100 g	\$ 243950

Gráfica 20. Especificaciones trimetilpentano

Proveedor	Marca	Presentaciones	Precio
AVÁNTIKA	JT BAKER	4 L	\$ 651287
QUÍMICOS FG SAS	Fisher	4 L	\$ 642600

Gráfica 21. Especificaciones oxígeno

Proveedor	Presentaciones	Precio
SERVI OXÍGENOS	7 m ³	\$ 83300
PRAXAIR	6 m ³	\$ 75000

4.2.3.4. Establecimiento de los criterios de selección⁶⁹

El paso previo a la elección correcta de un proveedor es definir con claridad los criterios clave de evaluación, es decir, aquellos factores dominantes que van a influir en los resultados de dicha evaluación. Dependiendo de la situación que se tenga, los criterios de selección pueden ser parciales (cuando la elección solo es dominada por un factor como el precio, la calidad o el plazo de entrega) o globales (cuando se hace necesario considerar un conjunto de factores).

Para los criterios de selección globales se utiliza el *modelo de selección de Lehman y O'Shaughnessy*, el cual se basa en el cálculo de la media ponderada de 17 atributos, que tienen importancia distinta según el tipo de producto y la actividad de una empresa. Estos son:

Gráfica 22. Criterios de selección globales-Lehman y O'Shaughnessy

Precio	Datos sobre la adecuación de pedido
Facilidad de uso	Preferencias del usuario principal del producto
Servicio posventa	Formación ofrecida por el suministrador
Condiciones financieras	Experiencia del suministrador en experiencias análogas
Servicio técnico ofrecido	Flexibilidad del suministrador para ajustarse a las necesidades
Especificaciones técnicas	Confianza en la fecha de entrega prometida
Confianza con el vendedor	
Facilidad de mantenimiento	
Tiempo de formación requerido	
Reputación general del proveedor	
Comodidad en el suministro del pedido	

⁶⁹ *Ibíd.*, p.39

La anterior es una lista extensa de indicadores, por lo cual se deben elegir únicamente aquellos criterios que se adapten al tipo de proveedor y de producto ofrecido.

En este proyecto, los criterios parciales se utilizan para elegir el proveedor de insumos y los criterios globales para seleccionar el proveedor del calorímetro, dado que son varios los factores que influyen en la decisión final.

- Calorímetros

Para el caso de los proveedores de calorímetros, los criterios de selección escogidos fueron: especificaciones técnicas, información suministrada por el proveedor, instalación de equipos, precio, capacitación ofrecida por el proveedor, servicio posventa y experiencia del proveedor en ventas a la universidad. La idea es asignarle un coeficiente de peso a cada factor, de tal forma que la sumatoria de los 7 criterios arroje un valor de 1. Posteriormente se evalúa cada parámetro por separado (valores entre 0 y 5) de acuerdo a su cumplimiento con los requisitos.

El resultado se obtiene realizando la sumatoria de las puntuaciones multiplicadas por su respectiva ponderación, siendo 5 el valor más alto y cero el más bajo.

Así pues, se presentan de manera detallada los criterios de evaluación con su respectiva puntuación, de acuerdo al juicio de los autores:

∴ Especificaciones técnicas

Es el criterio más importante en la escogencia del calorímetro, por lo cual se le asigna un peso de ponderación igual a 0.3.

Se evalúan individualmente de la siguiente manera, donde cada ítem tiene valor de 1 punto (*se deben sumar al final*):

Gráfica 23. Criterios de selección: especificaciones técnicas para calorímetros

Parámetro	Requisito	Puntuación
Tipo de calorímetro	Adiabático o isotérmico	1
Fluido de refrigeración/Sistema agua	Agua	1
Bomba de combustión	Cantidad/Resistente a halógenos	1
Material para operación	Kits de operación	1
Normas	ASTM D240/Otras normas	1

∴ Información suministrada por el proveedor

A este criterio se le asigna un peso de ponderación igual a 0.1.

Se evalúa individualmente de la siguiente manera, donde cada ítem tiene un valor específico (*se deben sumar al final*):

Gráfica 24. Criterios de selección: información suministrada por el proveedor

Parámetro	Puntuación
Información técnica del calorímetro	1
Información sobre la prueba	1
Información sobre capacitación/servicio/garantía	1
Asesoría	2

∴ Instalación de equipos

A este criterio se le asigna un peso de ponderación igual a 0.2.

Se evalúa individualmente de la siguiente manera, asignando un valor específico para cada opción según sea el caso:

Gráfica 25. Criterios de selección: instalación de equipos

Parámetro	Puntuación
Instalación de equipos en Bucaramanga	5
Entrega de equipos fuera del país	0

∴ Precio

A este criterio se le asigna un peso de ponderación igual a 0.2.

Se evalúa individualmente de la siguiente manera (en base a los precios recibidos), asignando un valor específico para cada opción según sea el caso:

Gráfica 26. Criterios de selección: precio

Rango [Millones]	Puntuación
\$ 10 - \$100	5
\$ 100 - \$150	4
\$ 150 - \$200	3
\$ 200- \$250	2
> \$250	1

∴ Capacitación ofrecida por el proveedor

A este criterio se le asigna un peso de ponderación igual a 0.05.

Se evalúa individualmente de la siguiente manera, asignando un valor específico para cada opción según sea el caso:

Gráfica 27. Criterios de selección: capacitación ofrecida por el proveedor

Parámetro	Puntuación
Ofrece capacitación	5
No ofrece capacitación	0

∴ Servicio posventa

A este criterio se le asigna un peso de ponderación igual a 0.1.

Se evalúa individualmente de la siguiente manera, asignando un valor específico para cada opción según sea el caso:

Gráfica 28. Criterios de selección: servicio posventa

Parámetro	Puntuación
Garantía de un año	4
Garantía > 1 año	5

∴ Experiencia del proveedor en ventas a la universidad

A este criterio se le asigna un peso de ponderación igual a 0.05.

Se evalúa individualmente de la siguiente manera (de acuerdo con los *sistemas de información/consulta proveedores* de la Universidad), asignando un valor específico para cada opción según sea el caso:

Gráfica 29. Criterios de selección: experiencia del proveedor en ventas a la UIS

Parámetro	Puntuación
Proveedor registrado	5
Proveedor no registrado	1

Una vez definidos los criterios de evaluación, se procede a realizar el ejemplo de aplicación del modelo planteado a dos calorímetros de marcas LECO y PARR respectivamente, el cual se muestra en la Gráfica 30.

Gráfica 30. Evaluación de criterios-Calorímetros LECO y PARR

Variable	Peso	LECO AC500	PARR 6200
Especificaciones técnicas	0.3	3.5	3.5
Información suministrada	0.1	5	5
Instalación de equipos	0.2	5	5
Precio	0.2	3	4
Capacitación del personal	0.05	5	5
Servicio posventa	0.1	4	4
Experiencia del proveedor	0.05	5	5

De la gráfica anterior, se tienen las soluciones para cada calorímetro:

$$\text{Valor}_{\text{Leco}}: (0.3*3.5) + (0.1*5) + (0.2*5) + (0.2*3) + (0.05*5) + (0.1*4) + (0.05*5) = 4.05$$

$$\text{Valor}_{\text{Parr}}: (0.3*3.5) + (0.1*5) + (0.2*5) + (0.2*4) + (0.05*5) + (0.1*4) + (0.05*5) = 4.25$$

De la misma manera, se calculan las ponderaciones correspondientes a cada uno de los calorímetros cotizados (se muestran las gráficas completas de cada calorímetro en el (Anexo F), obteniendo la siguiente gráfica resumen:

Gráfica 31. Selección de calorímetros según modelo de Lehman y O'Shaughness

CALORÍMETRO	VALOR
CAL CAL3K-AP COL	4.35
PARR 6200	4.25
PARR 6400	4.25
IKA C6000	4.1
LECO AC500	4.05
LECO AC600	4
CKIC 5E-C5500	3.85
CKIC 5E-5508	3.65
KOEHLER K88900	3.45
CAL CAL3K-AP ESP	2.7
CAL CAL2K ESP	2.55
PA HILTON TLD C200	2.55
CUSSONS P6310	2.45
U-THERM YX-ZR	2.4

A partir del ejercicio anterior y de las especificaciones de los calorímetros evaluados, es posible sacar tres conclusiones importantes, las cuales se enfocan en los siguientes aspectos:

- La mayoría de calorímetros que se comercializan actualmente funcionan con camisas isoperibólicas, y no con adiabáticas o isotérmicas como se

especifica en la norma ASTM D240. Este cambio surgió dada la necesidad de mayor confiabilidad en las mediciones de temperatura e intervalos de tiempo, pues con los métodos tradicionales, los operadores incurrían en errores durante la lectura de dichos parámetros, ocasionando que los tiempos de cada prueba se extendieran y no fueran exactos los resultados. Por tal motivo, el uso de calorímetros con camisas isoperibólicas ha tomado gran fuerza, teniendo en cuenta que bajo este modo de operación es posible realizar la determinación de poder calorífico de manera más sencilla y con resultados más precisos.

- Uno de los cambios que se tienen en la calorimetría es el uso de aire como fluido refrigerante, que reemplaza el uso de agua. Dentro de las ventajas que se contemplan está la disminución de recursos utilizados, incluyendo menos electricidad para operar, además de la rapidez y eficiencia del enfriador de aire. Puede evidenciarse que los calorímetros que trabajan bajo este principio son menos costosos si se comparan con aquellos que utilizan agua.
- Ninguno de los calorímetros cotizados cumple en su totalidad con las especificaciones dadas para los equipos en la norma ASTM D240, razón por la cual se entran a evaluar los factores más relevantes a través de la aplicación del modelo Lehman y O'Shaughness, y del criterio de los autores.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, en el desarrollo de este proyecto se propone el envío de una carta a la American Society for Testing and Material-ASTM, de la cual se adjunta una copia en el Anexo G. El objetivo es hacer las observaciones sobre la inclusión del uso de camisas isoperibólicas en el protocolo ASTM D240, así como de contemplar el uso de aire como fluido refrigerante, y de esta manera ajustarse a los cambios que se han presentado en el mercado de los calorímetros, lo cual podría facilitar el procedimiento, disminuir los costos y asegurar mayor confiabilidad en los resultados.

- Insumos

Para el caso de los proveedores de insumos, como se mencionó anteriormente, se utilizan criterios de selección parciales, específicamente el precio de venta de dichos materiales.

De acuerdo a los análisis realizados se aplica el criterio parcial a los siguientes insumos, los cuales pueden usarse para aproximadamente 2 años de pruebas: Ácido benzoico 250 g, naranja de metilo, hidróxido de sodio 1 kg, carbonato de sodio 1 kg, 2,2,4-trimetilpentano 4 L y oxígeno 7 m³.

A continuación, se presentan las gráficas en las cuales se relacionan los proveedores y su respectiva propuesta, con el fin de ser evaluados bajo el criterio de selección parcial: precio. Inicialmente se seleccionan dos proveedores como candidatos, el filtro final, si llega a darse el caso, es que, de ser posible se tenga un único proveedor para todos los insumos.

Gráfica 32. Criterios de selección: precio ácido benzoico (250 g)

Empresa	Precio	Selección
ARQUILAB LTDA	\$ 282327.5	✓
ARTILAB SA	\$ 295358	✗
ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA	\$ 188496	✓

Gráfica 33. Criterios de selección: Naranja de metilo (solución al 0.1%)

Empresa	Precio	Selección
ARQUILAB LTDA	\$ 244426	✓

Gráfica 34. Criterios de selección: hidróxido de sodio (1 kg)

Empresa	Precio	Selección
ARQUILAB LTDA	\$ 77826	✓
ARTILAB SA	\$ 116739	✗
AVÁNTIKA	\$ 67830	✓
ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA	\$ 81872	✗

Gráfica 35. Criterios de selección: carbonato de sodio (1 kg)

Empresa	Precio	Selección
ARQUILAB LTDA	\$ 148512	✓
ARTILAB SA	\$ 222768	✗
AVÁNTIKA	\$ 244188	✗
ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA	\$ 155176	✓

Gráfica 36. Criterios de selección: trimetilpentano (4L)

Empresa	Precio	Selección
AVÁNTIKA	\$ 651287	✗
QUÍMICOS FG SAS	\$ 642600	✓

Gráfica 37. Criterios de selección: oxígeno (7 m³)

Empresa	Precio	Selección
SERVI OXÍGENOS	\$ 83300	✓

4.2.4. Resultados

4.2.4.1. Calorímetro

En base a los datos obtenidos a través de los criterios de selección, y sumado al juicio de los autores, se presenta el calorímetro idóneo para la implementación de la prueba de determinación de poder calorífico, siendo este el modelo CAL3K-AP, cuyo proveedor en Colombia es Petroleum Total Equipment.

Este calorímetro obtuvo la mayor puntuación en la aplicación del modelo de criterios globales por las siguientes razones:

- Opera bajo los métodos de calorimetría isotérmica y adiabática, ajustándose de esta manera a los requerimientos descritos en la norma ASTM D240.
- Cuenta con una bomba Bayonet de combustión fabricada en acero inoxidable, la cual tiene un diseño mejorado respecto a los vasos tradicionales, e incorpora sensores que pueden operar a altas temperaturas y arrojar datos confiables, sin alterar su calibración.

- Incluye kit de instalación para el calorímetro: fuente de alimentación, cable de poder 220V, cable para balanza, cable pc (USB), teclado pc (PS2), soporte de preparación, pinzas de acero inoxidable, 2 tabletas de ácido benzoico certificado (50 x 0.5g por botella), tubo de alta presión de oxígeno de 4mm, tubo de escape 6 mm, conexión estándar para regulador de oxígeno, anillos para el calorímetro, kit de boquilla para la bomba, tubo de grasa de silicona, guía de instalación.
- Incluye kit de instalación para enfriador de aire: fuente de alimentación, cable de poder.
- Incluye cápsulas de gelatina y discos de cubierta para crisoles, para usar en pruebas con combustibles volátiles y en muestras que requieran ser pelletizadas.
- Incluye kit de instalación para bomba Bayonet: 2 electrodos de centrado, 2 anillos para la bomba, 2 electrodos exteriores, 2 crisoles, 2 platos deflectores, alambre de disparos (paquete por 5 alambres), paquete de algodón de disparo (200 trapos), anillo para tapa (paquete de 5).
- Además de ser apto para la norma ASTM D240, el calorímetro está certificado para otros estándares como: ASTM D5865, ASTM D4809, ASTM E711, ISO 1928 y DIN 51900, lo cual amplía las posibilidades de realizar pruebas también a carbón, coque y otros combustibles sólidos.
- El precio del calorímetro es de \$ 83231293.86, siendo de los menos costosos si se compara con las demás cotizaciones, lo cual representa una excelente relación costo-beneficio, dado que, en cuanto a especificaciones técnicas, el CAL3K-AP es la opción más completa.
- Ofrece capacitación realizada por personal entrenado directamente en fábrica. Dicha capacitación va enfocada a la operación del equipo y los

cuidados básicos de mantenimiento; se realiza en el sitio de instalación del equipo (Bucaramanga).

- La garantía ofrecida es de doce meses contados a partir de la fecha de instalación. Cubre defectos de fabricación y reemplazo de partes defectuosas.
- La empresa Petroleum Total Equipment SAS se encuentra registrada como proveedor en los sistemas de información de la UIS, contando con los datos y documentos requeridos por la universidad para realizar compras.

Sin embargo, es importante notar que el calorímetro CAL3K-AP no utiliza agua como fluido refrigerante, característica que se aleja de las especificaciones dadas en la norma ASTM D240; en cambio de esto, se utiliza un enfriador de aire, el cual supone menor gasto energético y de recursos, dando practicidad al funcionamiento del equipo. Esto representa una mejora para la calorimetría, ya que el enfriador de aire puede enfriar un recipiente en aproximadamente 6 minutos de 14°C a 4°C por encima de la temperatura ambiente.

El valor agregado que ofrece este calorímetro es la posibilidad de realizar análisis a sustancias diferentes a las establecidas en las normas anteriormente mencionadas. Se incluyen áreas de análisis como: explosivos, carbón y coque, productos alimenticios, residuos, crudo y biocombustibles, para lo cual únicamente es necesario adquirir cápsulas de gelatina, en las cuales se introducen las muestras para realizar la prueba de determinación de poder calorífico (se pueden comprar como un insumo extra al mismo proveedor). De esta forma, la selección del CAL3K-AP brinda la oportunidad de incursionar en otros mercados y ampliar su portafolio de servicios.

Gráfica 38. Proveedor de calorímetro seleccionado

Proveedor	Calorímetro seleccionado	Precio
PETROLEUM TOTAL EQUIPMENT	CAL3K-AP	\$ 83231293.86

4.2.4.2. Reactivos

De acuerdo con el criterio de selección para insumos (precio), se evidencia que ARQUILAB es la empresa que ofrece los precios más bajos para la compra de los productos: naranja de metilo, hidróxido de sodio y carbonato de sodio; sin embargo, no presenta la menor cotización para ácido benzoico. A pesar de esto, se decide seleccionarla apelando al filtro de selección final, que plantea comprar todos los insumos (o gran parte de ellos) a un mismo proveedor.

En cuanto a la compra de trimetilpentano y de oxígeno, se seleccionan los proveedores QUÍMICOS FG SAS y SERVI OXÍGENOS respectivamente. A manera de resumen se presenta la Gráfica 39, en la cual se relacionan los proveedores seleccionados para la compra de los insumos.

Gráfica 39. Proveedores de insumos seleccionados

Proveedor	Insumo	Precio
ARQUILAB LTDA	Ácido benzoico	\$ 282327.5
ARQUILAB LTDA	Naranja de metilo	\$ 244426
ARQUILAB LTDA	Hidróxido de sodio	\$ 77826

ARQUILAB LTDA	Carbonato de sodio	\$ 148512
QUÍMICOS FG SAS	Trimetilpentano	\$ 642600
SERVI OXÍGENOS	Oxígeno	\$ 83300
		\$ 1478991

4.3. ANÁLISIS FINANCIERO⁷⁰

El estudio financiero es la etapa final en la evaluación de un proyecto, en el cual se cuantifican y contrastan las inversiones a realizar con los beneficios que se esperan obtener.

En esta parte del estudio se presentan los aspectos relacionados con la estructura financiera del proyecto, incluyendo las inversiones necesarias para ponerlo en funcionamiento, los costos de elaboración, venta y financiación, y los ingresos derivados de la prestación del servicio.

Se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

4.3.1. Presupuesto de inversiones

Es importante mencionar que en la evaluación financiera de un proyecto se contemplan tres etapas: la primera de ellas es la etapa de instalación o ejecución, en la cual se hacen la mayor parte de las inversiones; la segunda es la etapa de operación o funcionamiento, en la cual se generan los costos y se producen los ingresos propios de la prestación del servicio;

⁷⁰ MIRANDA MIRANDA, Juan José. Gestión de proyectos: identificación, formulación y evaluación financiera, económica, social y ambiental. Cuarta edición. MM editores, 204. p.198. ISBN 9789589622704

y la tercera etapa, en la cual el proyecto termina porque no alcanza a generar beneficios, por lo cual se procede a su liquidación.

Por lo anterior, la construcción de un flujo de caja depende de los eventos financieros previstos en cada etapa del proyecto, por lo cual se tiene entonces que para la fase de ejecución se precisa contemplar inversiones, las cuales suponen salida de dinero. Por otra parte, durante la etapa de operación se generan gastos derivados del pago de los factores utilizados, pero a su vez, aparecen ingresos provenientes de la venta del servicio. Por último, cuando el proyecto se liquida, se supone que la venta de activos genera algunos ingresos.

En base a lo mencionado anteriormente, las inversiones se hacen principalmente durante el período de instalación y se pueden clasificar en inversiones fijas, inversiones diferidas y costos de operación.

4.3.1.1. Inversiones fijas

Hacen referencia a aquellas que se realizan en bienes tangibles y se utilizan para garantizar la operación del proyecto, además, no son objeto de comercialización y se adquieren para ser usados durante su vida útil.

Para el caso específico de este proyecto, las inversiones fijas son equipos y herramientas necesarias para prestar el servicio, los cuales van perdiendo su valor como consecuencia del uso y por efecto de la obsolescencia, debido al desarrollo tecnológico.

4.3.1.2. Inversiones diferidas

Son aquellas que se realizan para la puesta en marcha del proyecto; para este caso específico se refiere a los gastos de montaje, puesta en marcha, pago por capacitación y entrenamiento del personal. No se tienen en cuenta dado que corre por cuenta de los proveedores.

4.3.1.3. Capital de trabajo

Se refiere a la inversión, en forma de activos corrientes, para la operación normal del proyecto durante un ciclo productivo, es decir, es la parte de la inversión orientada a financiar los desfases entre el momento en que se producen los egresos correspondientes a la adquisición de insumos, y llegan los ingresos por la venta del servicio. Para el caso de este proyecto, el capital de trabajo no se contempla, dado que la compra del calorímetro se realiza principalmente por razones académicas. Además, la aplicación de la prueba no requiere inversiones de dinero durante su desarrollo, y las ganancias obtenidas a razón de prestación del servicio a terceros son el valor agregado que presenta el proyecto con el fin de mostrar la factibilidad de implementar la prueba en cuestión.

A continuación, se presenta un cuadro a manera de resumen que permite señalar el monto de cada una de las inversiones, y el momento en que estas se deben realizar.

Gráfica 40. Presupuesto de inversiones

INVERSIONES FIJAS	COSTOS
Calorímetro	83231293.86
Recipientes de laboratorio	0
INVERSIONES DIFERIDAS	
Gastos de montaje	0
Capacitación	0
CAPITAL DE TRABAJO	
Activos corrientes	0
FLUJO DE INVERSIÓN	\$ 83231293.86

4.3.2. Costos de producción⁷¹

Hacen referencia a los costos asociados al período de operación, los cuales pueden dividirse en:

4.3.2.1. Costos de fabricación

Son aquellos que se vinculan directamente con la prestación del servicio. Suelen clasificarse en tres tipos: el primero de ellos son los *costos directos*, que para el caso de este proyecto incluyen materias primas, como son los combustibles necesarios para aplicar la prueba como práctica académica (gasolina y diésel), y materiales o insumos, que se refiere al oxígeno y a los reactivos para titulación y calibración. El segundo de ellos son los *gastos de fabricación*, donde se incluyen materiales indirectos como papelería (para entregar informes del servicio) y elementos de protección personal. El tercero son *otros*

⁷¹ *Ibíd.*, p.215

gastos, en los cuales se incluye el mantenimiento de los equipos y los servicios como energía y agua.

4.3.2.2. Costos de administración

En estos gastos se incluye el sueldo y prestaciones del personal, los seguros e impuestos. Sin embargo, para el caso de este proyecto no se contemplan, dado que el equipo para determinación de poder calorífico entraría en el laboratorio como parte del portafolio de servicios, y sería operado por el personal ya contratado. No se hace necesario contar con nuevas personas que estén únicamente enfocadas en dicha prueba. Estos gastos hacen referencia a costos no desembolsables de la universidad.

4.3.2.3. Costos de ventas

Hace referencia a los gastos por concepto de comercialización y distribución, sin embargo, en los alcances del presente proyecto no se contemplan, dado que no se pretende contratar personal especial para vender el servicio o hacer publicidad del mismo. La idea es incluirlo en el portafolio de servicios prestados por la escuela con el fin de darlo a conocer a los interesados.

A continuación, se presenta un cuadro a manera de resumen que permite señalar los costos de producción aplicados a la prueba:

Gráfica 41. Costos de producción

COSTOS DE FABRICACIÓN	
Costos directos	
Combustibles	
Gasolina	8659
Diésel	7901
Insumos (titulación)	
Oxígeno	83300
Reactivos	1395691
Gastos de fabricación	
Papelería	11950
Elementos de protección personal	
Gafas	4700
Máscara de gases	99500
Guantes	24000
COSTOS DE VENTAS	
Comercialización y distribución	0
COSTOS DE ADMINISTRACIÓN	
Sueldos y prestaciones	0
TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN	\$ 1635701

Cabe resaltar que los valores presentados en la Gráfica 41 fueron consultados a través de internet para productos comercializados a la fecha (elementos de protección personal y papelería), con el fin de dar un estimado del total de los costos de operación.

Los costos totales por concepto de inversiones y producción se muestran en la Gráfica 42.

Gráfica 42. Costos totales de inversión y producción

	Costo
Inversiones	\$ 83231293.86
Costos de producción	\$ 1635701
	\$ 84866994.86

4.3.3. Ingresos por prestación de servicio

Dada la incertidumbre que se tiene de conocer el comportamiento de los mercados a futuro, en esta parte del estudio se plantean tres posibles escenarios, a través de los cuales se busca ver de manera más clara a quiénes y cómo se les prestaría el servicio de determinación de poder calorífico por parte de la EIP.

El primero de los escenarios planteados es el *académico*, que como su nombre lo indica, está enfocado netamente al aprendizaje y adquisición de conocimientos por parte de los estudiantes acerca de la prueba de determinación de poder calorífico a hidrocarburos líquidos (el cual es el objetivo central del presente proyecto). Este escenario es el primero y a su vez el más importante, dado que se basa en la cantidad de estudiantes matriculados en la materia laboratorio de fluidos y en los posibles investigadores/tesistas que requieran valores confiables de poder calorífico, quienes serían los demandantes del servicio y, por ende, los más beneficiados.

El segundo escenario es el *comercial*, en el cual no solo se utilizan los equipos para fines académicos, sino que se plantea también la venta del servicio de determinación de poder calorífico a empresas externas (listadas anteriormente). Este escenario se basa en la información recopilada acerca de las pruebas que se realizan actualmente a los combustibles en Colombia, donde a pesar de no estar reglamentada la determinación de poder calorífico para todos los

productos, se realiza como indicador de calidad de los mismos. Así pues, se establece que el mercado puede crearse y estimularse, de tal forma que las empresas privadas y públicas reconozcan la importancia de este parámetro y soliciten realizar la prueba con la UIS.

El tercer escenario es *nuevos mercados*, a través del cual se plantea no usar el calorímetro únicamente para hidrocarburos líquidos (escenario académico y comercial), sino también para incursionar en la determinación de poder calorífico de otras materias. Como se mencionó anteriormente, el equipo seleccionado cumple con los requisitos para trabajar con muestras de combustibles sólidos, biocombustibles y alimentos, lo cual abre las puertas a mercados diferentes, ampliando el portafolio de servicios de la EIP, y contribuyendo a su vez, con la recuperación del capital invertido en el proyecto.

A continuación, se presentan las estimaciones en cuanto a demanda del servicio en cada uno de los escenarios para el período de un año:

Gráfica 43. Escenario académico

Demanda	Estudiantes	Investigación	
Cantidad de pruebas requeridas	40	10	50

Para el caso del escenario *académico*, se toma en cuenta que cada semestre se matriculan en promedio 100 alumnos en el curso laboratorio de fluidos, quienes se dividen en 10 grupos de 10 estudiantes. Cada uno de estos grupos son divididos a su vez en 2 subgrupos con el fin de realizar las pruebas correspondientes de la materia. Teniendo en cuenta lo anterior, se requiere realizar 2 pruebas por grupo, es decir, 20 pruebas de poder calorífico por semestre, que al año serían 40 pruebas.

Por otra parte, se plantea la posibilidad de que se realicen 10 pruebas encaminadas a la investigación y trabajos de grado (5 cada semestre), lo cual aumenta el número de pruebas anuales a 50.

El costo de realizar las 50 pruebas en el período de un año sería de \$ 2758990.

Gráfica 44. Escenario comercial

Demanda	Academia	Empresas de combustibles	
Cantidad de pruebas requeridas	50	420	470

En el escenario *comercial* se tienen en cuenta las consideraciones del escenario académico, y además se contempla la prestación del servicio de la prueba a empresas comercializadoras y distribuidoras de combustibles, las cuales fueron identificadas en un sondeo anterior.

Se plantean tres consideraciones importantes en este escenario: 1) Al menos 10 de las empresas consultadas requerirán los servicios de determinación de poder calorífico a combustibles y contratarán con la UIS. 2) Para cada empresa se vende al menos un servicio mensual, es decir, 12 servicios al año por entidad (120 en total). 3) Una de las 10 empresas demandantes sería *Terpel*, líder en distribución de combustibles y con quien se tuvo mayor acercamiento durante el desarrollo del presente proyecto (vía telefónica). Por lo anterior se plantean dos consideraciones especiales respecto a dicha empresa; la primera de ellas es la venta de 2 servicios mensuales de determinación de poder calorífico (diésel y Jet A1/Avgas) en vez de solo uno; la segunda se basa en las plantas de abasto

ubicadas en todo Colombia, que en total suman 26, por lo cual se plantea que el 50% de los análisis sean otorgados a la UIS, de acuerdo a la ubicación geográfica y facilidad de entrega de las muestras de algunas centrales, pues actualmente la totalidad de los análisis de poder calorífico para Terpel los realiza el laboratorio de crudos y derivados de la Universidad Nacional sede Medellín. Así pues, en base a las consideraciones dadas se tendrían 13 plantas de abasto y 2 pruebas mensuales para cada una, para un total de 312 pruebas anuales.

En resumen, se realizarían 312 pruebas a Terpel, sumadas a 108 aportadas por las otras nueve empresas y a las 50 académicas, se tendría un total de 470 pruebas anuales, cuyo costo sería de \$ 25934506.

Gráfica 45. Escenario nuevos mercados

Demanda	Academia	Empresas de combustibles	Nuevos mercados	
Cantidad de pruebas requeridas	50	420	50	520

Para el escenario *nuevos mercados* se tienen en cuenta las consideraciones de los escenarios anteriores, y además se contempla la incursión en otras áreas con el fin de ampliar el portafolio de servicios y obtener mayores ganancias.

Se plantea ofrecer los servicios de determinación de poder calorífico en mercados como el del carbón y el coque principalmente, aplicando la norma correspondiente (ASTM D5865), y en otros como la industria de alimentos, explosivos y biocombustibles. Para este caso, y de acuerdo a la información consultada de este mercado, la prueba puede cobrarse a un precio más alto que la realizada bajo el protocolo ASTM D240, pues los precios que se manejan entre las empresas prestadoras del servicio oscilan alrededor de \$80000, por tanto, la

UIS podría entrar perfectamente a competir al mercado manejando un precio de \$76000 (5% menor), lo cual generaría mayores ganancias. Se contempla inicialmente la realización de 50 pruebas anuales por concepto de otros mercados.

El costo de realizar las 470 pruebas bajo el protocolo ASTM D240 en el período de un año sería de \$ 25934506, y el costo de realizar 50 pruebas bajo otros protocolos sería de \$ 3800000, para un total de \$ 29734506 de ganancia anual.

4.3.4. Indicadores de evaluación financiera

En esta sección se evalúan dos de los escenarios planteados anteriormente para un período de tiempo de 5 años posterior a la inversión inicial, con el fin de conocer cuál sería la viabilidad económica de llevar a cabo el presente proyecto.

A nivel de prefactibilidad se utiliza el indicador de Valor Presente Neto (VPN) para realizar la evaluación financiera del proyecto, a través del cual se evalúa la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El uso de dichos indicadores le permite a la universidad, que en este caso actúa como inversionista del proyecto, evaluar el porcentaje de recuperación para el período seleccionado, por medio de la determinación de la TMAR, y de esta forma considerar si es aceptable para los intereses económicos que se esperan por la prestación del servicio. Además, el cálculo del VPN y la TIR presentarían el valor temporal de dinero como beneficio obtenido y el porcentaje para el cual

el valor neto de los costos de la inversión es igual al valor presente neto de los beneficios respectivamente⁷².

El cálculo del VPN se realiza a través de la siguiente Ecuación 26:

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

FNE_n : flujo neto de efectivo en el período n

P : inversión inicial en el año cero

i : tasa mínima aceptable de rendimiento

De acuerdo a los resultados obtenidos del cálculo del VPN se establece que:

- Si $VPN < 0$, no es rentable invertir el proyecto, no se alcanzaría la tasa mínima de rendimiento esperada.
- Si $VPN = 0$, el inversionista puede elegir si es conveniente o no invertir en el proyecto.
- Si $VPN > 0$, el inversionista obtendría ingresos por encima de la tasa mínima de rendimiento.

⁷² BACA URBINA, Gabriel. Fundamentos de ingeniería económica 4ta ed. México D.F: McGraw-Hill/interamericana editores, 2007. p.87

A continuación, se presenta la evaluación de los escenarios *comercial* y *nuevos mercados*, dado que el escenario *académico* representa el caso base, que es netamente con fines estudiantiles y no económicos.

4.3.4.1. VPN - Escenario comercial

Gráfica 46. VPN para escenario comercial

TMAR [%]	VPN [\$]
5	27415843.79
10	13445187.32
15	2069491.602
20	-7306946.414

4.3.4.2. TIR – Escenario comercial

Gráfica 47. TIR para escenario comercial

TIR [%]	VPN [\$]
16.0253512269	0

4.3.4.3. VPN – Escenario nuevos mercados

Gráfica 48. VPN para escenario nuevos mercados

TMAR [%]	VPN [\$]
5	43867855.14
10	27850177.04
15	14807680.97
20	4057379.718
25	-4902582.604

4.3.4.1. TIR – Escenarios nuevo mercados

Gráfica 49. VPN para escenario nuevos mercados

TIR [%]	VPN [\$]
22.155251325	0

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cálculo del VPN y la TIR se puede concluir que:

- En el escenario *comercial*, la viabilidad del proyecto se evidencia a través del valor positivo del VPN a una TMAR del 15%, y de la TIR igual a 16.025% aproximadamente. Lo anterior indica que es posible recuperar la inversión por completo y además obtener ganancias por el orden de los rangos mencionados (\$2069491.602).

- La prestación del servicio a nuevos mercados como la industria del carbón y coque tendría un VPN positivo a una TMAR del 15%, y una TIR del 22.15%, lo cual indica mayores utilidades para este escenario.
- En los dos escenarios evaluados la TIR es mayor a la TMAR, lo que significa que el rendimiento del proyecto es mayor al rendimiento mínimo esperado, y por tanto, la inversión resulta económicamente viable.

5. SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD BASADO EN LA NTC-ISO/IEC

17025⁷³

El sistema de gestión de calidad es una herramienta que le permite a cualquier organización cumplir con los requisitos de calidad necesarios para satisfacer los requerimientos acordados con sus clientes, por medio de la interrelación de normas y estándares internacionales.

En este capítulo se documentan los controles requeridos para la implementación del sistema de gestión de calidad (SGC) basado en la norma NTC-ISO/IEC 17025 para ensayos de laboratorio, con el propósito de garantizar la calidad de las pruebas y la confiabilidad en los resultados de las mismas. En el proceso se incluyen la planeación de actividades y recopilación de información pertinentes para la creación del SGC, siguiendo los pasos del ciclo de mejora continua PHVA, donde:

- P es planear: establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización.
- H es hacer: implementación de los procesos.
- V es verificar: realizar el seguimiento y medir los procesos y los productos vs las políticas, los objetivos y los requisitos del producto e informar sobre los resultados.

⁷³ GONZALEZ ORTEGÓN, Rafael; TORRADO CARVAJAL, Carol Cristina. Implementación del sistema de gestión de la calidad para la realización de pruebas en el laboratorio de fluidos basados en la norma ISO 17025 de 2005. Tesis en ingeniería de petróleos. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de fisicoquímicas. Escuela de ingeniería de petróleos. 2009. 377p.

- A es actuar: tomar decisiones correctivas, preventivas o de mejora para optimizar continuamente el desarrollo de los procesos.

De esta forma, la implementación del SGC le permitiría a la universidad mantenerse en un campo altamente competitivo en cuanto a la prestación de servicios y contribuir en el proceso de acreditación, no solo en aras de obtener un beneficio económico, sino como una manera de dar cumplimiento a las políticas institucionales, que destacan la necesidad de establecer pautas de calidad en todos los procesos derivados de su funcionamiento.

5.1. NTC ISO/IEC 17025-2005⁷⁴

La norma NTC ISO/IEC 17025 surgió por la combinación de la guía ISO/IEC 25 “Requisitos generales para la competencia técnica de los laboratorios de análisis” y la norma europea EN 45001 “Criterios generales para el funcionamiento de los laboratorios de análisis”.

Esta norma contiene los requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayos y/o calibración, si desean mostrarse como una entidad competente a la hora de generar resultados de calidad y técnicamente válidos. Además, contempla aspectos relacionados con el aumento del desempeño global de las empresas y la prestación de bienes y servicios que satisfagan las necesidades de los clientes, dado que se encuentra basada en la norma internacional ISO 9001, la cual hace referencia al SGC involucrado.

⁷⁴ COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Apartado 14237. Por la cual se presentan los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Bogotá, DC. (8, noviembre, 2005). p. 1-46.

La implementación de la norma NTC ISO/IEC 17025 concede un mayor margen de posibilidades en cuanto a la planeación, desarrollo y ejecución del SGC para cualquier laboratorio, que conlleva a la gestión y mejora continua de los procesos.

Por otra parte, la norma NTC ISO/IEC 17025 establece las disposiciones que el laboratorio debe cumplir para desarrollar e implementar el SGC, las cuales deben estar implícitas en las actividades que se realizan. Dentro de estas disposiciones están los requisitos de gestión, los cuales mantienen el enfoque en la norma ISO 9001, y los requisitos técnicos, que son ideales para demostrar la competencia técnica y confirmar la validez de los resultados.

5.1.1. Requisitos de la gestión

Entre los cuales se presentan:

- **Organización:** el laboratorio debe ser una entidad con responsabilidad legal. Debe realizar sus actividades de ensayo y calibración enfocadas en el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta norma y en satisfacer las necesidades de sus clientes, operando ya sea en instalaciones permanentes, instalaciones temporales o móviles asociadas.

Debe tener personal directivo y técnico que tenga la autoridad y los recursos para implementar y/o mejorar el SGC, tener políticas y procedimientos para asegurar la protección de la información confidencial y definir la organización y estructura del laboratorio.

- Sistema de gestión de la calidad: debe establecer, implementar y mantener un SGC al alcance de sus actividades y documentar en un manual de calidad sus políticas, sistemas, programas, procedimientos e instrucciones para garantizar la calidad de los resultados de ensayos y calibraciones.
- Control de la documentación: debe establecer y mantener procedimientos para el manejo de los documentos que forman parte del SGC, tales como la reglamentación, las normas, los métodos de ensayos y/o de calibración, etc. Todos los documentos distribuidos entre el personal del laboratorio deben estar revisados y aprobados por el personal autorizado antes de su emisión.
- Revisión de pedidos, ofertas y contratos: debe establecer y mantener procedimientos para la revisión de los pedidos, las ofertas y los contratos, documentando los registros de las revisiones y conversaciones mantenidas con los clientes.
- Servicios de subcontratación: cuando un laboratorio subcontrate un servicio, debe cerciorarse que el subcontratista sea competente (cumpla con la norma NTC ISO/IE 17025), de igual forma debe informar y contar con la aprobación del cliente. El laboratorio será responsable frente al cliente del servicio prestado, exceptuando el caso en el que el cliente elija el subcontratista a utilizar.
- Compra de servicios y suministros: el laboratorio debe contar con una política y procedimientos para la selección y la compra de los servicios y suministros que utiliza y afectan la calidad de los ensayos y/o de las calibraciones. En efecto se deben evaluar los mejores proveedores y tener un registro de las valoraciones pertinentes en cuestión de los suministros, reactivos o materiales que se requieran y que cumplan las especificaciones técnicas.

- Servicio al cliente: debe estar dispuesto a cooperar con el cliente para aclarar el pedido y analizar el desempeño del laboratorio en relación con el servicio prestado. Además, debe procurar obtener información de retorno, tanto positiva como negativa con el fin de mejorar el SGC, las actividades de ensayo y/o calibración y el servicio al cliente.
- Quejas: el laboratorio debe tener una política y procedimientos para la resolución de las quejas recibidas por los clientes, manteniendo el registro de todas las quejas, así como de las investigaciones y acciones correctivas llevadas a cabo.
- Control de ensayo no conforme: cuando los resultados de algún servicio no son conformes con sus propios procedimientos o con los requisitos acordados con el cliente, el laboratorio debe asegurar que se implementen las acciones correctivas inmediatas.
- Mejora: debe mejorar continuamente la eficacia de su SGC mediante el uso de políticas de calidad, el resultado de las auditorías, el análisis de los datos y las acciones correctivas y preventivas.
- Acciones correctivas: el laboratorio debe contar con una política y procedimiento para implementación acciones correctivas cuando se haya identificado un servicio no conforme. El procedimiento de acciones correctivas debe iniciar con una investigación para conocer la causa raíz del problema, seleccionar las acciones con mayor probabilidad de eliminarlo y realizar un seguimiento de los resultados para asegurarse de la eficacia de las acciones. Las acciones correctivas deben corresponder a la magnitud del problema y sus riesgos.
- Acciones preventivas: se debe incluir actividades de mejora para reducir o eliminar las posibles fuentes que originan no conformidades y realizar un seguimiento al desarrollo e implementación de las mismas.

- Control de registros: debe establecer y mantener procedimientos para la identificación, recopilación, almacenamiento, mantenimiento y disposición de los registros técnicos y de calidad. En estos registros se debe incluir los informes de las auditorías internas y de las revisiones por dirección, así como los registros de las acciones correctivas y preventivas.
- Auditorías internas: el laboratorio de realizar periódicamente según lo estipulado en calendario y en sus procedimientos, auditorías internas con el fin de verificar que sus servicios continúan cumpliendo con los requisitos del SGC. Cuando los hallazgos de las auditorías internas revelen no conformidades o pongan en duda la validez de los resultados, se deben tomar acciones correctivas.
- Revisión por la dirección: se debe efectuar una revisión periódicamente del SGC y de las actividades en ensayo y/o calibración para asegurar la eficacia de sus procesos e introducir los cambios y mejoras necesarios. De igual forma deben registrarse los hallazgos de las revisiones por la dirección y las acciones que surjan de ellos.

5.1.2. Requisitos técnicos

En el marco técnico se disponen los siguientes requisitos:

- Generalidades: el laboratorio debe tener en cuenta los factores que contribuyen a la incertidumbre en sus mediciones, desarrollando métodos y procedimientos con mejoras en la formación y calificación del personal, así como en la selección y calibración de los equipos.
- Personal: debe garantizar que cuenta con el personal calificado, con competencia y capacidad de realizar los procedimientos asignados, ya

sea en el manejo de equipos, conocimiento de los métodos y procesos y análisis de resultados.

- Instalaciones y condiciones ambientales: se debe garantizar que las instalaciones y las condiciones dentro del laboratorio no afecten los resultados de los ensayos y/o calibraciones. El laboratorio debe tener el control y registro de las condiciones requeridas para los ensayos según las especificaciones y procedimientos.
- Métodos de ensayo y/o calibración y validación de métodos: el laboratorio debe aplicar métodos y procedimientos apropiados para los ensayos y/o calibraciones dentro de su alcance, incluyendo el muestreo, la manipulación, el transporte, el almacenamiento y la preparación de las muestras a ensayar. Debe contar con las instrucciones para el uso y funcionamiento de cada uno de los equipos.

Se deben utilizar los métodos de ensayo y/o calibración que satisfagan las necesidades de los clientes y que sean apropiados a los mismos procesos que se realizan. Se recomienda regirse por métodos basados normas internacionales, regionales o nacionales, garantizando que se hace uso de la última versión vigente de la norma.

Por último, el laboratorio debe validar los métodos no normalizados, los métodos que diseña o desarrolla, así como las modificaciones de los métodos normalizados, para confirmar que son aptos para el fin previsto.

- Equipos: debe contar con todos los equipos previstos para el muestreo, la medición y el ensayo, de tal forma que permitan la correcta ejecución de las pruebas y la exactitud requerida. Se deben establecer programas de calibración para las magnitudes o los valores esenciales de los instrumentos cuando dichas propiedades afecten significativamente a los resultados.

- Trazabilidad de las medidas: todos los equipos que tengan un efecto en la exactitud o validez de una prueba, deben estar calibrados antes de usarse. El laboratorio debe establecer un programa y un procedimiento para la calibración de sus equipos.

Se debe asegurar que cada una de las actividades llevadas a cabo por el laboratorio sean trazables de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Esta trazabilidad se extiende a los patrones de medición, equipos y materiales de referencia.

- Muestreo: debe contar con un plan y procedimiento para el muestreo de sustancias, materiales o productos que luego serán analizados. Este plan debe estar disponible en el sitio donde se realice el muestreo y tener en cuenta los factores que deben ser controlados para asegurar la validez de los resultados. De igual forma el laboratorio debe tener procedimientos para registrar los datos y las operaciones relacionadas con el muestreo que forma parte del ensayo y/o calibración.
- Manipulación de objetos de ensayo: el laboratorio debe contar con procedimientos para el transporte, la recepción, la manipulación, la protección, el almacenamiento, la conservación y/o disposición final de las muestras de ensayo y/o calibración. Debe garantizar que las muestras no sean confundidas físicamente, ni cuando se haga referencia a ellas en registros u otros documentos mediante un sistema de identificación, y que las instalaciones sean apropiadas para evitar el deterioro, la pérdida o el daño de las muestras durante el almacenamiento, la manipulación y la preparación.
- Aseguramiento de la calidad: debe contar con procedimientos de control de la calidad para realizar el seguimiento de la validez de los ensayos y las calibraciones realizadas. Los hallazgos encontrados se deben registrar de tal forma que se puedan detectar las tendencias. Los datos

deben ser analizados y si no cumplen los criterios establecidos se deben tomar acciones planificadas para corregir el problema y evitar registrar datos erróneos

- Informe de los resultados: los resultados obtenidos por el laboratorio deben ser presentados de forma exacta, clara, no ambigua y objetiva, de acuerdo con las especificaciones de cada método de ensayo. Se deben presentar en un informe que incluya toda la información requerida por el cliente y necesaria para su interpretación, así como la información sobre el método utilizado. Cuando se incluyan opiniones e interpretaciones, el laboratorio debe asentar por escrito los argumentos que respaldan estas.

5.2. PROCESO DE ACREDITACIÓN⁷⁵

La acreditación es un proceso mediante el cual un cuerpo con autoridad emite un reconocimiento formal de la competencia técnica e idoneidad de una organización para realizar un determinado servicio. Asimismo, es una herramienta de mercadeo para las organizaciones a la hora de presentar ofertas a contratistas que requieran servicios acreditados.

El Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) tiene como objeto acreditar la competencia técnica de Organismos de Evaluación de la Conformidad (OEC), como los laboratorios, con las normas específicas para cada tipo de OEC. Otras funciones de la ONAC se centran en representar los intereses del país ante organismos regionales e internacionales y en mantener un programa de seguimiento y vigilancia que permita demostrar en cualquier

⁷⁵ ONAC. Reglas del servicio de acreditación, versión 07.2012. [En línea]. (Recuperado en 15 junio 2017). Disponible en [http://www.onac.org.co/anexos/documentos/DOCUMENTOSONAC/\(R-AC-01%20Versi%C3%B3n%2007\).pdf](http://www.onac.org.co/anexos/documentos/DOCUMENTOSONAC/(R-AC-01%20Versi%C3%B3n%2007).pdf)

momento que los organismos acreditados siguen cumpliendo los requisitos que sirvieron como base para su acreditación.

En este apartado se describen los aspectos necesarios que la Escuela de Ingeniería de Petróleos debe contemplar, para aplicar a la acreditación dada por la ONAC para la implementación del protocolo ASTM D240.

5.2.1. Alcance de la acreditación

Los alcances de la acreditación deben definirse de forma clara, precisa y sin ambigüedades, de forma que proporcionen tanto al cliente del OEC acreditado como a otras partes interesadas, una información concreta y delimitada sobre la competencia técnica demostrada. Además, se debe proponer el alcance para el que solicita ser acreditado, el cual será revisado, y si es el caso, ajustado o modificado por el ONAC.

El alcance de la acreditación se definirá con referencia a:

- El tipo de organismo de evaluación de la conformidad.
- El objeto de evaluación de la conformidad.
- Los documentos normativos con los que se realiza la evaluación de la conformidad, ya sean normas nacionales o internacionales o reglamentos técnicos, u otros documentos validados.
- Sectores económicos, industriales, 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.

5.2.2. Criterios de acreditación

Son aquellos requisitos que deben cumplir los organismos de evaluación de la conformidad para ser acreditados por el ONAC. Estos requisitos serán de carácter general, aplicables a todas las acreditaciones de carácter específico y complementarios de los generales, según sea el tipo de acreditación.

Gráfica 50. Los requisitos para obtener la acreditación por parte del ONAC

Norma	Organismo de Evaluación de la Conformidad
ISO/IE Guide 65:1996	<ul style="list-style-type: none"> • Organismo de Certificación de producto
NTC ISO/IE 17021: 2007	<ul style="list-style-type: none"> • Organismo de Certificación de Sistema de Gestión
NTC ISO/IE 17024: 2003	<ul style="list-style-type: none"> • Organismo de Certificación de personas
NTC ISO/IE 17020: 2002	<ul style="list-style-type: none"> • Organismo de inspección
NTC ISO/IE 17025: 2005	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios de ensayo o prueba
NTC ISO/IE 17025: 2005	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios de calibración
NTC ISO/IE 15189: 2009	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios médicos o clínicos
NTC ISO/IE 17043: 2010	<ul style="list-style-type: none"> • Proveedores de ensayo de aptitud

Los requisitos para acreditar el laboratorio son los que se encuentran en la NTC ISO/IE 17025:2005. Estos requisitos fueron descritos en el apartado anterior.

5.2.3. Solicitud de acreditación

Para solicitar la acreditación el OEC solicitante debe conocer los siguientes documentos:

- Reglas de Acreditación (R-AC-01).
- Los documentos de criterios generales y específicos, que sean aplicables.
- El procedimiento de revisión de solicitudes y cotización de servicios del ONAC (P-SOL-01).
- Las tarifas vigentes para el proceso de acreditación (R-AC-02).
- Los Estatutos del ONAC.

La solicitud de acreditación se realiza presentando el formulario de solicitud que corresponda al tipo de OEC. Con la presentación del formulario el representante legal del OEC:

- Propone el alcance de la acreditación.
- Declara tener conocimiento del procedimiento de acreditación del ONAC y de los derechos y obligaciones de los OEC acreditados definidos en el documento.
- Efectúa la solicitud formal de la acreditación.

- Se compromete a cumplir los requisitos generales y específicos de acreditación y las obligaciones establecidas en este procedimiento de acreditación.
- Declara que conoce y acepta las reglas de la acreditación contenidas en los Estatutos del ONAC y se obliga a su cumplimiento.

En el caso de que un OEC solicite la acreditación con varias de las normas mencionadas, debe presentar solicitudes individuales que serán gestionadas de forma independiente.

En caso de que el OEC no cumpla con alguno de los requisitos estipulados, el ONAC procederá a paralizar el proceso hasta que el OEC aporte evidencia de que el problema detectado ha sido resuelto adecuadamente.

5.2.4. Procedimiento de acreditación

5.2.4.1. Revisión de la solicitud y elaboración de la cotización

El trámite de cotización se inicia con la presentación por parte del OEC del “formulario de solicitud de acreditación”, en medio físico, y la documentación adjunta correspondiente, en medio magnético, aplicando el formulario previsto para cada tipo de organismo de evaluación de la conformidad.

Para iniciar el trámite se deberá anexar al formulario de solicitud la copia del pago de los derechos de evaluación del formulario, por el monto equivalente a 0.5 día evaluación a la tarifa vigente al momento de la presentación y debe cumplir con todos los requerimientos establecidos en el P-SOL-01. Una vez

recibida la solicitud de acreditación y constatado el pago por concepto de su revisión inicial, el ONAC emite el recibido de la solicitud y revisa la documentación suministrada con objeto de comprobar que la actividad es susceptible de ser acreditada.

5.2.4.2. Cotización de la acreditación

Cuando la información se considere completa para iniciar la prestación del servicio, se asigna un código de archivo a la solicitud y se envía al solicitante la cotización de los costos del proceso de evaluación inicial, elaborado de acuerdo a lo establecido en el procedimiento P-SOL-01 y en el documento de tarifas R-AC-02 para su aceptación. Cabe resaltar que el precio día-evaluación incluye:

- El tiempo empleado por el equipo evaluador de acuerdo al alcance contemplado en el formulario de solicitud de acreditación aplicable.
- El tiempo empleado por el equipo evaluador (evaluador líder y/o un solo experto técnico) en la evaluación en sitio, que comprende: la evaluación de la competencia técnica del sistema de gestión y el atestiguamiento, con el fin de verificar la competencia del OEC para llevar a cabo satisfactoriamente las tareas contempladas en el alcance de acreditación y en las instalaciones en donde se lleve a cabo dichas actividades.
- El tiempo empleado por el evaluador líder y/o experto técnico para realizar el informe.
- La revisión del plan de acción propuesto por el OEC para solucionar las no conformidades encontradas.

- La tarifa día-evaluación no incluye tiquetes y/o desplazamientos aeropuerto - sede evaluación - aeropuerto y alojamiento, cuando la evaluación se realice en ciudad distinta a la sede del evaluador.

5.2.4.3. Designación del equipo evaluador y programación de la evaluación

El Coordinador Sectorial designará a los miembros del equipo evaluador que llevarán a cabo el proceso de evaluación, el cual será seleccionado de la base de evaluadores técnicos competentes y calificados. El número de integrantes del equipo evaluador estará en función del alcance de la acreditación solicitada.

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

5.2.4.4. Proceso de evaluación

El proceso de evaluación se desarrollará como se describe a continuación:

- Revisión de los documentos y registros: esta etapa tiene como objetivo realizar una revisión de la documentación y registros proporcionados con la solicitud por el OEC, el informe de la evaluación de otorgamiento y las recomendaciones del Comité de Acreditación, los informes de evaluaciones de seguimiento anteriores, las quejas contra el OEC, los reportes de cambios en el OEC y la demás información disponible.

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

5.2.5. Decisión sobre la acreditación

Para tomar su decisión el Comité de Acreditación analizará la información generada durante el proceso de evaluación, o reevaluación, o de evaluación de ampliación del alcance acreditado, la contenida en informes de vigilancia y la demás información disponible y basándose en ello, adoptará una de estas decisiones:

- Otorgar la acreditación, disponiendo la emisión el certificado correspondiente.

- Denegar la concesión de la acreditación, comunicándolo por escrito al OEC.
- Renovar la acreditación.
- Mantener la acreditación.
- Suspender la acreditación.
- Retirar la acreditación.
- Modificar, ampliar o reducir el alcance de la acreditación.
- Proponer aplicar una medida al OEC

6. CONCLUSIONES

- El mejor método para determinar poder calorífico en hidrocarburos líquidos es el experimental, dado que ofrece el valor real si se compara con los datos aproximados y basados en correlaciones de los métodos teórico y empírico.
- Con la realización del estudio de prefactibilidad para implementar el protocolo ASTM D240 como uno de los servicios prestados por el laboratorio de fluidos de la EIP, se hizo posible la identificación de los requerimientos técnicos, financieros, de calidad y de mercado, los cuales permitieron evaluar la viabilidad del proyecto en su fase preliminar, presentando las propuestas que más se ajustaban a los objetivos del mismo.
- Por medio de los estudios y consultas realizadas, se estableció que sí es posible entrar en el mercado de prestación del servicio de determinación de poder calorífico de hidrocarburos líquidos, dado que la oferta del mismo se encuentra limitada por las diferencias en protocolo utilizado y/o la falta de certificaciones necesarias en cada empresa o laboratorio contactado; además de esto, fue posible determinar el precio base con el que la UIS podría entrar a competir en el mercado, es decir, \$ 55179.8 por cada análisis.
- Se encontró que el mercado de la calorimetría ha cambiado de manera significativa debido al constante avance tecnológico, demostrado esto a través de los equipos que se comercializan actualmente, pues se trata de calorímetros con sistemas de operación modernos, que requieren menor control manual y ofrecen mayor precisión y rapidez en los resultados. Ejemplo de lo anterior se encuentran los calorímetros isoperibólicos, o aquellos que incluyen dos sistemas de operación al tiempo, adiabático e isotérmico, como es el caso del equipo elegido en el presente proyecto, el

CAL3K-AP. Este calorímetro posee además otra variación importante que es el uso de aire en vez de agua como medio refrigerante, haciendo menores los requerimientos energéticos y brindando una excelente relación costo/beneficio. En base a lo anterior, se envió una carta a la ASTM a manera de observación, en la cual se plantea tener en cuenta los cambios en cuanto a avances tecnológicos, con el fin de que se actualice, de ser posible, el protocolo ASTM D240.

- Se identificaron empresas comercializadoras de combustibles líquidos que podrían mantener la compra del servicio de forma estable, ya que actualmente incluyen la determinación del poder calorífico como un parámetro de control calidad en sus procesos; en base a este escenario, se obtendría una TIR de 16.025% para el proyecto en un período de tiempo de 5 años. Adicionalmente, el estudio determinó que los clientes podrían ampliarse si se realiza el análisis a otras materias como carbón y coque, cuyo mercado se encuentra más desarrollado en cuanto a pruebas de poder calorífico, razón por la cual los ingresos aumentarían y, por ende, el resultado de la evaluación financiera sería mejor, con una TIR del 22.15%.
- La creación e implementación de un Sistema de Gestión de Calidad basado en la norma NTC-ISO/IEC 17025 para ensayos de laboratorio, le permitiría a la universidad garantizar la calidad de sus pruebas y confiabilidad en sus resultados con el fin de mantenerse en un campo altamente competitivo en cuanto a la prestación de servicios. Además, le establecería precedentes para el proceso de acreditación del laboratorio, con el fin de dar cumplimiento a las políticas institucionales, que buscan fijar pautas de calidad para todos los procesos derivados a su funcionamiento.

7. RECOMENDACIONES

Actualizar la información y verificar la disponibilidad de todo lo correspondiente a equipos e insumos con los proveedores consultados, con el fin de evitar imprevistos a la hora de adquirirlos.

Realizar un análisis a nivel de factibilidad para la implementación del protocolo ASTM D240, basado en el estudio presentado en este proyecto, con el fin de corroborar su viabilidad en caso de ejecutarse.

Identificar y evaluar los requerimientos necesarios para aplicar la prueba de poder calorífico para otros combustibles, con el fin de ampliar el mercado en la prestación del servicio, y así aumentar las utilidades generadas.

Proyectar qué factores externos pueden alterar la evaluación de los costos planteada en el presente estudio.

Analizar la posibilidad de incorporar un equipo cromatográfico, en caso de implementar la prueba de determinación de poder calorífico, con el fin de entregar resultados de los cálculos por los tres métodos.

Incluir el presente proyecto en el banco de proyectos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos con el fin de conseguir financiación para su ejecución.

BIBLIOGRAFÍA

BACA URBINA, Gabriel. Fundamentos de ingeniería económica 4ta ed. México D.F: McGraw-Hill/interamericana editores, 2007. p.87

BANCO DE LA REPÚBLICA-COLOMBIA. Monedas disponibles. Tasas de cambio-Monedas disponibles. [En línea]. Bogotá D.C. (Recuperado en 27 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.banrep.gov.co/es/tasas-cambio-mundo>

BANCO DE LA REPÚBLICA-COLOMBIA. Tasa de cambio del peso colombiano (TRM). [En línea]. Bogotá D.C. (Recuperado en 27 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.banrep.gov.co/es/trm>

BIOMAX. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <https://www.biomax.co/nuestra-compania/#productos>

ÇENGEL, Yunus A; BOLES, Michael A. Termodinámica. Ciudad de México: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A, 2011. p.774. ISBN 978-607-15-0743-3

CHEVRON COLOMBIA. [En línea]. (Recuperado en 18 de septiembre de 2017). Disponible en <https://www.chevron.com/worldwide/colombia>

COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Apartado 14237. Por la cual se presentan los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Bogotá, DC. (8, noviembre, 2005). p. 1-46.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Resolución No. 180790 (31, julio, 2002). Por la cual se establecen todos los requisitos de calidad, de almacenamiento, transporte y suministro de los combustibles de aviación para motores tipo turbina y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., 2002. p.1-5.

COLOMBIANA DE COMBUSTIBLES-CODECO S.A.S. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://combustiblescodeco.com/acerca/>

COMBUSTIBLES DE COLOMBIA S.A. Información corporativa. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.combuscol.com/index.php/nuestra-compania>

DANILIN, Oscar L. Combustión. Cátedra de integración II. La Plata: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad regional La Plata. Departamento de ingeniería química, 1999, p.3

ECOPETROL. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos>

ECOPETROL S.A. Base pesada para Ifos. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ficha-Tecnica-Base-Pesada-IFOS.pdf

ECOPETROL S.A. Combustóleo (Fuel oil No. 6). [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20Combustoleo%20VSM-01.pdf

ECOPETROL S.A. Diésel B2/B4. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/Combustibles4.html

ECOPETROL S.A. Diésel marino. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20Diesel%20marino%20VSM-01.pdf

ECOPETROL S.A. Gasolina de aviación grado 100. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20Gasolina%20aviacion%20grado%20100%20VSM-01.pdf

ECOPETROL S.A. Gasolina motor corriente/extra. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/Combustibles1.html

ECOPETROL S.A. Jet A1. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en

http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20JET%20A-1%20VSM-01.pdf

ECOPETROL S.A. Queroseno. [En línea]. Línea de producto: combustibles. (Recuperado en 1 de junio de 2017). Disponible en http://www.ecopetrol.com.co/especiales/Catalogo_de_Productos/pdf/Ecopetrol%20Queroseno%20VSM-01.pdf

ENOCH THULIN LABORATORY. Combustion Physics. [En línea]. Suecia: Lund University. 2015. (Recuperado en 10 de mayo de 2017.) Disponible en <http://www.forbrf.lth.se/english/about/what-is-combustion/>

ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D240. Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (01, enero, 2017). Pensilvania, 2017

ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3338. Standard Test Method for Estimation of Net Heat of Combustion of Aviation Fuels. (01, mayo, 2014). Pensilvania, 2014

ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D4529. Standard Test Method for Estimation of Net Heat of Combustion of Aviation Fuels. (01, enero, 2017). Pensilvania, 2017

ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D4809. Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels By Comb Calorimeter (Precision Method). Pensilvania, 2013

ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D4868. Standard Test Method for Estimation of Net and Gross Heat of Combustion of Hydrocarbon Burner and Diesel Fuels (01, enero, 2017). Pensilvania, 2017

ESTADOS UNIDOS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D5865. Standard Test Method for Estimation of Net and Gross Heat of Combustion of Hydrocarbon Burner and Diesel Fuels (10, enero, 2013). Pensilvania, 2013

ENERGIZAR AVIACIÓN. [En línea]. (Recuperado en 22 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.energizar.org/nosotros.html>

EXXON MOBILE. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <https://www.essoymobil.com.co/es-co/merger>

FASTER FUEL. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.ffc.com.co/servicios.html>

GARCÍA SAN JOSÉ, Ricardo. Combustión y combustibles. Teoría de la combustión. Noviembre, 2001. p.4.

GLOBE AIR FUEL-GAF. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.gafcolombia.com/>

GÓMEZ APARICIO, Juan Miguel. Gestión logística y comercial. España: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A, 2014. p.34. ISBN 84-481-9363-6

GONZALEZ ORTEGÓN, Rafael; TORRADO CARVAJAL, Carol Cristina. Implementación del sistema de gestión de la calidad para la realización de pruebas en el laboratorio de fluidos basados en la norma ISO 17025 de 2005. Tesis en ingeniería de petróleos. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de fisicoquímicas. Escuela de ingeniería de petróleos. 2009. 377p.

GULF COLOMBIA. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://gulfcolumbia.com/co/compania/>

IKA. Catálogo calorímetros. [En línea]. (Recuperado en 20 febrero 2017) Disponible en <http://pdf.medicaexpo.es/pdf/ika/calorimeters/70924-156832.html>

MENDEZ, Ángeles. Reactividad química de los hidrocarburos. [En línea]. 2013. (Recuperado en 8 de febrero de 2017). Disponible en <https://quimica.laguia2000.com/reacciones-quimicas/reactividad-quimica-de-los-hidrocarburos>

MIRANDA MIRANDA, Juan José. Gestión de proyectos: identificación, formulación y evaluación financiera, económica, social y ambiental. Cuarta edición. MM editores, 204. p.198. ISBN 9789589622704

MOCHÓN MORCILLO, Francisco. Principios de economía. Tercera edición. España: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A, 2006. p.62. ISBN 84-481-4656-5

NEUTRIUM, Heat of combustión. [En línea]. Heat transfer. 2014. (Recuperado en 14 enero 2017.) Disponible en https://neutrium.net/heat_transfer/heat-of-combustion/

NZIHOU, Jean Fidele, et al. Using Dulong and Vandralek Formulas to Estimate the Calorific Heating Value of a Household Waste Model. [En línea]. International Journal of Scientific & Engineering Research. 2014. (Recuperado en 23 enero 2017.) Disponible en <https://www.ijser.org/researchpaper/Using-Dulong-and-Vandralek-Formulas-to-Estimate.pdf>

ONAC. Reglas del servicio de acreditación, versión 07.2012. [En línea]. (Recuperado en 15 junio 2017). Disponible en [http://www.onac.org.co/anexos/documentos/DOCUMENTOSONAC/\(R-AC-01%20Versi%C3%B3n%2007\).pdf](http://www.onac.org.co/anexos/documentos/DOCUMENTOSONAC/(R-AC-01%20Versi%C3%B3n%2007).pdf)

PARR INSTRUMENT COMPANY. Calorímetro de bomba de oxígeno: Métodos de calorimetría. [En línea]. (Recuperado en 20 febrero 2017) Disponible en <http://www.parrinst.com/es/products/oxygen-bomb-calorimeters/design-features/>

PETROBRAS. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.petrobras.com.br/en/about-us/profile/>

PETROMIL. Grupo empresarial Petromil. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <http://www.petromilsa.com/quienes-somos>

STANTON, William J; ETZEL, Michael J y WALKER, Bruce J. Fundamentos de marketing. Decimocuarta edición. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A, 2007. p.69. ISBN 978-970-10-6201-9

TERPEL. [En línea]. (Recuperado en 20 de septiembre de 2017). Disponible en <https://www.terpel.com/en/Quienes-somos/Nuestro-proposito/>

TORRELLA, Enrique. La combustión. [En línea]. Departamento de termodinámica aplicada. Universitat Politècnica de València. 2014. (Recuperado en 10 de noviembre de 2016). Disponible en <http://www.upv.es/entidades/DTRA/infoweb/dtra/info/U0675362.pdf>

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Balance energético nacional 1975-2006. Bogotá D.C. 2007. p.12

Universidad de Alicante. Análisis de poder calorífico (Bomba calorimétrica). [En línea]. Instrumentación científica: unidad de análisis térmicos. (Recuperado en 14 enero 2017) Disponible en <https://sstti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-analisis-termico/analisis-de-poder-calorifico-bomba-calorimetrica.html>

Universidad de Santiago de Chile. Guía de laboratorio para la determinación del poder calorífico. [En línea]. Sistemas térmicos e hidráulicos. Facultad de ingeniería mecánica. 2002. (Recuperado en 14 enero 2017) Disponible en http://www.dimecusach.cl/index.php?option=com_docman&view=docman&Itemid=239

Universidad Nacional Experimental de Táchira. Guía de laboratorio: Bomba calorimétrica. [En línea]. Decanato de investigación, Ciencias exactas. (Recuperado en 14 enero 2017) Disponible en <http://www.unet.edu.ve/~rarevalo/Documentos/BOMBA%20CALORIMETRICA.doc>

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. Crude oil distillation and definition of refinery capacity. [En línea]. Today in energy. Washintong. 2012. (Recuperado en agosto 3 de 2017. Disponible en <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=6970>)

XV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM (23-25, SEPTIEMBRE, 2009: Obregón-Sonora, México). Memorias. Sevilla: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2009, 5p.